



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Verkehr
Office fédéral des transports
Ufficio federale dei trasporti

Forschungsbericht

Version vom 12.09.2014

Übersichtsstudie Energieeffiziente Weichenheizung

**Efficacité énergétique des systèmes de chauffage
d'aiguillages: étude récapitulative**

**Grüniger PLUS GmbH:
Dr. Andrea Grüniger**

**Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Kompetenzzentrum Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik:
Sebastian Hoffmann
Prof. Dr. Beat Wellig**

**Forschungsprojekt 078 0000 121 Umsetzung der Energiestrategie 2050
im Bereich des öffentlichen Verkehrs**

September 2014

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur die vom Bundesamt für Verkehr unterstützten Autoren

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des transports.

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale dei trasporti.

The content of this report engages only the authors supported by the Federal Office of Transports.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Verkehr
Office fédéral des transports
Ufficio federale dei trasporti

Übersichtsstudie Energieeffiziente Weichenheizung

**Efficacité énergétique des systèmes de chauffage
d'aiguillages: étude récapitulative**

**Grüniger PLUS GmbH:
Dr. Andrea Grüniger**

**Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Kompetenzzentrum Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik:
Sebastian Hoffmann
Prof. Dr. Beat Wellig**

**Forschungsprojekt 078 0000 121 Umsetzung der Energiestrategie 2050
im Bereich des öffentlichen Verkehrs**

September 2014

Impressum

Projektteam

Projektleitung

Andrea Grüniger

Mitglieder

Sebastian Hoffmann

Beat Wellig

Begleitgruppe BAV

Tristan Chevroulet

Stefan Schnell

Hermann Willi

Markus Ammann

Vertreter Bahnen

Daniel Föhn (SBB)

Markus Ruch (SBB)

Matthias Rücker (SBB)

Markus Tanner (SBB)

Johannes Weibel (SBB)

Urs Guggisberg (BLS)

Markus Bauhofer (RhB)

Maurus Cotti (RhB)

Martin Wyer (MGB)

Ruedi Hösli (SOB)

Patrik Wick (SOB)

Pièrre-André Rossat (MOB)

Richard Zuber (CJ)

Auftragnehmer

Arbeitsgemeinschaft:

Grüniger PLUS GmbH

Hochschule Luzern – Technik & Architektur, CC Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von www.aramis.admin.ch heruntergeladen werden.

Danksagung

Die vorliegende Studie wurde durch das Bundesamt für Verkehr (BAV) finanziert. Wir möchten uns bei Dr. Stefan Schnell, Dr. Tristan Chevroulet und Dr. Markus Ammann von der Sektion Umwelt herzlich für diesen Auftrag und das in uns gesetzte Vertrauen bedanken. Ebenso gilt unser spezieller Dank Herrn Hermann Willi, Leiter Sektion Elektrische Anlagen, für die wertvollen fachlichen Beiträge von seiner Seite.

Weiter möchten wir uns bei allen Bahnvertretern bedanken, welche bereitwillig die gewünschten Daten zur Verfügung gestellt haben und durch Teilnahme am Workshop vom 2. Juni 2014, sowie durch zahlreiche Diskussionen ihr Fachwissen in diese Studie einfliessen liessen. Im Besonderen danken wir Herrn Daniel Föhn vom Kompetenzzentrum Weichenheizungen der SBB, welcher einen intensiven fachlichen Austausch mit uns pflegte und viel zum Gelingen dieser Studie beigetragen hat. Weiter bedanken wir uns herzlich bei Herrn Markus Ruch, Leiter Energiemanagement stationäre Anlagen bei der SBB, für die Vermittlung von diversen Kontakten innerhalb und ausserhalb der SBB.

Wir durften die Resultate dieser Studie im Rahmen einer Fachgruppensitzung beim Verein öffentlicher Verkehr (VÖV) vorstellen und möchten uns an dieser Stelle insbesondere bei Urs Walser für diese Gelegenheit und die Unterstützung durch den VÖV bedanken.

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Danksagung	5
	Kurzfassung	7
	Résumé sommaire	8
	Executive Summary	9
	Zusammenfassung	11
	Résumé	13
1	Einführung	15
1.1	Ausgangslage	15
1.2	Ziele der Übersichtsstudie	15
1.3	Einführung Weichenheizung	16
2	Bestandesaufnahme Schweiz	18
2.1	Methodik.....	18
2.2	Anzahl und Lage der Weichenheizungen	18
2.3	Heiztechnologie	19
2.3.1	Energiequelle	19
2.3.2	Lage der Heizelemente.....	22
2.3.3	Automatisierungsgrad	22
2.3.4	Messparameter	23
2.3.5	Steuerung.....	25
2.3.6	Regelung.....	25
2.3.7	Installierte Leistung	26
2.4	Betriebsstunden	27
2.4.1	Normierung der Betriebsstunden.....	27
2.4.2	Auswertung Betriebsstunden SBB.....	28
2.4.3	Auswertung Betriebsstunden verschiedener Bahnen.....	32
2.5	Energiebedarf	34
2.6	Investitions- und Unterhaltskosten von WHZ Anlagen	36
2.7	Probleme mit WHZ.....	36
2.8	Verbesserungspotenzial / Pilotanlagen	37
2.9	Zusammenfassung Bestandsaufnahme	37
3	Entwicklungstendenzen	39
3.1	Vorbemerkungen	39
3.2	Energiequellen	39
3.2.1	Geothermie	39
3.2.2	Fernwärme.....	42
3.3	Energieübertragung / Verlustminimierung	42
3.3.1	Optimierung der Geometrie/Platzierung der Heizelemente.....	42
3.3.2	Induktive Energieübertragung.....	42
3.4	MSR-Strategie	44
3.5	Alternative Technologien	45
3.6	Quantifizierung Energiesparpotenzial.....	46
4	Empfehlungen für Förderstrategie	48
4.1	Ausgangslage	48
4.2	Grundsatzstrategie.....	48
4.3	Forschung und Entwicklung.....	49
4.4	Pilot- und Demonstrationsanlagen.....	49
4.5	Know How Transfer	50
5	Literaturverzeichnis	51
6	Abkürzungen	52

Kurzfassung

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 soll auch die Energieeffizienz und der Einsatz von erneuerbaren Energien im Bereich Bahninfrastruktur erhöht werden. Diese Studie soll einen Überblick über den Teilbereich Weichenheizungen schaffen und als Basis für die Festlegung einer Förderstrategie dienen.

Die Befragung von sechs repräsentativen Bahnunternehmen ergab, dass in der Schweiz zwischen 10'000 und 11'000 Weichenheizungen betrieben werden, deren Energieverbrauch sich in einem klimatisch durchschnittlichen Winter auf rund 60 bis 70 GWh beläuft. Die Weichen werden mehrheitlich elektrisch beheizt (Widerstandsheizung). Die SBB betreibt zusätzlich einen hohen Anteil an Gas-Weichenheizungen (Erdgas, Propan), welche am Schweizerischen Gesamtbestand einen Anteil von ca. 31% ausmachen. Diese weisen einen 3-4 Mal höheren Endenergieverbrauch auf als die elektrischen Anlagen. Sie werden in höheren Lagen eingesetzt, um die Verfügbarkeit zu garantieren oder bei grösseren Bahnhöfen, wo aus Gründen des Lastmanagements keine elektrischen Anlagen installiert werden können. 95% aller Weichenheizungs-Anlagen sind automatisiert.

Viele Weichenheizungs-Anlagen weisen noch ein beträchtliches Potenzial zur Senkung des Energieverbrauchs mittels Optimierung der Steuer- und Regelparameter auf. Da die Verfügbarkeit der Weichen in den Bahnunternehmen oberste Priorität hat, ist auch ein entsprechendes „Sicherheitsdenken“ verankert, welches jedoch nicht immer zu den richtigen Schlüssen führt. Zur Ausschöpfung des Potenzials unter Berücksichtigung der Ansprüche an die Verfügbarkeit ist eine gute Schulung der Mitarbeiter, entsprechende Wertschätzung für energieeffizientes Verhalten und ein systematisches Energiemonitoring notwendig.

Das kommerzielle Interesse am kleinen Markt für Weichenheizungen ist relativ gering. Entsprechend ist wenig Geld für die benötigten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten vorhanden. Hier sollte die Förderstrategie ansetzen. Es sollten anwendungsorientierte Projekte gefördert werden, welche das grundlegende physikalische Verständnis für die Vorgänge an der Schiene verbessern. So können künftige Entwicklungen zielgerichteter durchgeführt werden. Als zweites Standbein sollten Pilot- und Demonstrationsanlagen mit der Übernahme der nicht-amortisierbaren Kosten und der Finanzierung von Begleitprojekten gefördert werden, sofern damit eine signifikante Energieeinsparung erzielt werden kann. Dies würde vor allem Anlagen mit induktiver Weichenheizung und geothermische Anlagen betreffen. Zudem ist es wichtig, mit einer geeigneten Plattform den Wissensaustausch zwischen Knowhow-Trägern in der Schweiz zu verbessern.

Résumé sommaire

La stratégie énergétique 2050 vise entre autres à augmenter le rendement énergétique et à accroître l'utilisation d'énergies renouvelables dans le domaine de l'infrastructure ferroviaire. La présente étude a pour but de fournir une vue d'ensemble du domaine du chauffage des aiguillages et de servir de base à la définition d'une stratégie d'encouragement.

Selon les résultats d'une enquête menée auprès de six entreprises de chemin de fer représentatives, il y a en Suisse entre 10'000 et 11'000 chauffages d'aiguillages totalisant une consommation d'énergie moyenne de 60 à 70 GWh par hiver. La plupart des aiguillages sont chauffés à l'électricité (chauffage à résistance). De plus, les CFF exploitent une part importante d'aiguillages chauffés au gaz (gaz naturel, propane), soit env. 31 % du total des aiguillages en Suisse. Or ces chauffages au gaz consomment 3 à 4 fois plus d'énergie que les systèmes électriques. Ils sont utilisés en altitude afin de garantir le fonctionnement des aiguillages et dans les grandes gares dans lesquelles il n'est pas possible d'installer des systèmes électriques du fait de la gestion des pics de consommation. 95 % des systèmes de chauffage des aiguillages sont automatiques.

De nombreux chauffages d'aiguillages recèlent un considérable potentiel d'économie en électricité qui pourrait être obtenu par l'optimisation des paramètres de commande et de réglage. Etant donné que le bon fonctionnement des aiguillages est absolument prioritaire pour les entreprises ferroviaires, celles-ci ont développé une politique de sécurité qui ne mène pas toujours aux bonnes conclusions. Pour mettre à profit le potentiel d'économie tout en tenant compte des impératifs de disponibilité, il faut une bonne formation des collaborateurs, une juste appréciation de leur conduite lorsqu'ils économisent de l'énergie et un recensement systématique de la consommation.

Le marché des chauffages d'aiguillages est plutôt restreint et ne suscite qu'un faible intérêt commercial. Par conséquent, il y a peu de moyens financiers disponibles pour les activités de recherche et de développement requises, alors que c'est précisément à ce niveau que la stratégie d'encouragement devrait être ancrée. Il faudrait encourager des projets pragmatiques qui améliorent la connaissance de la physique ferroviaire. Les développements pourraient ainsi être mieux ciblés. Par ailleurs, il faudrait encourager des installations-pilotes ou de démonstration en prenant en charge les coûts non amortissables et financer des projets d'accompagnement si cela permet de réaliser des économies substantielles d'énergie. Cela concernerait avant tout les installations à chauffage inductif et les installations géothermiques. Il est en outre important d'améliorer l'échange de savoir-faire en Suisse par le biais d'une plate-forme appropriée.

Executive Summary

Energy efficiency and the use of renewable energy sources for railway infrastructure must both be increased as a part of Energy Strategy 2050. This study aims to provide an overview of the specific infrastructure component of railway switch heating and to serve as a basis for the establishment of a specific facilitation and development strategy.

A survey of six representative railway companies revealed that in Switzerland there are between 10'000 and 11'000 railway switch heaters in operation. The energy consumption of all these heaters combined during the course of an average winter is in the range of 60-70 GWh. The switches are mainly heated using electricity (resistance heating). The SBB also operates a high proportion of gas switch heaters (natural gas, propane), which makeup approximately 31% of the total inventory in Switzerland. It was determined that these gas heaters consume 3-4 times more energy than electrical heaters. The gas heaters are used in regions of higher elevation in order to maintain the availability of the switch and in larger train stations where, due to reasons of load management, no electrical systems can be installed. 95% of all railway switch heaters are automated.

Many railway switch heating systems still have significant potential to reduce their energy consumption through the optimization of the control system parameters. Given that the availability of railways switches has the highest priority for railway companies, an associated high level of cautious thinking prevails that does not always lead to the correct solution. Therefore, to exploit this potential, while still taking into consideration the demand on availability, requires systematic energy monitoring, well-trained staff and a dedication to energy efficient behaviors throughout the entire organization.

Railway switch heating is a relatively small market, thus, commercial interest in such heating is relatively low. Accordingly, there is little money available for the necessary research and development. This is where the promotional and development strategy should begin. Application-oriented projects should be funded with the goal to improving the fundamental physical understanding of the processes occurring on and within the rails. In this way, future development initiatives can be executed with a stronger goal orientated focus. A second key approach should be to promote research projects involving pilot and demonstration plants and financially support and cover the non-amortizable investment costs provided that the projects can attain significant energy savings. This approach would impact mainly equipment that use inductive switch heating or geothermal heating. In addition, it is important to improve the exchange of knowledge, using a suitable platform, between the different groups that have the knowledge and know-how within Switzerland.

Zusammenfassung

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 lanciert das Bundesamt für Verkehr (BAV) Projekte, um die Energieeffizienz und den Einsatz von erneuerbaren Energien im Bereich Bahninfrastruktur zu erhöhen. Der Teilbereich Weichenheizung ist dabei ein identifizierter Ansatzpunkt. Diese Studie soll einen Überblick über den Bestand an Weichenheizungen in der Schweiz und den dafür benötigten Energieverbrauch schaffen. Im Weiteren sollen die eingesetzten Technologien beleuchtet und Entwicklungstendenzen aufgezeigt werden. Daraus sollen Empfehlungen für eine gezielte Förderung von energieeffizienten Weichenheizungs-Technologien abgeleitet werden.

Für die Bestandesaufnahme wurden sechs repräsentative Schweizer Bahnunternehmen berücksichtigt, welche bezüglich Streckennetz 85% der Schweiz abdecken. Diese Bahnen betreiben insgesamt rund 9'000 Weichenheizungen. Die Gesamtzahl der in der Schweiz betriebenen Weichenheizungen dürfte somit zwischen 10'000 und 11'000 Stück liegen. Die eingesetzten Technologien sind relativ einheitlich. Mit Ausnahme der SBB, welche auch Gas-Weichenheizungen betreibt (Erdgas, Propan), verwenden alle befragten Unternehmen ausschliesslich elektrische Widerstandsheizungen. Aufgrund der Grösse der SBB macht der Anteil an Gas-Weichenheizungen in der Schweiz trotzdem einen signifikanten Anteil von 31% aus. 95% der Weichenheizungs-Anlagen sind automatisiert. Bei den automatisierten Anlagen kommt meistens Steuerungssoftware der Firma Hutec zum Einsatz. Die Mess-, Steuer- und Regelkonzepte sind daher sehr ähnlich. Bezüglich Zuverlässigkeit sind die Verantwortlichen insgesamt zufrieden mit ihren Systemen und geben an, keine signifikanten Probleme zu haben.

Für die Quantifizierung des jährlichen Energieverbrauchs sind neben der installierten Leistung die Betriebsstunden der Weichenheizungen entscheidend. Da viele Bahnen die Betriebsstundendaten nicht systematisch auswerten und die Daten im Speicher nach einer Wintersaison jeweils gelöscht werden, standen für diese Studie vor allem Daten aus der letzten Wintersaison 2013/14 zur Verfügung. Diese Saison war ausgesprochen mild und schneearm. Daher sind diese Daten nicht repräsentativ für einen durchschnittlichen Winter. Zur Umrechnung von Daten aus verschiedenen Wintersaisons wurde der Winterindex der SBB verwendet, welcher die „Winterhärte“ quantifiziert. Die Betriebsstunden der SBB-Weichenheizungen (effektive Heizzeit) liegen für automatisierte elektrische Anlagen bei durchschnittlich 320 h/a, für automatisierte Gas-Weichenheizungen bei 405 h/a. Diese Daten entsprechen einer Höhenlage von 473 m.ü.M. Die Betriebsstunden steigen mit zunehmender Höhenlage an. Die per Winterindex bereinigten Daten der übrigen Bahnen liegen in der gleichen Grössenordnung, wobei die Daten starken Streuungen unterliegen. Vergleichsdaten der Rhätischen Bahn (RhB) zeigen, dass die Betriebsstunden von nicht-automatisierten Weichenheizungen mindestens doppelt so hoch sind wie diejenigen der automatisierten Anlagen in ähnlicher Höhenlage. Alle Bahnen, welche nicht-automatisierte Restbestände haben sind jedoch bestrebt, diese in den nächsten Jahren zu ersetzen.

Die Gas-Weichenheizungen weisen aufgrund der höheren Leistungsdichte der Heizelemente und der höheren Anzahl Betriebsstunden einen 3-4 Mal höheren Energieverbrauch als die elektrischen Weichenheizungen auf (ohne Primärenergiebetrachtung). Aus Sicht der Energieeffizienz sollten Gas-Anlagen daher nur eingesetzt werden, wenn es keine Alternativen dazu gibt. Dies ist zum Teil in höheren Lagen der Fall, um die geforderte Verfügbarkeit zu garantieren oder bei grossen Bahnhöfen, wenn nicht genügend elektrische Leistung bereitgestellt werden kann (Lastmanagement).

Aus den aufgenommenen Daten konnte der jährlich für Weichenheizungen benötigte Endenergieverbrauch abgeschätzt werden. Dieser beläuft sich für die befragten Bahnen in einem klimatisch durchschnittlichen Winter auf insgesamt ca. 53 GWh/a, was Energiekosten von rund 5 Mio CHF/a zur Folge hat. Hochgerechnet auf alle Schweizer Bahnen dürfte der Energiebedarf ca. 60 bis 70 GWh/a und die Kosten rund 6 Mio CHF/a betragen. Der abgeschätzte CO₂-Ausstoss von rund 7200 t/a wird zu 90% durch die Gas-Weichenheizungen verursacht. Dies aufgrund des sehr tiefen CO₂-Emissionsfaktors des Bahnstroms, welcher überwiegend aus Wasserkraft erzeugt wird. Es zeigte sich, dass das

Monitoring des Energieverbrauchs für Weichenheizungen bei den meisten Bahnen mangelhaft ist. Dazu bedürfte es vor allem einer systematischen Erfassung und Auswertung der Betriebsstundendaten. Daraus würden sich wichtige Hinweise zur Optimierung der Weichenheizungen ergeben. Im Weiteren wird bei vielen Bahnunternehmen energieeffizientes Verhalten des Personals nicht oder zu wenig belohnt, was dazu führt, dass Anlagen oft zu konservativ betrieben werden. Der erste Schritt zur Senkung des Energieverbrauchs besteht in einer Betriebsoptimierung der bestehenden Anlagen, womit nach Einschätzung der Autoren mindestens 10% Energie eingespart werden könnte.

Ausgehend von einer automatisierten elektrischen Weichenheizung nach gängigem aktuellem Standard in der Schweiz, besteht durch Optimierung der Heizelemente sowie durch Verbesserung der MSR-Konzepte und -Parameter noch ein Energiesparpotenzial von schätzungsweise je 30%. Neben der Optimierung der bestehenden Technologie gibt es zwei grundsätzlich neue Ansätze: Zum einen die induktive Weichenheizung, bei welcher durch effizientere Energieübertragung mit geringeren Wärmeverlusten und durch schnellere Regelbarkeit Energieeinsparungen von bis zu 40% erwartet werden können. Zum anderen sind geothermische Systeme auf dem Markt, bei welchen nochmals höhere Einsparungen erwartet werden können. Bei Systemen mit Wärmepumpe beträgt das Einsparpotenzial ca. 60%, beim angebotenen System ohne Wärmepumpe (CO₂-Erdwärmesonde) gar 100%, d.h. es wird ohne zusätzliche elektrische oder fossile Energie betrieben. Allerdings sind die geothermischen Systeme nicht für alle Standorte geeignet, können also nicht flächendeckend eingesetzt werden. Beide Systeme sind momentan im Pilotstadium. Die grössten Hindernisse für die weitere Verbreitung von solchen innovativen Systemen sind einerseits die höheren Investitionskosten und andererseits die Skepsis von Betreibern gegenüber neuen Technologien, welche auch daher rührt, dass keine verlässlichen Betriebserfahrungen und Vergleichsdaten von unabhängiger Stelle vorhanden sind.

Die Strategie zur Förderung von energieeffizienten Weichenheizungen sollte auf verschiedenen Ebenen ansetzen. Auf der Stufe Forschung und Entwicklung sollten Projekte gefördert werden, welche das grundlegende physikalische Verständnis für die Vorgänge an der Schiene verbessern, welches bislang weitgehend fehlt. So können künftige Entwicklungen zielgerichteter durchgeführt werden. Als zweites Standbein sollten Pilot- und Demonstrationsanlagen mit der Übernahme der nicht-amortisierbaren Kosten gefördert werden, sofern damit eine signifikante Energieeinsparung erzielt werden kann. Dies würde vor allem Anlagen mit induktiver Weichenheizung und geothermische Anlagen betreffen. Um den maximalen Erfahrungsgewinn und eine möglichst grosse Breitenwirkung aus diesen Pilotanlagen heraus zu holen, sollten diese Projekte bei der Realisierung und im Betrieb von unabhängiger Stelle begleitet werden. Zudem ist es wichtig, den Wissensaustausch zwischen Knowhow-Trägern in der Schweiz zu verbessern. Resultate von Studien und Projekten sollen für alle zugänglich gemacht werden und der Erfahrungsaustausch zwischen den Bahnunternehmen soll gefördert werden. So wird sichergestellt, dass die Förderbeiträge eine Breitenwirkung erzielen. Dazu muss eine geeignete Plattform gefunden werden. Eine definierte Moderationsstelle, welche auch in die Beurteilung der Fördergesuche involviert ist, sollte dafür sorgen, dass alle Aktivitäten koordiniert werden und dass ein regelmässiger Austausch stattfindet.

Résumé

Dans le cadre de la stratégie énergétique 2050, l'Office fédéral des transports (OFT) lance des projets afin d'améliorer le rendement énergétique et l'emploi d'énergies renouvelables dans le domaine de l'infrastructure ferroviaire. La technique du chauffage des aiguillages est un des domaines à potentiel identifiés. La présente étude fournit une vue d'ensemble de l'effectif des chauffages d'aiguillages en Suisse et de leur consommation d'énergie. Par ailleurs, elle rend compte des technologies et des tendances du développement et émet des recommandations pour une promotion ciblée de technologies de chauffage d'aiguillages efficaces en énergie.

Pour établir l'état de la question, six entreprises ferroviaires suisses représentatives ont été considérées. Ensemble, elles représentent 85 % du réseau de tronçons suisse et exploitent environ 9000 chauffages d'aiguillages. Le nombre total d'appareils exploités en Suisse devrait donc se situer entre 10 000 et 11 000. Les techniques employées sont relativement uniformes. A l'exception des CFF, qui utilisent aussi des chauffages à gaz (gaz naturel, propane), toutes les entreprises interrogées utilisent exclusivement des chauffages électriques à résistance. Mais vu la taille des CFF, la proportion de chauffages à gaz en Suisse est significative : elle atteint 31 %. 95 % des installations de chauffage sont automatisées, la plupart étant commandées par un logiciel de la société Hutec. Leurs concepts de mesure, de commande et de régulation (MSR) sont donc très semblables. Les responsables sont en règle générale satisfaits de la fiabilité de leurs systèmes et ne relèvent pas de problèmes particuliers.

La consommation annuelle d'énergie se quantifie entre autres en fonction de la puissance des installations et du nombre d'heures d'exploitation. Comme la plupart des entreprises ne comptent pas systématiquement les heures d'exploitation et puisqu'elles ne conservent pas les données après la saison d'hiver, l'étude ne disposait pratiquement que des données de l'hiver dernier (2013/14), qui a été extrêmement doux et presque sans neige. Ces données ne sont donc pas représentatives d'un hiver moyen. Pour extrapoler les données de plusieurs hivers, on a utilisé l'indice hivernal de CFF qui quantifie la « rudesse » de l'hiver. Le nombre d'heures d'exploitation des chauffages automatisés CFF (temps de chauffage effectif) atteint en moyenne 320 h/an pour les installations électriques et 405 h/an pour les installations à gaz. Ces nombres correspondent à une altitude de 473 m et augmentent avec l'altitude. Les données corrigées de l'indice hivernal des autres entreprises se situent dans le même ordre de grandeur, quoique les variances soient élevées. Les données comparables du Chemin de fer rhétique (RhB) révèlent que les chauffages d'aiguillages non automatisés fonctionnent au moins deux fois plus d'heures que les installations automatisées à même altitude. Tous les chemins de fer qui ont encore des appareils non automatisés s'efforcent toutefois de les remplacer dans les années qui viennent.

Les chauffages d'aiguillages à gaz consomment trois à quatre fois plus d'énergie que les chauffages électriques en raison de la densité de puissance plus forte des éléments de chauffage et du plus grand nombre d'heures d'exploitation (sans considérer l'énergie primaire). Du point de vue du rendement énergétique, les installations à gaz ne doivent être employées que lorsqu'il n'y a pas d'autre option. C'est parfois le cas en montagne, car il faut garantir la disponibilité requise, ou dans les grandes gares, lorsqu'il n'est pas possible de fournir suffisamment de puissance électrique (gestion des pics de consommation).

Les données recensées ont permis d'estimer la consommation finale annuelle d'énergie requise pour les chauffages d'aiguillages chez les entreprises interrogées. Elle atteint dans l'ensemble environ 53 GWh par hiver moyen, soit environ 5 millions de francs de coûts d'énergie par an. Si l'on extrapole ces chiffres à tous les chemins de fer suisses, le besoin en énergie devrait avoisiner 60 à 70 GWh et les coûts environ 6 millions de francs par an. 90% des émissions de CO₂, estimées à environ 7200 t/an, sont produites par les appareils à gaz. En effet, le facteur « émissions de CO₂ » du courant de traction est très faible puisqu'il provient majoritairement de l'énergie hydraulique. Il s'est avéré que la plupart des

chemins de fer ne recensent que lacunairement la consommation d'énergie des chauffages d'aiguillages. Il faudrait pour cela compter et évaluer systématiquement les heures d'exploitation, ce qui permettrait d'obtenir de précieux indices en vue de l'optimisation des chauffages. De plus, bien des entreprises de chemin de fer ne récompensent que peu voire pas du tout un comportement écologique du personnel, de sorte que les installations sont exploitées de manière souvent trop conservatrice. Pour diminuer la consommation d'énergie, la première chose à faire est d'optimiser le fonctionnement des installations, ce qui, d'après les auteurs, permettrait d'économiser au moins 10 % d'énergie.

Si l'on considère le chauffage électrique automatisé selon le standard actuellement utilisé en Suisse, l'optimisation des éléments de chauffage et l'amélioration des concepts et paramètres MSR recèlent encore un potentiel d'économie d'énergie estimé à 30 % pour chaque solution. Parallèlement à l'optimisation technologique, il y a en principe deux nouvelles approches possibles : d'une part le chauffage inductif, qui promet des économies d'énergie allant jusqu'à 40 % grâce à une transmission plus efficace de l'énergie réduisant les pertes de chaleur et à des réglages plus rapides, et d'autre part les systèmes géothermiques qui existent sur le marché. Ces derniers permettent d'économiser encore plus d'énergie. Le potentiel d'économie des systèmes à pompe à chaleur s'élève à environ 60 %, voire 100 % pour les systèmes proposés sans pompe à chaleur (sonde géothermique CO₂), c'est-à-dire qu'ils sont exploités sans apport supplémentaire d'énergie électrique ou fossile. Toutefois, les systèmes géothermiques ne conviennent pas à tous les emplacements, il n'est donc pas possible de les employer sur tout le territoire national. Les deux systèmes en sont pour le moment au stade pilote. Les plus grands obstacles à la diffusion de ce type de systèmes innovateurs sont d'une part les coûts d'investissement plus élevés et d'autre part le scepticisme des exploitants par rapport à de nouvelles technologies, dont une des causes est l'absence d'une expérience fiable de l'exploitation et de données comparatives de services indépendants.

La stratégie de promotion de chauffages d'aiguillages efficaces en énergie devrait opérer à divers niveaux. À l'échelon de la recherche et du développement, il faudrait encourager des projets qui améliorent la connaissance de la physique ferroviaire, ce qui a manqué jusqu'ici dans une large mesure. Les développements pourraient ainsi être mieux ciblés. Par ailleurs, il faudrait encourager des installations-pilotes ou de démonstration en prenant en charge les coûts non amortissables si cela permet de réaliser des économies substantielles d'énergie. Cela concernerait avant tout les installations à chauffage inductif et les installations géothermiques. Afin de maximiser le gain d'expérience et l'impact de ces installations pilotes, la réalisation et l'exploitation de ces projets devraient être suivies par un organisme indépendant. Il est en outre important d'améliorer l'échange de savoir-faire en Suisse. Les résultats des études et des projets doivent être accessibles à tous et l'échange d'expérience entre entreprises de chemin de fer encouragé, ce qui permet de garantir un impact maximal des contributions d'encouragement. Pour ce faire, il faudra trouver une plate-forme appropriée. Un service de coordination désigné, également impliqué dans l'évaluation des demandes de subventionnement, devrait veiller à ce que toutes les activités soient coordonnées et à ce qu'un échange ait lieu régulièrement.

1 Einführung

1.1 Ausgangslage

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 lanciert das Bundesamt für Verkehr (BAV) Projekte, um die Energieeffizienz und den Einsatz von erneuerbaren Energien, insbesondere im Bereich Bahninfrastruktur, zu erhöhen. Der öffentliche Verkehr soll eine besondere Vorbildfunktion in Bezug auf die Erreichung der Energieziele einnehmen.

Das Thema Weichenheizung ist dabei ein identifizierter Ansatzpunkt. Weichen müssen beheizt werden, um ihre Funktionsfähigkeit auch bei winterlichen Verhältnissen zuverlässig und dauerhaft aufrecht zu erhalten. Im Gegensatz zu Heizsystemen in der Gebäudetechnik sind Weichenheizungen eher eine Nischenanwendung. Das kommerzielle Interesse an diesem Bereich ist dementsprechend eher klein. Für die Eisenbahnunternehmen steht der Bahnbetrieb und damit die Zuverlässigkeit der Weichenfunktion im Vordergrund. Die Weichenheizung muss dafür sorgen, dass der Zugverkehr auch bei Schnee und Eis reibungslos weitergeführt werden kann. Jede Betriebsstörung führt zu hohen Folgekosten für das Bahnunternehmen und muss dementsprechend unbedingt vermieden werden. Das führt dazu, dass die Einführung von Neuentwicklungen schwierig ist, da die Systeme einen hohen Ausreifungsgrad aufweisen müssen, um die gleiche Zuverlässigkeit zu garantieren. Zudem ist das Marktvolumen klein. Zusätzlich erschwerende Faktoren für neue (energieeffizientere) Technologien sind das Bestreben nach einheitlichen Systemen innerhalb der Bahnunternehmen und eine gewisse Skepsis des Bahnpersonals gegenüber alternativen Systemen.

Es ist daher notwendig, in gewissen Bereichen unterstützend mit Fördergeldern einzugreifen, um den Einsatz von Weichenheizungstechnologien zu fördern, welche eine höhere Energieeffizienz aufweisen oder erneuerbare Energien verwenden. Um eine sinnvolle Förderstrategie definieren zu können, muss zuerst ein Überblick über den Gesamtbestand an Weichenheizungen in der Schweiz geschaffen werden. Es fehlen jedoch verlässliche Angaben zur Anzahl, zu den verwendeten Technologien und zum Energieverbrauch. Ebenso fehlt ein gesamthafter Überblick über technologische Entwicklungen, welche zur Senkung des Energiebedarfs beitragen könnten.

1.2 Ziele der Übersichtsstudie

Um im Bereich Weichenheizung Massnahmen zu definieren, welche zur Erreichung der vorgegebenen Energieziele beitragen, ist es aus den oben genannten Gründen notwendig, zuerst den Ist-Zustand zu analysieren. Es soll eine Übersicht über den Bestand der heute im Einsatz stehenden Systeme und deren Energieverbrauch geschaffen werden. Zudem muss aufgezeigt werden, welche technologischen Entwicklungen aktuell im Gange sind. Daraus kann das Energieeinsparpotenzial abgeleitet und Empfehlungen für eine Förderstrategie abgegeben werden. Das Projekt gliedert sich in drei Hauptteile:

a) Erfassung des Gesamtbestandes in der Schweiz

Die Erfassung des Gesamtbestandes an Weichenheizungen erfolgt durch Befragung ausgewählter Schweizer Eisenbahnunternehmen und zielt hauptsächlich auf die Quantifizierung des Energiebedarfs ab. Es sollen aber im gleichen Zug auch andere Informationen zusammengetragen werden, welche für die folgenden Phasen dieses Projekts, aber auch für weitere Projekte von Interesse sein können. Es sind dies unter anderem:

- Anzahl Weichen
- Betreibergesellschaft
- Standort (geografisch, klimatisch)
- Technologie (inkl. Steuerung/Regelung)

- Energiebedarf
- Betrieb und Unterhalt
- Investitions- und Betriebskosten

b) Übersicht über verschiedene Technologien und Entwicklungstendenzen

In einem zweiten Schritt soll eine Übersicht über die eingesetzten Heiztechnologien geschaffen werden. Vor- und Nachteile werden aufgelistet und die Systeme nach Energieeffizienz und betrieblichen Aspekten klassifiziert.

Aufgrund der Kontakte aber auch mittels Recherche in Fachmagazinen, wissenschaftlichen Publikationen und im Internet sollen zudem technologische Entwicklungstendenzen aufgezeigt werden. Die Recherche soll sich nicht an der Schweiz, sondern am internationalen Entwicklungsstand orientieren. Die identifizierten Alternativen zu heutigen Standardtechnologien werden nach Möglichkeit ebenfalls bewertet, insbesondere im Hinblick auf Energieeffizienz und auf ihre Eignung für Standorte in der Schweiz.

c) Quantifizierung von Energiesparpotenzial und Erarbeitung von Empfehlungen

In Kenntnis des Ist-Zustandes (Schritt a) und zukünftiger technologischer Möglichkeiten (Schritt b) kann das Energiesparpotenzial über die nächsten Jahrzehnte abgeschätzt werden. Es soll eruiert werden, wo das grösste Potenzial vorhanden ist und wo entsprechend prioritär gehandelt werden soll. Daraus sollen Empfehlungen für eine Förder- und Umsetzungsstrategie abgeleitet werden.

1.3 Einführung Weichenheizung

Eisenbahnweichen sind Gleiskonstruktionen, welche Schienenfahrzeugen ein Übergang von einem Gleis auf ein anderes ermöglichen, ohne die Fahrt zu unterbrechen. Die wichtigsten Bestandteile sind in Abb. 1 gezeigt.

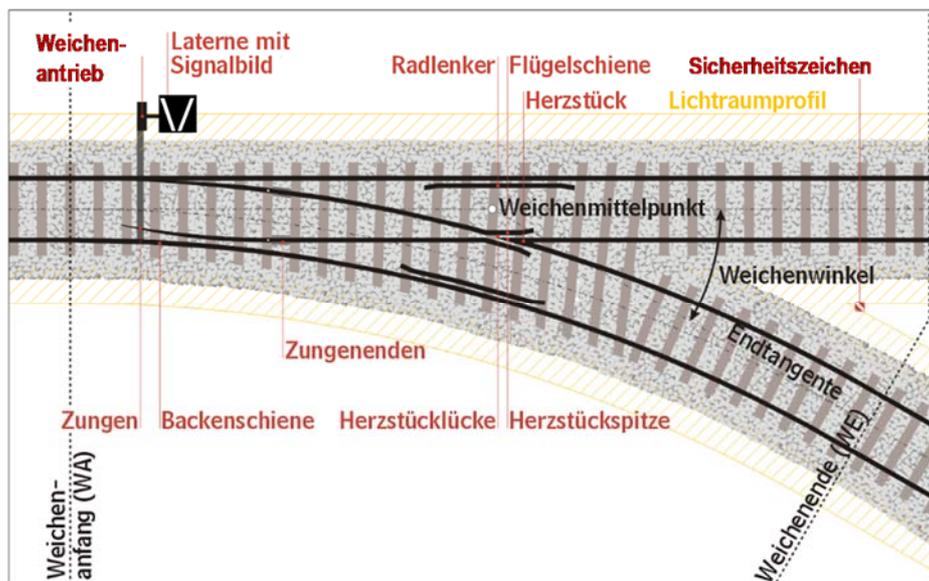


Abb. 1 Wichtigste Bestandteile einer Eisenbahnweiche¹

¹ „Grafik weiche“ adaptiert auf CH-Verhältnisse, Lizenziert unter Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 über Wikimedia Commons

Die Aufgabe einer Weichenheizung ist nicht das Heizen an und für sich, sondern die Schnee- und Eisfreiheit der Weiche, um die Funktion der beweglichen Teile zu gewährleisten. In Abb. 2 sind verschiedene witterungsbedingte Ursachen und mögliche Störungen der Weichenfunktion aufgeführt, welche mit einer Weichenheizung vermieden werden sollen. Die häufigste Ursache, welche zu Störungen führt, ist Schnee zwischen Zunge und Backenschiene. Die Zunge wird blockiert, wenn zu viel Schnee liegt und kann beim Umstellversuch nicht mehr bewegt werden. Ebenso ist das Verschlussfach, welches Umstellgestänge und Verschlusssteile beinhaltet, gefährdet, wenn Schnee eingetragen wird. Dadurch kann das Umstellgestänge blockiert werden, was schliesslich auch dazu führt, dass die Zunge nicht bewegt werden kann. Andere gefährdete Bereiche sind zum Beispiel bewegliche Herzstücke.

Neben dem direkten Schneefall kann auch der sogenannte Flugschnee, d.h. durch Wind verwehter Schnee oder von Fahrzeugen mitgeschobener Schnee, zu denselben Problemen führen. Selten aber schwerwiegend ist das Problem von abfallenden Eisbrocken. Wenn ein solcher Brocken zwischen Zunge und Backenschiene zu liegen kommt, ist es auch durch Heizen sehr schwierig, ihn schnell genug zu beseitigen. Eisbrocken sind vor allem bei schnell wechselnden Klimazonen entlang einer Strecke problematisch, z.B. bei Tunnels oder in der Nähe von Seen.

Bei starkem Schneefall und Wind (intensive Konvektion), kann es zum sogenannten Tunneleffekt kommen. Das Heizelement vermag dabei den Schnee nicht vollständig zu schmelzen. Der Schnee überdeckt die Schiene und es kommt zur Tunnelbildung unter der Schneedecke. Dadurch entsteht eine isolierende Luftschicht zwischen Schiene und Schnee, was den Effekt noch verstärkt.

Neben dem Schneefall können auch tiefe Temperaturen unterhalb 0°C problematisch sein, wenn Wasser vorhanden ist (durch geschmolzenen Schnee oder auskondensierende Feuchtigkeit bei sinkenden Temperaturen). Dieses kann zu einem Anfrieren der Zunge an der Backenschiene führen.

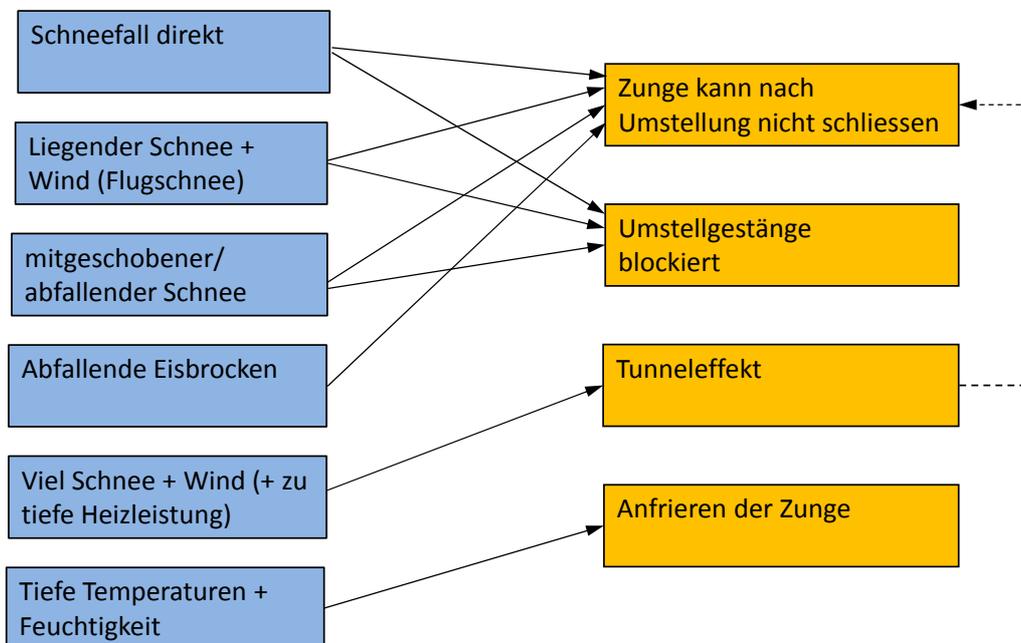


Abb. 2 Witterungsbedingte Ursachen und mögliche Störungen der Weichenfunktion, welche mit der Weichenheizung vermieden werden sollen.

2 Bestandesaufnahme Schweiz

2.1 Methodik

In Absprache mit den Verantwortlichen des BAV wurden 7 Schweizer Eisenbahnunternehmen festgelegt, welche in der Folge gebeten wurden, einen detaillierten Fragebogen zum Bestand ihrer Weichenheizungen (WHZ), zur eingesetzten Heiztechnologien und zu Betriebsdaten auszufüllen. Ein Bahnunternehmen konnte aufgrund fehlender Betriebsdaten nur ungenaue Auskunft geben und wurde daher in der folgenden Auswertung nicht berücksichtigt. Bei den berücksichtigten Bahnen handelt es sich um:

- Schweizerische Bundesbahnen AG **SBB**
- (Bern-Lötschberg-Simplon) **BLS** AG
- Rhätische Bahn AG **RhB**
- Matterhorn Gotthard Bahn AG **MGB**
- Südostbahn AG **SOB**
- Montreux – Berner Oberland – Bahn AG **MOB**

Diese Unternehmen decken ein Streckennetz von 4324 km Länge ab. Dies entspricht ca. 85% des Gesamtschweizerischen Eisenbahnnetzes (ca. 5100 km)². Es zeigte sich, dass die kleineren Bahnen aufgrund der geringeren Anzahl Anlagen einen relativ guten Überblick über ihre Weichenheizungen haben. Bei der SBB ist diese Übersicht jedoch aufgrund der grossen Anzahl an WHZ erschwert. Daten zum Bestand und Betriebsdaten, wie zum Beispiel Betriebsstunden, sind zwar vorhanden und werden aufgezeichnet, die systematische Auswertung der Daten erfordert jedoch Ressourcen, welche betriebsintern momentan nicht vorhanden sind. Gleichzeitig sind aber gerade die Daten der SBB interessant, da Anlagen in statistisch signifikanter Anzahl vorhanden sind und eine Auswertung über verschiedenste Höhenlagen ermöglicht. Daher wurden die Betriebsstundendaten der SBB im Rahmen dieser Studie etwas genauer ausgewertet und die Resultate dieser Auswertung werden in einem separaten Abschnitt (2.4.2) detailliert diskutiert.

Neben der Auswertung der Fragebögen wurde auch mit allen Bahnvertretern ein persönliches Gespräch geführt, in welchem die Thematik eingehend diskutiert und Unklarheiten beseitigt werden konnten. Sofern nichts anderes erwähnt wird, stammen die in den folgenden Abschnitten diskutierten Daten den Eigenangaben der Bahnen auf den Fragebögen.

2.2 Anzahl und Lage der Weichenheizungen

Die Gesamtanzahl der in der Studie erfassten Weichenheizungen (WHZ) beläuft sich auf 9062 Stück (Tab. 1). 81% davon entfallen auf die SBB mit 7322 WHZ. Die BLS AG als zweitgrösstes Bahnunternehmen der Schweiz kommt auf knapp 8% aller erfassten WHZ. Wenn die Gesamtzahl der erfassten WHZ (85% gemessen am gesamten Schweizer Bahnnetz) auf 100% hochgerechnet wird, kann angenommen werden, dass in der Schweiz insgesamt zwischen 10'000 und 11'000 WHZ betrieben werden.

Die Höhenlage ist nicht der einzige, aber ein wichtiger und einfach erfassbarer Faktor, welche die Witterung und damit auch den Betrieb der WHZ beeinflusst. Aus diesem Grund wurde die Höhenlage der WHZ in der Umfrage erfasst. 65% der erfassten WHZ liegt

²Bundesamt für Statistik, Kennzahlen zu Mobilität und Verkehr, Jahr 2010, <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/01/key.html>

unterhalb 500 m.ü.M.(Abb. 3) und der überwiegende Teil (90%) liegt unterhalb 800 m.ü.M. Die BLS ist dabei nicht berücksichtigt, da die Angaben nicht den vorgegebenen Höhenkategorien zugeordnet werden konnten. Die im alpinen Raum operierenden RhB und MGB tragen massgeblich zu den 6% bzw. knapp 500 WHZ bei, welche über 1100 m.ü.M. liegen. Da unter den nicht-erfassten Bahnunternehmen viele kleinere touristische Bahnen sind, dürften die Anteilsverhältnisse für die Gesamtheit aller Schweizerischer Bahnen wohl noch leicht gegen höhere Lagen verschoben sein.

Bahn	Gleisnetz km	WHZ Anzahl	Höhenlage m.ü.M.			
			< 500	500-800	800-1100	> 1100
SBB	3175	7322	4864	1522	116	40
BLS	418	728	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
RhB	384	509	0	189	46	274
MGB	154	234	0	57	11	166
SOB	118	199	11	157	31	0
MOB	75	70	2	10	45	13
Total	4324	9062	5457	2116	263	498

Tab. 1 Übersicht über Bestand und Lage der WHZ der einzelnen Bahnunternehmen

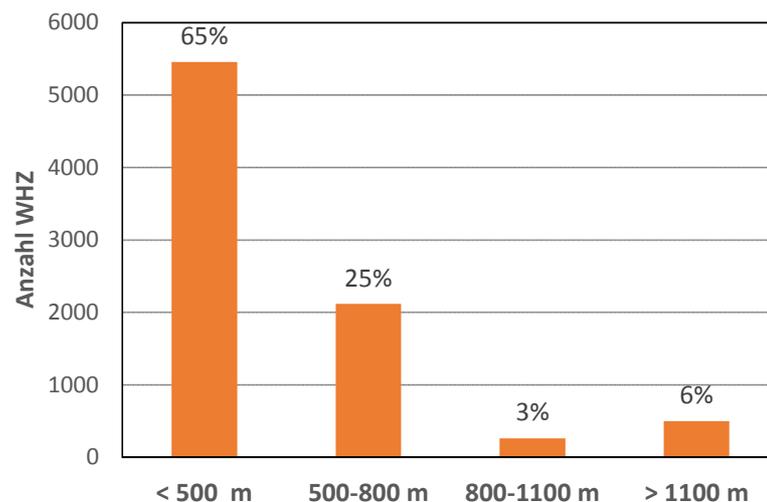


Abb. 3 Verteilung der erfassten WHZ nach Höhenlage (ohne BLS)

2.3 Heiztechnologie

2.3.1 Energiequelle

Mit Ausnahme der SBB beheizen alle befragten Bahnen ihre Weichen elektrisch (Tab. 2). Die elektrischen Weichenheizungen (EWH) machen insgesamt rund 70% aus. Die SBB betreibt auch Gas-Weichenheizungen (GWH). SBB-intern liegt ihr Anteil bei ca. 38%. Mit Ausnahme der MGB und MOB beziehen alle Bahnen den Strom überwiegend ab Oberleitung (16.7 Hz). Dieser Bahnstrom ist preislich günstiger als der Strom ab Ortsnetz (50 Hz). Im Durchschnitt bezahlen die Bahnen 11 Rp./kWh für Bahnstrom und 18 Rp./kWh für Strom ab Ortsnetz (50 Hz). Zudem ist beim Bezug von Bahnstrom die notwendige

elektrotechnische Infrastruktur einfacher und günstiger. Bei nicht-elektrifizierten Strecken ist der Bezug ab Ortsnetz notwendig.

	Elektrisch		Gas	
	50 Hz	16.7 Hz	Erdgas	Propan
SBB	1644	2912	1257	1509
BLS	54	674		
RhB	55	454		
MGB	184	66		
SOB		199		
MOB	70			
Total Anzahl	2007	4305	1257	1509
Total Anteil	22%	47%	14%	17%

Tab. 2 Übersicht über verwendete Energiequelle für WHZ (Anzahl WHZ in Stück)

Als Heizelemente für die EWH werden Flachheizstäbe verwendet, welche mit einem Klemmbügel an der Schiene befestigt werden (Abb. 4). Alle Bahnen ausser der SBB beziehen ihre elektrischen Heizstäbe bei Backer ELC aus Teufenthal CH, welche zum NIBE Konzern (S) gehören. Die SBB mussten wegen internen Ausschreibungsvergaben einen anderen Lieferanten (Türk&Hillinger, D) akzeptieren, welcher preislich besser abschnitt. Die verwendeten Heizelemente weisen eine Leistungsdichte von ca. 330 W/m auf.



Abb. 4 Flachheizstäbe der Firma Backer ELC, Teufenthal CH, welche häufig für die elektrischen Weichenheizungen eingesetzt werden.

Für die Gasweichenheizungen (GWH) wird bei der SBB Erdgas oder Propan verwendet. Erdgas ist leitungsgebunden und wird dort verwendet, wo ein bestehendes Erdgasnetz vorhanden ist bzw. dort, wo sich der Investitionsaufwand für die Erschliessung wirtschaftlich lohnt. Bei grösseren Bahnhöfen stellt sich manchmal das Problem, dass nicht genügend elektrische Leistung bereitgestellt werden kann für die WHZ (installierte elektrische Leistung wäre im Megawattbereich) und aus diesem Grund GWH verwendet werden.

Propan wird in Tanks bereitgestellt. Bei grösseren Anlagen kommen Zentraltanks mit separaten Verdampfern zum Einsatz, bei kleineren Anlagen mobile Transporttanks, welche jedoch ersetzt werden müssen. Für neu projektierte Anlagen werden möglichst erdverlegte Tanks angestrebt. Die Brennerrohre beziehen die SBB bei Pinch Aben D (Abb. 5). Sie erreichen mit ca. 1000 W/m eine dreimal höhere Leistungsdichte als die elektrischen Heizstäbe. GWH werden aus diesem Grund auch vorzugsweise in Höhenlagen ab 700 m.ü.M. eingesetzt. GWH sind für Schnellfahrstrecken ab 160 km/h nicht geeignet, weil die Strömung in den Brennerrohren zu stark beeinträchtigt wird³.

Der Tarif für Erdgas liegt bei ca. 7 Rp./kWh. Für Propan liegt der reine Gaspreis im ähnlichen Bereich, jedoch muss noch mit einem beträchtlichen Aufschlag für die Transportkosten und den „Rückgabeverlust“ bei nicht vollständig leeren Transporttanks gerechnet werden. Der Energiepreis ist für Gas somit tiefer als für Strom. Jedoch sind die Investitions- und Unterhaltskosten bei GWH in der Regel höher als bei EWH.



Abb. 5 Brennerrohre für GWH (Bahnhof Bern)



Abb. 6 Propangastank mit Verdampferhäuschen im Hintergrund (Rangierbahnhof Däniken SO)

³ Johannes Weibel, Fachspezialist Gasweichenheizungen SBB

International werden ausser in Holland kaum Neuanlagen mit GWH gebaut. Allerdings überlegen sich die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) wieder vermehrt auf GWH zu setzen, da deren höhere Leistungsdichte im automatisierten Bahnbetrieb die Verfügbarkeit erhöht. Im stark automatisierten Bahnbetrieb hat die Verfügbarkeit des Bahnbetriebs höchste Priorität. Die Gasheizungen erreichen mit der Wärme Regionen an der Weiche, welche von der Elektroweichenheizung in kälteren Regionen nicht mehr erreicht werden⁴. Allerdings geht die dreimal höhere Leistungsdichte auch mit einem mindestens dreimal höheren Energieverbrauch einher. Neben der SBB scheint es bei den anderen befragten Bahnen kein Thema zu sein, GWH einzuführen.

Bei den befragten Bahnen betreibt niemand WHZ mit alternativen Energiequellen wie zum Beispiel Geothermie oder Fernwärme. Es sind auch keine anderen Schweizer Bahnunternehmen bekannt, die solche Heiztechnologien einsetzen.

2.3.2 Lage der Heizelemente

In Abschnitt 1.3 wurde bereits darauf hingewiesen, welche Zonen einer Weichenanlage bei Schnee besonders gefährdet sind. Es gibt bei den Schweizer Bahnen gewisse Unterschiede, wo standardmässig beheizt wird. Gemeinsam ist allen, dass die Backenschiene beheizt wird. Bei EWH werden die Heizelemente dabei sinnvollerweise innen angebracht (Ausnahme MOB). So entstehen kleinere Wärmeverluste durch Aufheizen der Schiene. SBB und BLS beheizen auch den Verschluss standardmässig. Verschluss und Zunge werden ansonsten nur bei Bedarf an kritischen Standorten beheizt. Die alpinen Bahnen RhB und MGB beheizen die Backenschiene zum Teil doppelt (innen und aussen) oder sogar mehrfach, indem mehrere Heizelemente nebeneinander platziert werden, um mehr Heizleistung pro Schienenmeter zu erreichen. So wird auch der Nachteil gegenüber GWH bezüglich der Leistungsdichte wettgemacht.

Bei GWH müssen die Brennerrohre aus Platzgründen aussen an der Backenschiene angebracht werden. Sie liegen praktisch bündig mit der Oberkante der Schiene (Abb. 5).

	Backenschiene innen	Backenschiene ausser	Verschluss	Zunge
SBB	x		x	(x)
BLS	x		x	(x)
RhB	x	(x)	(x)	(x)
MGB	x	(x)		
SOB	x		(x)	
MOB		x		

Tab. 3 Übersicht über Lage der Heizelemente bei elektrischer WHZ, x = standardmässig beheizt, (x) = teilweise beheizt

2.3.3 Automatisierungsgrad

Als automatisierte Weichenheizung wird eine Anlage bezeichnet, welche aufgrund von Messparametern wie z.B. Lufttemperatur, Niederschlag, Schienentemperatur etc. selbsttätig ein- und ausschaltet. Im Gegensatz dazu wird bei einer nicht-automatisierten WHZ der Entscheid zum Ein- und Ausschalten von einer Person getroffen. Dies kann entweder von einer Leitstelle „ferngesteuert“ erfolgen oder vor Ort. Letzteres ist jedoch bei keinem der befragten Bahnunternehmen mehr der Fall.

Die Umfrage hat gezeigt, dass der Automatisierungsgrad in der Schweiz sehr hoch ist (Abb. 7). Die SBB, BLS und MOB haben alle WHZ-Anlagen automatisiert. Den grössten Anteil

⁴ Daniel Föhn, Projektleiter Kompetenzzentrum WHZ SBB

an nicht- automatisierten Anlagen hat die RhB, welche noch 74% nicht-automatisierte Anlagen betreibt. Diese sollen aber in den nächsten 10 Jahren umgerüstet werden. Die MGB und SOB haben noch kleinere Bestände an nicht- automatisierten Anlagen, sind jedoch auch bestrebt, diese möglichst bald umzurüsten.

Es herrscht in dieser Sache ein breiter Konsens, dass durch die Automatisierung die Betriebsstundenzahl und somit auch der Energieverbrauch drastisch gesenkt werden kann. Dies wird in Abschnitt 2.4.3 am Beispiel der RhB noch mit konkreten Zahlen untermauert.

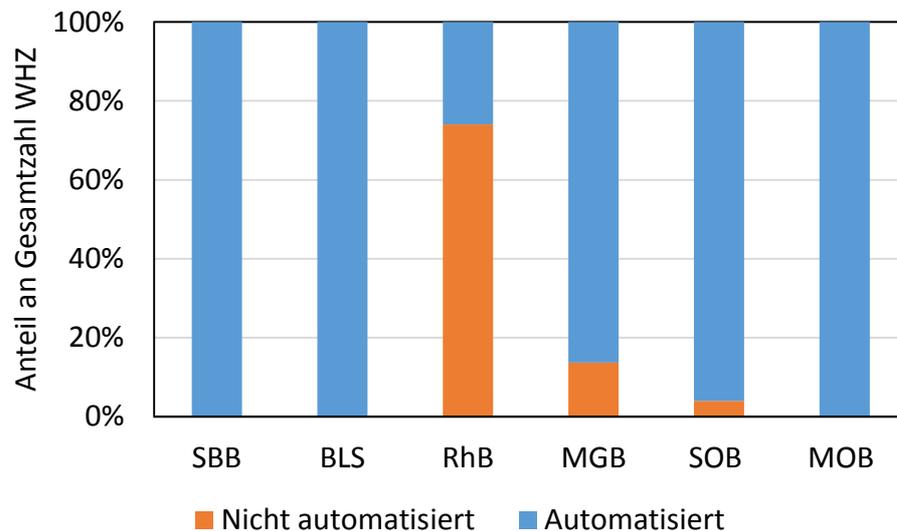


Abb. 7 Anteil automatisierter / nicht- automatisierter WHZ nach Bahnunternehmen

Die automatisierten Anlagen sind bei den meisten Bahnen ähnlich strukturiert und soll hier am Beispiel SBB erklärt werden: Drei bis maximal neun Weichenheizungen sind einer Weichenheizkabine (bei EWH) bzw. einem Zündschaltkasten (bei GWH) zugeordnet (Abkürzungen WHK und ZSK). Diese Einheiten beinhalten das Leistungsteil (Energieversorgung mit Strom oder Gas) und die lokale Steuereinheit. Jeder Weichenheizkabine ist ein Schienentemperaturfühler zugeordnet. Die Kommunikation zur Leitstelle und zur Wetterstation, welche die Umgebungsparameter misst, läuft über den Hauptsteuerschrank. Die Weichenheizkabinen bzw. Zündschaltkästen können bei Unterbruch der Kommunikation (mit der Wetterstation) autonom (Schienentemperatur als Steuerungskriterium) operieren. Als WHZ-Anlage wird das gesamte Konstrukt, welches über den Hauptsteuerschrank verbunden ist, bezeichnet.

2.3.4 Messparameter

Um eine WHZ automatisiert betreiben zu können, muss der Umgebungs- und Schienenzustand aufgrund von Messwerten erfasst werden. Die meisten Bahnen haben ein ähnliches Messkonzept (Tab. 4). Pro Anlage werden durch je eine Wetterstation die Umgebungsparameter wie Lufttemperatur, Niederschlag etc. gemessen. Die Umgebungsparameter dienen als Kriterien zum Ein- und Ausschalten der Anlage. Direkt an der Weiche wird im beheizten Bereich jeweils einmal pro Weichenheizkabine bzw. Zündschaltkasten die Schienentemperatur gemessen. Diese dient als Regelparameter. Meist ist der Schienentemperaturfühler aussen an der Backenschiene angebracht (Abb. 8). Es gibt jedoch auch neuere Sensoren, welche unter dem Schienenfuss angebracht werden können. Dadurch ist der Sensor näher bei der Heizquelle und das Regelsystem entsprechend weniger träge.

	Temperatur Schiene	Temperatur Luft	Niederschlag / Schneefall	Flugschnee	Temperatur Schiene „kalt“
SBB	x	x	x		
BLS	x	x	x		x
RhB	x	x	x	x	
MGB	x	x	x	x	
SOB	x	x	x	x	
MOB			x	(x)	

Tab. 4 Parameter, welche standardmässig gemessen werden und als Steuer- und Regelkriterien verwendet werden.

Die Wetterstation misst die Lufttemperatur und den Niederschlag bzw. die Luftfeuchtigkeit. Daraus ergibt sich die Information, ob Schneefall vorliegt. Einige Bahnen erfassen auch den Flugschnee mit einem speziell kalibrierten Sensor. Dabei ist vor allem die Platzierung des Sensors entscheidend (welche Weiche ist die kritischste?). Der Nutzen des Flugschneesensors ist jedoch umstritten.

Hilfreich ist es, die Wetterstation nahe dem Betriebsgeleise aufzustellen. Damit kann indirekt Flugschnee erfasst werden. Dessen Detektion erhöht allerdings die Betriebsstunden. Bei den GWH der SBB in höheren Lagen wird dem Standort der Wetterstation in diesem Sinne besondere Aufmerksamkeit geschenkt⁵.

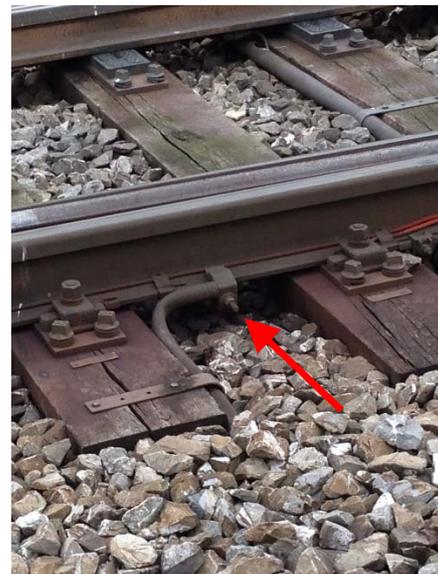


Abb. 8 Wetterstation (links) und Schienentemperaturfühler (rechts)

Die MOB bildet unter den Bahnen eine Ausnahme. Sie verwendet zur Schneefalldetektion ein selbstentwickeltes System, bei welchem der Schnee in einem Behälter aufgefangen und geschmolzen wird und aufgrund des kalibrierten Abflusses Informationen über Schneefall gewonnen werden können. So wird indirekt auch Flugschnee erfasst.

⁵ Daniel Föhn, Projektleiter Kompetenzzentrum WHZ SBB

Die BLS erfasst neben der Schienentemperatur im beheizten Bereich auch noch die Schienentemperatur im unbeheizten Bereich. Dieser Parameter wird als „Schiene kalt“ bezeichnet. Er dient neben der Lufttemperatur als zusätzliches Einschaltkriterium.

2.3.5 Steuerung

Die Mehrheit der befragten Bahnen benutzt eine Steuerungssoftware der Schweizer Firma Hutec Automation AG aus Neuenkirch (Ausnahme BLS und MOB). Daher sind die Steuerungskonzepte auch sehr ähnlich. In Tab. 5 sind drei Hauptbetriebsmodi aufgeführt: Im Schneefallbetrieb, d.h. wenn von der Wetterstation Schneefall detektiert wird, wird die Heizung eingeschaltet, sobald die Lufttemperatur einen bestimmten Wert unterschreitet (meist 2.5°C). Steigt die Lufttemperatur wieder über einen bestimmten Wert an, z.B. über 3.5°C, schaltet sie wieder aus. Der Trockenbetrieb kommt bei trockenem aber sehr kaltem Wetter zum Einsatz, um das Anfrieren von beweglichen Teilen zu verhindern. Hier sind die Grenzwerte tiefer. Bei allen Bahnen, welche diese Betriebsart kennen, liegen sie im Normalfall bei -10°C/-8°C. Es sei an dieser Stelle nochmals erwähnt, dass es sich bei den in den Tabellen aufgeführten Werten um die Standardeinstellungen handelt, d.h. um diejenigen Werte, die normalerweise vorprogrammiert sind. Je nach Standort werden diese Werte aber auch angepasst und können innerhalb desselben Unternehmens variieren.

Zusätzlich wird mit dem sogenannten „Morgenheizen“ die Weiche auf den Betriebsbeginn hin „vorbereitet“. Wenn zu einem definierten Zeitpunkt vor Betriebsbeginn die Temperatur einen Grenzwert unterschreitet, wird für eine vorgegebene Zeit geheizt. Z.B. wird bei der SBB um 4:30 Uhr für 60 Min. geheizt, sofern die Lufttemperatur zu diesem Zeitpunkt unter -5°C liegt.

Vier Bahnen (SBB, RhB, MGB und SOB) haben bei ihren automatisierten Anlagen nahezu identische Konzepte und Grenzwerte. Die BLS kennt nach eigenen Angaben nur den Schneefallbetrieb. Die MOB hat neben der Schneefalldetektion kein zusätzliches Einschaltkriterium, d.h. solange es schneit wird geheizt.

Neben den genannten Hauptmodi gibt es auch die Möglichkeit zum Eingreifen des Fahrdienstleiters (Fahrdienstbetrieb, Dauerbetrieb etc.), wenn die betreffende Person dies für notwendig erachtet. Diese Möglichkeit bringt den „Faktor Mensch“ auch bei den automatisierten Anlagen wieder ins Spiel. Neben dem Verstellen der Einstellparameter kann durch Auslösen dieser Funktion die Anzahl Betriebsstunden stark beeinflusst werden (siehe auch Abschnitt 2.4.2).

	Schneefallbetrieb		Trockenbetrieb		Morgenheizen
	Ein	Aus	Ein	Aus	Ein
SBB	< 2.5°C	> 3.5°C	< -10 °C	> -8°C	< -5°C
BLS	< 3°C	Neben Lufttemperatur auch Schiene „kalt“ als Kriterium			
RhB	< 2.5°C	> 3.5°C	< -10 °C	> -8°C	< -3°C
MGB	< 2.5°C	> 3.5°C	< -10 °C	> -8°C	< 0°C
SOB	< 2.5°C	> 3.5°C	< -10 °C	> -8°C	< -3°C
MOB	Nur Schneefall als Kriterium				

Tab. 5 Grenzwerte der Lufttemperatur zum Einschalten/Ausschalten der WHZ in den drei wichtigsten üblichen Betriebsmodi (gilt nur für automatisierte Anlagen).

2.3.6 Regelung

Wenn die Weichenheizungsanlage automatisiert ist, d.h. automatisch ein- und ausschaltet, wird üblicherweise auch die Schienentemperatur geregelt. Meist kommt die einfachste Form der Regelung, eine Zweipunkt-Regelung, zum Einsatz: Wenn der untere Grenzwert unterschritten ist, wird eingeschaltet, wenn der obere Grenzwert überschritten ist, wird ausgeschaltet. Durch die Trägheit des Systems kommt es hier zu einem relativ starken

Über- und Unterschwingen der Temperatur. Die SBB liegt am tiefsten mit den Schienentemperatursollwerten für die EWH (8/10°C). Für GWH liegen die Werte in der Regel höher.

Die RhB setzt bei ihren relativ neu automatisierten Anlagen als einzige Bahn einen PID-Regler ein. Die Temperatur wird konstant auf 30°C oder 40°C geregelt. Dabei ist aber zu beachten, dass der Temperatursensor im Gegensatz zu den anderen Bahnen unter dem Schienenfuss angebracht ist, also näher bei der Heizquelle. So können diese Temperaturen nicht direkt verglichen werden. Die MOB setzt keine Temperaturregelung ein. Bei Schneefall wird unregelt geheizt.

	Regeltyp	Sollwertbereich Schienentemperatur
SBB	2-Punkt	8°C / 10°C
BLS	2-Punkt	12°C / 20°C
RhB	PID	konst. 30°C oder 40°C (Sensor unterhalb Schienenfuss)
MGB	2-Punkt	12°C / 14°C
SOB	2-Punkt	12°C / 14°C
MOB	unreguliert	-

Tab. 6 Regeltyp und Grundeinstellungen der Sollwerte für die Schienentemperatur bei Schneefallbetrieb (gilt für EWH)

2.3.7 Installierte Leistung

Die durchschnittliche installierte Leistung pro WHZ liegt je nach Unternehmen zwischen 4 kW und 9 kW. Diese Werte wurden aus den Angaben von installierter Leistung nach Weichentyp unter Gewichtung der Anzahl in der entsprechenden Typenkategorie errechnet. Die durchschnittliche Leistung bei der SBB wurde im Rahmen der separaten Auswertung der Betriebsstunden ermittelt und stellt den Durchschnitt aus den erfassten WHZ dar (25% aller WHZ, siehe auch Abschnitt 2.4.2). Da bei der BLS die Anzahlverteilung nach Weichentyp nicht bekannt ist, ist die angegebene Leistung der Durchschnitt aller Weichentypen. Tab. 7 gilt nur für EWH. Bei GWH liegen die Werte rund dreimal höher, da über dieselbe Länge beheizt wird, die Leistungsdichte aber höher ist.

Tendenziell ist die installierte Leistung bei den grösseren Bahnen höher. Das liegt einerseits daran, dass die grösseren Bahnen Weichen mit grösseren Ablenkradien und daher längeren beheizten Zonen haben. Andererseits könnte es auch einen Einfluss haben, dass die Verfügbarkeit von Personal vor Ort, um allenfalls noch „von Hand“ räumen zu können, bei den kleinen Bahnen höher ist.

	Installierte Leistung
SBB	8.7 kW
BLS*	8.6 kW
RhB	5.9 kW
MGB	4.5 kW
SOB	7.0 kW
MOB	4.2 kW

* Durchschnitt aller Weichentypen. Keine Gewichtung nach Anzahl mangels Angaben

Tab. 7 Durchschnittliche installierte Leistung pro WHZ (nur EWH)

2.4 Betriebsstunden

2.4.1 Normierung der Betriebsstunden

Um den jährlichen Energiebedarf einer Weichenheizung zu berechnen, muss neben der installierten Leistung auch die Anzahl Betriebsstunden pro Jahr bekannt sein. Dies stellt wohl den schwierigsten Teil der Bestandsaufnahme dar. Zwar werden die Betriebsstunden bei den automatisierten Anlagen in der Regel erfasst. Die Daten werden aber in den Bahnunternehmen meist nicht systematisch ausgewertet. Oft werden die Betriebsstundenzähler nach einer Heizsaison zurückgesetzt. Daher stammen viele Angaben vom Winter 2013/2014, welcher vor allem in den tieferen Lagen ausgesprochen mild und schneearm war. Diese Werte bedürfen daher einer Korrektur, welche die Winterhärte berücksichtigt. Die SBB berechnet jeweils den sogenannten Winterindex (WI), welcher sich wie folgt berechnet:

$$WI = \frac{\text{Neuschneetage} + \text{Frosttage}}{\text{Winterdauer}} \times 100$$

Neuschneetage: Anzahl Tage, an welchen Neuschnee fällt

Frosttage: Anzahl Tage, an welchen die Temperatur unter 0°C fällt

Winterdauer: Anzahl Tage vom 15.10 bis 31.03. (167/168)

Der Winterindex bezeichnet somit den Anteil Neuschneetage und Frosttage an der Winterdauer in Prozent und ist ein Mass für die Winterhärte. Der Winterindex ist regional unterschiedlich. Die Durchschnittswerte über die ganze Schweiz sind in Tab. 8 aufgeführt. Ein durchschnittlicher Winter hat einen Winterindex von 49.3. Demgegenüber war der Winter 12/13 mit 58.9 überdurchschnittlich hart, dafür der letzte Winter 13/14 mit 26.1 sehr mild. Bemerkenswert ist zudem, dass der Winterindex in den Regionen Mittelland Ost und Südtessin Null war. Das bedeutet, dass es dort weder Schnee- noch Frosttage gab.

Saison	Winterindex SBB	Einstufung Winter
2010 /2011	53.4	mittel
2011 /2012	49.2	mittel
2012 / 2013	58.9	hart
2013 / 2014	26.1	mild
Durchschnittswinter	49.3 (Durchschnitt über 14 Jahre)	

Tab. 8 Durchschnittlicher Winterindex (ganze Schweiz) für die letzten Winter.

Die Winterhärte hat einen massgeblichen Einfluss auf die Betriebsstunden einer WHZ. Um die vorhandenen Daten auf einen Durchschnittswinter (WI 49.3) umzurechnen, wurde daher ein linearer Zusammenhang zwischen Winterindex und Betriebsstunden angenommen:

$$\text{Betriebsstunden}(\text{Durchn. Winter}) = \frac{\text{Betriebsstunden}(\text{Saison } xy) \cdot 49.3}{WI(\text{Saison } xy)}$$

Dies erfolgte im Wissen darum, dass dieses Modell Unsicherheiten birgt. Es war im Rahmen dieser Studie jedoch nicht möglich, diese Thematik weiter zu vertiefen.

2.4.2 Auswertung Betriebsstunden SBB

Die SBB verfügt über keine systematische Auswertung ihrer Betriebsstundendaten. Bei den Anlagen, welche mit einer neueren Steuerungsgeneration ausgerüstet sind (jünger als Jahr 2000), werden die Betriebsstunden zwar aufgezeichnet und können gesichtet werden, ein automatisiertes Auslesen und Auswerten ist technisch bisher jedoch nicht möglich. Im Rahmen der Möglichkeiten innerhalb dieser Studie wurden daher möglichst viele WHZ-Anlagen bezüglich ihrer Betriebsstundendaten „manuell“ ausgewertet. D.h. die zentral abrufbaren Daten wurden abgetippt und ausgewertet.

Dabei wurden insgesamt 130 Anlagen mit 417 WHK/ZSK und 1819 WHZ erfasst. Dies entspricht 25% der total 7322 WHZ der SBB. Davon werden 32% der Anlagen mit Gas betrieben. Bezogen auf die Anzahl der einzelnen WHZ beträgt der Anteil der GWH 38%, was genau dem totalen Anteil an GWH bei der SBB entspricht. Die Auswahl ist somit bezüglich Heiztechnologie sehr repräsentativ. Der Anteil der GWH nimmt mit zunehmender Höhenlage zu (Abb. 9). Über 800 m.ü.M. liegt er bei 100%. Es werden jedoch auch in tieferen Lagen GWH eingesetzt. Die durchschnittliche Höhenlage aller erfassten Anlagen liegt bei 473 m.ü.M.

Die durchschnittliche installierte Leistung der erfassten EWH (Mittelwert über 1118 EWH) beträgt 8.7 kW.

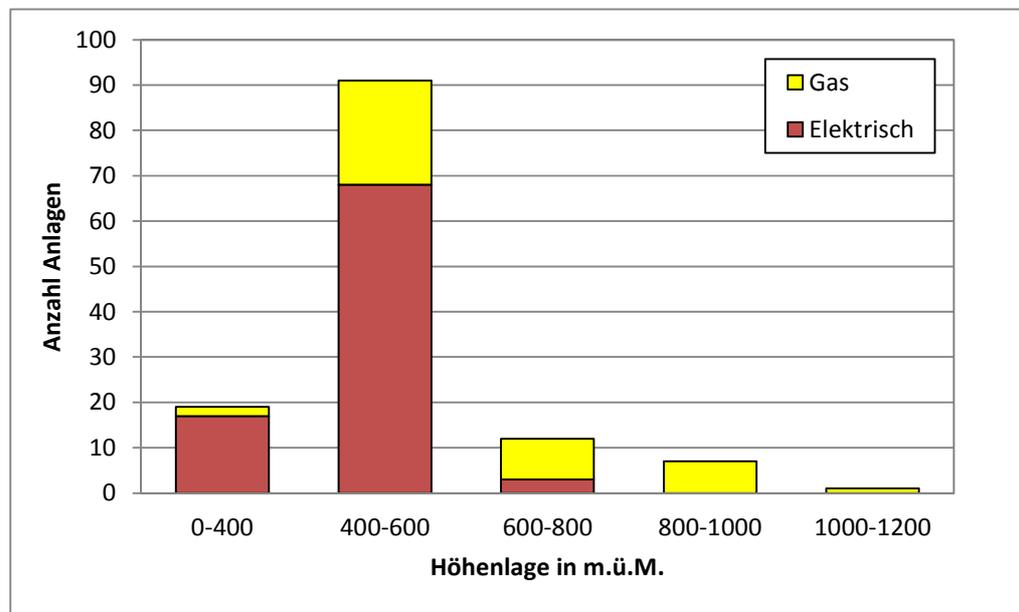


Abb. 9 Verteilung der ausgewerteten WHZ-Anlagen der SBB nach Höhenlage

Die Betriebsstundenzähler der Mehrheit der erfassten Anlagen wurden im Herbst 2013 zurückgesetzt. Somit stammen die meisten Daten aus dem milden Winter 13/14:

Rücksetzdatum 2013	65% der Anlagen
Rücksetzdatum 2012	15%
Rücksetzdatum 2011	8%
Rücksetzdatum 2010	9%
Rücksetzdatum 2009	3%

Zur Auswertung wurden sowohl die Betriebsstunden der Anlage als auch die Betriebsstunden der Weichenheizkabinen (WHK) bzw. Zündschaltkästen (ZSK) erfasst. Es ist für die folgenden Auswertungen wichtig, diesen Unterschied zu verstehen. Die Betriebsstunden der Anlage bezeichnen die Zeit, in welchem die Einschaltkriterien gemäss Wetterstation erfüllt sind. Dies bedeutet aber nicht, dass die Heizung auch effektiv läuft.

Dies hängt davon ab, ob die Schienentemperatur innerhalb des definierten Regelbereichs ist (siehe Abschnitt 2.3.6). Für die effektive, energierelevante Heizzeit ist die Betriebsdauer der WHK/ZSK massgebend. Diese wird in diesem Bericht daher auch als Betriebsstunden WHZ bezeichnet.

Zahlreiche Faktoren haben einen Einfluss auf die Betriebsstunden einer WHZ:

- Winterhärte (Winterindex)
- Höhenlage, geographische Lage
- Einschaltkriterien gemäss Wetterstation
- Heiztechnologie
- Regelparameter Schienentemperatur
- Zufallsfehler

Um die Anzahl an Einflussfaktoren zu minimieren, wurden zuerst die Betriebsstunden der **Anlage** betrachtet. Diese hängen einzig davon ab, ob die Einschaltkriterien gemäss Wetterstation erfüllt sind und sind unabhängig von der Heiztechnologie und den Parametern zur Regelung der Schienentemperatur.

In Tab. 9 sind die jeweiligen Anteile der einzelnen Betriebsmodi an der Gesamtbetriebszeit der WHZ-Anlagen aufgeführt. Die Durchschnittswerte sind in Abb. 10 zusätzlich grafisch dargestellt. Der Schneefallbetrieb ist mit 77% der häufigste Betriebsmodus, gefolgt vom Trockenbetrieb mit 14%. Morgenheizen und die Summe an „manuell“ gesteuerten Betriebsarten, wie Fahrdienstbetrieb und Dauerbetrieb, spielen demgegenüber im Durchschnitt nur eine untergeordnete Rolle. Bei einzelnen Anlagen können sie jedoch durchaus einen signifikanten Anteil ausmachen, wie die Extremwerte zeigen. Z.B. macht der unregulierte Dauerbetrieb bei einer Anlage gegen 30% aus oder eine Anlage läuft während mehr als 50% der Zeit im Trockenbetrieb. Solche Extremwerte weisen darauf hin, dass entweder die Einschaltparameter an der Wetterstation lokal nicht sinnvoll eingestellt sind oder der Faktor Mensch einen zu grossen Einfluss ausübt. Die entsprechenden Anlagen haben überdurchschnittlich hohe Betriebsstunden und sollten überprüft werden.

Betriebsmodus	Durchschnittlicher Anteil	Extremwerte	
		Min. Anteil	Max. Anteil
Schneefallbetrieb	77%	38%	100%
Trockenbetrieb	14%	0%	54%
Morgenheizen	1%	0%	25%
Fahrdienstbetrieb	3%	0%	11%
Dauerbetrieb reguliert	2%	0%	32%
Dauerbetrieb unreguliert	3%	0%	29%
Total „Manuell“ gesteuert	8%	0%	35%

Tab. 9 Anteile der einzelnen Betriebsmodi an den Gesamtbetriebsstunden einer Anlage

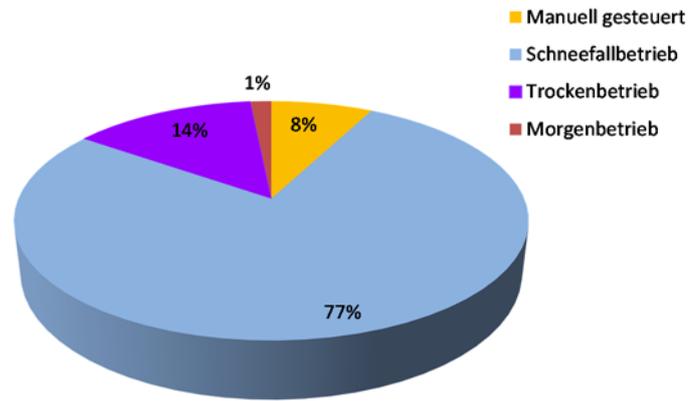


Abb. 10 Durchschnittliche Anteile der Betriebsmodi an den Gesamtbetriebsstunden einer Anlage

Die Anzahl der Betriebsstunden der Anlage ist einer grossen Streuung unterworfen, wie in Abb. 11 für den Winter 13/14 gezeigt. Die statistische Auswertung ergab, dass die durchschnittliche Zunahme der Betriebsstunden ca. 50 h pro 100 m zusätzliche Höhe beträgt. Die durchschnittliche Anzahl Betriebsstunden der Anlagen beträgt im milden Winter 13/14 (WI 26) 258 h (Tab. 10). Jedoch ist die mittlere Höhenlage der ausgewerteten Anlagen mit 521 m.ü.M. etwas höher als der tatsächliche Durchschnitt (473 m). Um einen für die durchschnittliche Höhenlage repräsentativen Wert zu erhalten, wurde die Anzahl Betriebsstunden zu 234 h korrigiert. Analog dazu ergeben sich aus den Daten mit Rücksetzdatum 2012 für einen harten Winter (WI 59) 718 Betriebsstunden und mittels Interpolation für einen mittelharten Winter (WI 49) 571 Betriebsstunden.

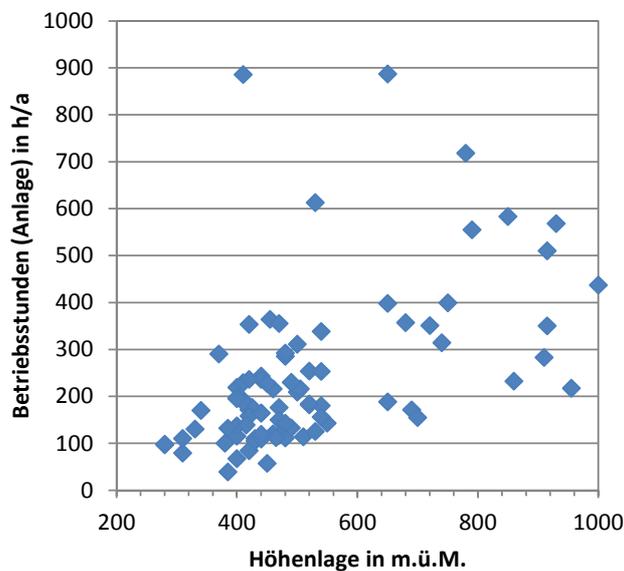


Abb. 11 Totale Betriebsstunden aller erfassten Anlagen im Winter 13/14

Wie bereits erwähnt, stellen die Betriebsstunden der Anlage nicht die effektive Heizdauer dar. Diese entspricht der Betriebsstunden der WHK/ZSK und wird unter anderem von der Heiztechnologie, der installierten Leistung, der Regelstrategie und den Regelparametern bestimmt. Der relative Anteil der Betriebsstunden WHK/ZSK an den Betriebsstunden Anlage ist in Tab. 11 aufgeführt. Im Durchschnitt heizen die EWH während 56% der Anlagenbetriebszeit und die GWH während 71%. Dies widerspricht der zum Teil verbreiteten Meinung, dass GWH tiefere Betriebsstunden haben als EWH [1]. Die nach Höhenlagen aufgeschlüsselte Auswertung zeigt, dass der höhere Anteil Betriebsstunden

der GWH auch nicht mit der tendenziell höheren Lage begründet werden kann. In Abb. 12 ist die Anzahlverteilung für Gas- und Elektroanlagen für vier verschiedene Kategorien dargestellt. Die Kategorien stehen für das relative Verhältnis von Betriebsstunden WHK/ZSK zu Betriebsstunden Anlage, was auch als „Heizintensität“ ausgedrückt werden kann. Dabei ist ersichtlich, dass dieses Verhältnis bei den GWH überdurchschnittlich oft im Bereich 75-100% liegt. Vereinzelt sind bei der Auswertung Anlagen aufgefallen, welche bei nahezu 100% liegen. Das bedeutet, dass die Heizelemente nahezu dauernd heizen, wenn die Einschaltkriterien der Anlage erfüllt sind, die vorgegebene Schienentemperatur also nur knapp oder nicht erreicht wird.

Saison	WI	Anzahl Daten	Mittl. Höhe m.ü.M.	Betriebsst. Anlage	Betriebsst. korr. auf 473 m.ü.M.	Herleitung
13/14	26	85	521	258	234	Daten mit Rücksetzdatum 2013, Korrektur für mittlere Höhenlage
12/13	59	19	386	675	718	Daten mit Rücksetzdatum 2012, Abzug von Werten für Saison 13/14, Korrektur für mittlere Höhenlage
Durchschn. Winter	49		473		571	Lineare Interpolation zwischen Werten für WI 26 und WI 59

Tab. 10 Zusammenfassung der Auswertung der Betriebsstunden der Anlagen

Ausgehend von 571 Anlagenbetriebsstunden in einem durchschnittlichen Winter ergibt sich für eine EWH eine effektive Heizzeit von 320 h. Bei den GWH sind es 405 h. Diese Daten sind nach Einschätzungen des Zuständigen der SBB⁶ repräsentativ für ca. 80% der WHZ-Anlagen der SBB. Die restlichen Anlagen weisen aufgrund seiner Schätzungen ca. 20% höhere Betriebsstunden auf.

Aus diesen Resultaten ist ersichtlich, dass die dreifache installierte Leistung bei den GWH sich nicht in tieferen Betriebsstunden niederschlägt, sondern diese im Gegenteil eher höher sind. Gründe dafür dürften neben den Regelparametern auch massiv höhere Wärmeverluste sein. Zudem wird bei den GWH die Zuverlässigkeit der WHZ höher gewichtet als das Energiethema. Daher sind die Regelparameter der GWH wohl noch weiter vom Optimum entfernt als bei den EWH. An das Optimum müssen sich die Bahnunternehmungen herantasten bei gleichzeitig höchster Verfügbarkeit der WHZ. Mangels theoretischer Grundlagen muss dies auf den Erfahrungen der Mitarbeiter aufgebaut werden. Die jeweilige Beobachtungsperiode ist ein Winter und es braucht somit mehrere Jahre, um die optimalen Regelparameter zu erkennen.

Höhenlage	0-400 m.ü.M.	400-500 m.ü.M.	500-600 m.ü.M.	600-800 m.ü.M.	>800 m.ü.M.	Total bzw. Durchschnitt	Betriebsstunden WHK/ZSK*
Anzahl Anlagen Elektro	14	37	8	3	0	62	
Anzahl Anlagen Gas	2	12	5	8	8	35	
Prozentuale Heizzeit Elektro**	55%	54%	72%	38%	-	56%	320h
Prozentuale Heizzeit Gas**	60%	71%	62%	72%	86%	71%	405h

* Effektive durchschnittliche Heizzeit in einem durchschnittlichen Winter (WI 49) ausgehend von 571 Betriebsstunden der Anlage.

** Anteil der Betriebszeit WHK/ZSK (effektive Heizzeit) an der Betriebszeit der Anlage.

Tab. 11 Zusammenfassung Betriebsstunden WHK/ZSK

⁶ Daniel Föhn, Projektleiter Kompetenzzentrum WHZ, SBB

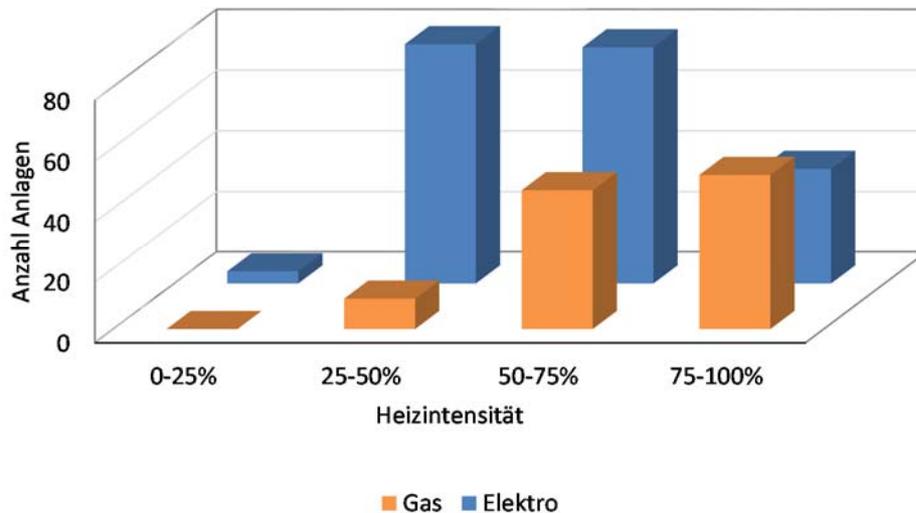


Abb. 12 Anzahlverteilung der Anlagen nach „Heizintensität“ (Anteil Betriebszeit WHK/ZSK an Betriebszeit Anlage)

2.4.3 Auswertung Betriebsstunden verschiedener Bahnen

In Abb. 13 sind die durchschnittlichen WHZ-Betriebsstunden derjenigen Bahnen abgebildet, welche entsprechende Messdaten liefern konnten. Diese Daten gelten nur für automatisierte EWH. Die Werte der SBB stammen aus der im vorangehenden Abschnitt diskutierten Auswertungskampagne, es sind hier jedoch nur Messwerte ohne Extrapolation aufgeführt. In der ersten Grafik (Abb. 13) sind die unbereinigten Werte ohne Korrektur abgebildet. Da sie aus unterschiedlichen Wintersaisons stammen, ist das Bild relativ uneinheitlich und die Daten können nicht wirklich verglichen werden.

SBB	Winter 13/14 (nur Daten aus dieser Saison verwendet, keine Korrektur)
RhB	2013 (Januar bis Dezember)
SOB	2011-2014
MOB	Winter 13/14

Im Folgenden wurden die Daten anhand des Winterindex linear auf einen Durchschnittswinter umgerechnet (Abb. 14). Dadurch gleichen sich die Werte in den entsprechenden Kategorien etwas an. Es muss jedoch beachtet werden, dass die einzelnen Werte aufgrund der stark unterschiedlichen Anzahl WHZ statistisch nicht gleich gewichtet werden können. Beispielsweise repräsentiert der „Ausreisser“ der RhB in der Kategorie 800-1100 m mit mehr als 800 Betriebsstunden nur eine Anlage. Bei der MOB muss beachtet werden, dass die Daten ausschliesslich aus dem letzten Winter stammen. Damit kann vermutlich der starke Anstieg der Betriebsstunden gegen höhere Lagen erklärt werden. D.h. in tiefen Lagen hatte es praktisch keinen Schnee, in den höheren Lagen unterschied sich der Winter weniger stark von anderen Wintern. Der durchschnittliche Winterindex wird dieser Tatsache zu wenig gerecht. Zwar stammen auch die SBB-Daten aus der letzten Wintersaison. Hier gleicht sich das Ganze durch die höhere Anzahl und die breitere regionale Verteilung aber besser aus. Über 1100 m.ü.M. sind nur Messdaten von RhB und MGB vorhanden.

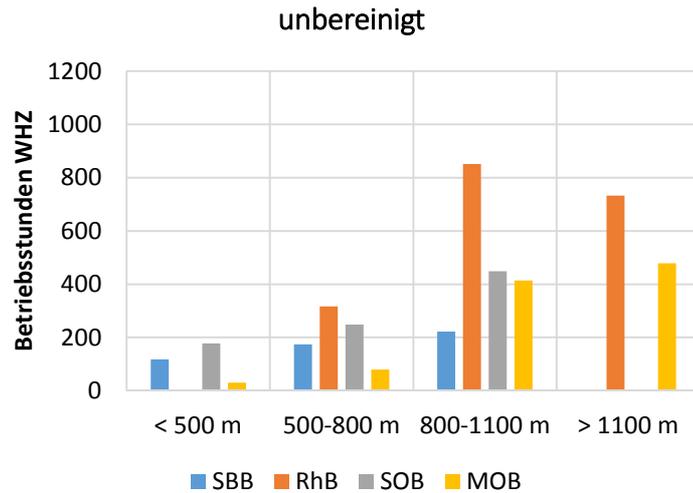


Abb. 13 Unbereinigte Werte der WHZ-Betriebsstunden (nur automatisierte EWH)

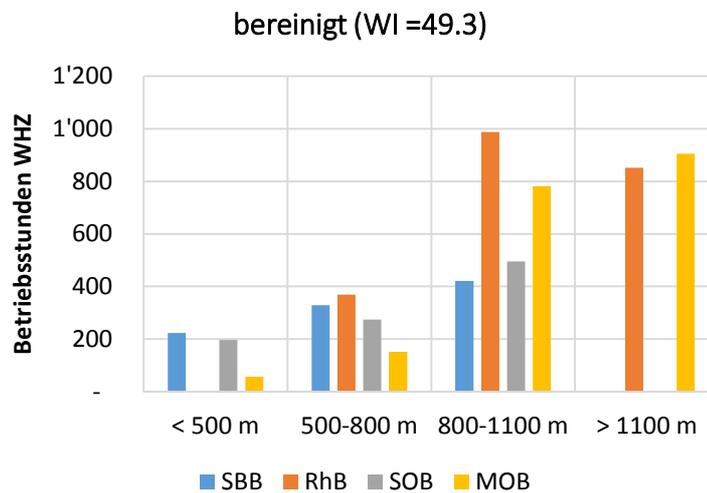


Abb. 14 Normierte Werte der WHZ- Betriebsstunden. Lineare Umrechnung anhand des Winterindex auf einen durchschnittlichen Winter mit WI = 49.3

Die RhB hat Auswertungen von Betriebsstundendaten von automatisierten und nicht-automatisierten Anlagen zur Verfügung gestellt, welche in Abb. 15 dargestellt sind. Die Daten in der mittleren Kategorie von 800-1100 m.ü.M sind statistisch schlecht untermauert, da dort nur eine automatisierte Anlage enthalten ist, welche bereits in der obigen Auswertung als „Ausreisser“ gegen oben identifiziert wurde. Konservativ betrachtet, kann daher aus diesen Daten gefolgert werden, dass die WHZ-Betriebsstunden durch die Automatisierung um mindestens 50% gesenkt werden können. Die Automatisierung bedeutet im Fall der RhB nicht nur das Einführen des automatisierten Ein- und Ausschaltens, sondern auch die Regelung der Schienentemperatur, was auch einen grossen Anteil an den Einsparungen haben dürfte.

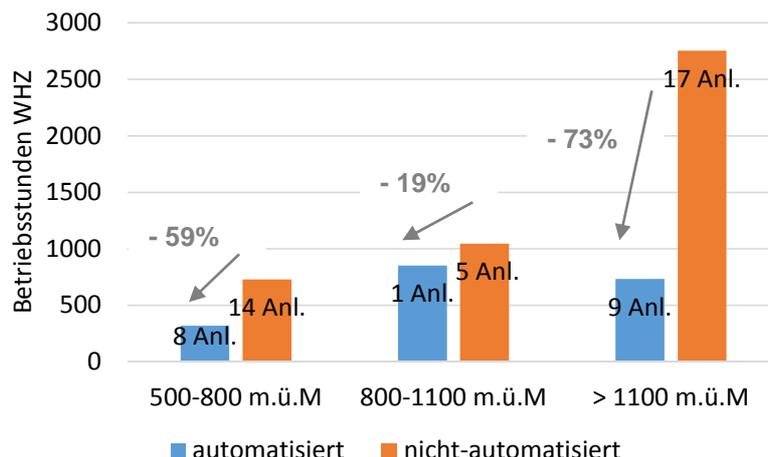


Abb. 15 Vergleich der WHZ Betriebsstunden von automatisierten und nicht-automatisierten WHZ-Anlagen bei der RhB (Daten von Jan-Dez 2013).

2.5 Energiebedarf

Um den jährlichen Energieverbrauch einer WHZ zu berechnen ist die Kenntnis der installierten Leistung und der jährlichen Betriebsstunden notwendig. Es ist dabei hervorzuheben, dass dabei die Betriebsstunden der WHK/ZSK, also die effektive Heizzeit massgebend ist und nicht die Betriebszeit der Anlage. Vor allem die Betriebsstunden sind, wie im vorangegangenen Abschnitt diskutiert, starken Streuungen unterworfen. Zudem sind nicht von allen Unternehmen Daten vorhanden. Zur Abschätzung des Gesamtenergieverbrauchs der WHZ in der Schweiz mussten daher verschiedene Annahmen getroffen werden:

SBB: Die in Abschnitt 2.4.2 errechneten Betriebsstunden sind repräsentativ für 80% der SBB-WHZ. Die restlichen 20% weisen um 20% höhere Betriebsstunden auf.

BLS: Mangels anderer Angaben wurden die durchschnittlich angegebenen Betriebsstunden (633 h/a, Saison unbekannt) verwendet.

RhB: Betriebsstunden mit Winterindex korrigiert (für automatisierte und nicht-automatisierte Anlagen).

MGB: Für Betriebsstunden sind keine Messwerte vorhanden. Es wurden daher die Daten der RhB in den entsprechenden Höhenkategorien verwendet.

SOB: Korrektur der Betriebsstunden mit Winterindex.

MOB: Korrektur der Betriebsstunden mit Winterindex.

Die im Folgenden ermittelten Daten beziehen sich auf den Endenergieverbrauch. Es wurde keine Primärenergiebetrachtung durchgeführt.

Aufgrund dieser Randbedingungen ergibt sich der in Tab. 12 aufgeführte jährliche Energiebedarf in einem durchschnittlichen Winter. Erwartungsgemäss trägt die SBB mit 43 GWh/a den weitaus grössten Anteil am Gesamtbedarf von 53 GWh/a. Einen im Vergleich zur Anzahl WHZ hohen Bedarf hat die RhB, was einerseits auf die Höhenlage, vor allem aber auf den noch hohen Anteil nicht-automatisierter Anlagen zurückzuführen ist. Hochgerechnet auf alle Bahnen in der Schweiz (proportional zum Gleisnetz) liegt der Gesamtbedarf bei 63 GWh/a. Da die nicht erfassten Bahnen eher kleinere Bahnen sind, welche vermutlich noch einen höheren Anteil nicht-automatisierter Anlagen betreiben,

dürfte diese Zahl eher die untere Grenze darstellen. In einem klimatisch durchschnittlichen Winter dürfte der Energieverbrauch für WHZ in der Schweiz daher zwischen ca. 60 und 70 GWh/a liegen.

in kWh/a	Elektrisch 50 Hz	Elektrisch 16.7 Hz	Propan	Erdgas	Total pro Unternehmen
SBB	4'647'059	8'231'288	13'514'602	16'223'973	42'616'922
BLS	293'828	3'667'415			3'961'243
RhB	571'093	4'714'116			5'285'209
MGB	581'229	208'484			789'713
SOB		422'825			422'825
MOB	205'233				205'233
Total pro Energieträger	6'298'443	17'244'127	13'514'602	16'223'973	53'281'144

Energiekosten [CHF/a]	1'133'720	1'896'854	946'022	973'438	4'950'034
CO₂-Ausstoss [t CO₂/a]	673	74	2'676	3'773	7'196

Tab. 12 Berechneter jährlicher Energieverbrauch für WHZ für einen durchschnittlichen Winter, aufgeschlüsselt nach Bahnunternehmen und Energieträger. Ebenso aufgeführt resultierende Energiekosten und CO₂-Emissionen.

Der Anteil der GWH am Energieverbrauch macht insgesamt 55% aus, obwohl sie bezüglich Anzahl nur 31% ausmachen. Wie in Abschnitt 2.4.2 erläutert, ist dies auf den deutlich höheren Energieverbrauch von GWH im Vergleich zu EWH zurückzuführen.

Die Energiekosten belaufen sich auf gesamthaft ca. 5 Mio CHF/a und hochgerechnet auf die ganze Schweiz rund 6 Mio CHF/a. Hier ist der Anteil der GWH wiederum tiefer, aufgrund der tieferen Energietarife (vgl. Kap. 2.3.1).

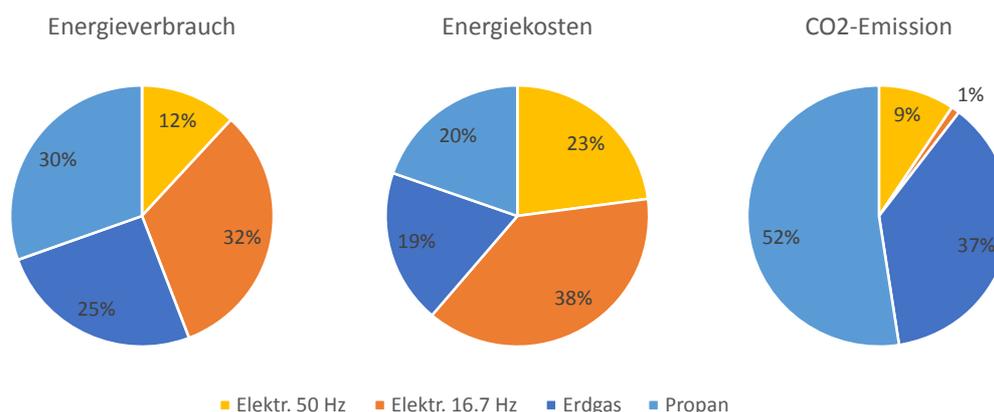


Abb. 16 Relative Anteile der einzelnen Energieträger bezüglich Energieverbrauch, Kosten und CO₂-Emissionen.

Zur Berechnung der resultierenden CO₂-Emissionen wurden für Strom die aktuellen Emissionsfaktoren der SBB⁷ verwendet. Die Faktoren für Gas entstammen dem

⁷ Quelle: Lukas Tanner, Energiemanagement Infrastruktur, SBB. Bahnstrom 16.7 Hz: 4.32 t CO₂/GWh, Drehstrom 50 Hz: 106.8 t CO₂/GWh.

Bundesamt für Umwelt (BAFU)⁸. Wegen des überwiegenden Anteils an Wasserkraft im Strommix des Bahnstroms ist dessen Anteil an den CO₂-Emissionen marginal. 90% der Emissionen werden durch Propan oder Erdgas verursacht. Die erfassten Bahnen verursachen einen Ausstoss von jährlich ca. 7200 t CO₂. Hochgerechnet auf alle Bahnen sind es ca. 8500 t, wobei die reelle Zahl eher tiefer sein dürfte, da wahrscheinlich der Anteil GWH bei den restlichen Bahnen eher kleiner ist.

2.6 Investitions- und Unterhaltskosten von WHZ Anlagen

In der Umfrage wurden die Bahnunternehmen ebenfalls dazu befragt, wieviel sie für die Installation einer neuen WHZ-Anlage kalkulieren und wieviel sie jährlich für Unterhaltskosten aufwenden (jeweils pro einzelne WHZ). Die Investitionskosten für eine neue Weichenheizung hängen stark mit der Ausgangslage zusammen. Je nachdem ob zum Beispiel die ganze Anlage neu geplant werden muss oder nur eine neue WHZ an eine bestehende Anlage angeschlossen wird, können die Kosten um Faktoren variieren. Die Grösse der Anlage bzw. des Bahnhofs hat ebenfalls einen starken Einfluss, da bei vielen WHZ pro Anlage die Investitionskosten für die einzelne WHZ sinken.

Die Investitionskosten für eine neue EWH wurden von den Bahnunternehmen auf 15'000 bis 40'000 CHF geschätzt (tiefste bzw. höchste Nennung). Noch stärker divergieren die Angaben zu den durchschnittlichen jährlichen Unterhaltskosten pro WHZ. Diese Kosten wurden zwischen 40 und 1'800 CHF angegeben. Es handelt sich dabei aber lediglich um Abschätzungen der Verantwortlichen der Bahnen, da diese Kosten innerhalb der Unternehmen in der Regel nicht separat ausgewiesen werden.

Es war im Rahmen dieser Studie nicht möglich, diese Thematik weiter zu vertiefen. Die genannten Zahlen sollten daher als Richtgrössen angesehen werden.

2.7 Probleme mit WHZ

Weiter wurden die Verantwortlichen nach den häufigsten Problemen befragt, mit welchen sie in Zusammenhang mit WHZ zu kämpfen haben. Dabei wurden verschiedenste Punkte angesprochen, welche unten aufgelistet sind:

- Defekte Heizstäbe (2x genannt)
- Erdschluss im Heizstab
- Ausgeschaltete Fahrleitung
- Mechanische Beschädigungen am Heizstab oder Zuleitung
- Mangelndes Verständnis/Know-How beim Bahndienst
- Starke Wetterumschläge
- Schneeverwehungen
- Abfallender Schnee/Eis von Zügen
- Vereisung der Verschlusskästen
- Keine nennenswerten Probleme

Insgesamt ergab sich auch im direkten Gespräch mit den Verantwortlichen der Eindruck, dass die Systeme insgesamt zuverlässig funktionieren und keine gravierenden, dauerhaften Probleme auftreten. Dies ist auch für die im alpinen Raum operierenden Bahnen MGB und RhB der Fall. Diese haben trotz rein elektrisch beheizten WHZ wenige

⁸ CO₂-Emissionsfaktoren des Schweizerischen Treibhausgasinventars, Stand 2011: Propan: 233 t CO₂/GWh, Erdgas: 198 t CO₂/GWh

Probleme. Das stellt das Argument für GWH in höheren Lagen zumindest teilweise in Frage. Die Verantwortlichen der SBB argumentieren auf der anderen Seite mit den höheren Verfügbarkeitsansprüchen der SBB, bedingt durch Faktoren wie dichterem Fahrplan, höhere Fahrgeschwindigkeiten und höheren Automatisierungsgrad.

2.8 Verbesserungspotenzial / Pilotanlagen

Keines der in der Umfrage berücksichtigten Unternehmen hat zurzeit eine Pilotanlage mit grundsätzlich neuer Technologie in Betrieb. Die Chemins de Fer du Jura (CJ) ist nach dem Wissensstand der Autoren die einzige Bahn in der Schweiz, welche auf ihrem Netz induktive Weichenheizungen einsetzt (Pilotanlagen, siehe auch 3.3.2). Verschiedene Bahnen arbeiten aber an der Optimierung der bestehenden Anlagen, z.B. um die Steuer- und Regelparameter zu optimieren. Befragt nach dem ihrer Meinung nach grössten Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz bei ihren WHZ-Anlagen wurden folgende Punkte genannt:

- Restbestand automatisieren (3x)
- Verfeinerung der Regelparameter / Sensorik
- Geothermie (2x)
- Induktive WHZ
- Verbesserung Wärmeleitung zwischen Heizstab und Schiene
- Einfluss von „Faktor Mensch“ reduzieren (kein „Angstheizen“)

Im Gespräch mit einzelnen Verantwortlichen kristallisierte sich heraus, dass vor allem der Faktor Mensch trotz Automatisierung einen grossen Einfluss und somit auch noch ein grosses Potenzial zur Energieeinsparung hat. Dadurch, dass Handeln im Sinne des Energiesparens nicht honoriert wird, sondern die Verantwortlichen höchstens gerügt werden bei einer Störung, handeln sie entsprechend. Das heisst der Fahrdienstbetrieb wird aus Verfügbarkeitsüberlegungen zu oft verwendet und Steuer- und Regelparameter werden konservativer als notwendig eingestellt.

2.9 Zusammenfassung Bestandsaufnahme

In der Umfrage wurden sechs repräsentative Schweizer Bahnunternehmen, welche bezüglich Streckennetz 85% der Schweiz abdecken, berücksichtigt. Diese Bahnen betreiben insgesamt rund 9000 Weichenheizungen (WHZ). Die Gesamtzahl der in der Schweiz betriebenen WHZ dürfte somit zwischen 10'000 und 11'000 Stück liegen.

Die für die WHZ eingesetzten Technologien sind sehr einheitlich. Mit Ausnahme der SBB, welche auch Gas-WHZ (GWH) betreibt, verwenden die anderen befragten Unternehmen ausschliesslich elektrische WHZ (EWH). 95% der Anlagen sind automatisiert, d.h. das Ein- und Ausschalten erfolgt aufgrund von Messparametern automatisch. Bei den automatisierten Anlagen kommt meistens Steuerungssoftware der Firma Hutec zum Einsatz. Die Mess-, Steuer- und Regelkonzepte sind daher sehr einheitlich. Bezüglich Zuverlässigkeit scheinen die Verantwortlichen insgesamt zufrieden zu sein mit ihren Systemen und geben an, keine signifikanten Probleme zu haben.

Die installierte Leistung pro WHZ variiert zwischen 4 kW und 9 kW. Die Unterschiede kommen vor allem durch die Grössen der Weichen zustände (tendenziell grösser bei den Normalspurbahnen SBB, BLS im Gegensatz zu Meterspurbahnen).

Die Betriebsstunden der WHZ hängen von verschiedensten Faktoren ab. Von den quantifizierbaren Faktoren haben die Höhenlage und die Winterhärte (charakterisiert durch den Winterindex) einen grossen Einfluss. In der Untersuchung der SBB-Daten wurden zuerst die Betriebsstunden der Anlage, welche prinzipiell unabhängig von der Technologie sein sollten, untersucht. Es zeigte sich eine grosse Streuung innerhalb der Daten, aber eine klare Tendenz zu höheren Betriebsstunden mit höherer Lage. Die effektive Heizzeit

ist gegeben durch die Betriebsdauer der Weichenheizkabine bzw. des Zündschaltkastens. Bei der Analyse dieser Daten zeigte sich, dass die GWH während durchschnittlich 71% der Anlagenbetriebsdauer effektiv heizen. Bei den EWH liegt dieser Anteil nur bei 56%. Für einen durchschnittlichen Winter mit Winterindex 49 wurde errechnet, dass die der durchschnittlichen Höhenlage der SBB-WHZ (473 m) entsprechende Betriebszeit bei 320 h/a für EWH und bei 405 h/a für GWH liegt. Diese Daten sind repräsentativ für ca. 80% aller SBB-Anlagen. Der Vergleich mit den Daten der anderen Bahnen zeigt eine Übereinstimmung der Grössenordnung, wenn diese mittels Winterindex bereinigt und auf einen durchschnittlichen Winter umgerechnet werden.

Aus den aufgenommenen Daten konnte der jährlich für WHZ benötigte Endenergieverbrauch abgeschätzt werden. Dieser beläuft sich für die befragten Bahnen in einem klimatisch durchschnittlichen Winter auf insgesamt ca. 53 GWh/a, was Energiekosten von rund 5 Mio CHF/a zur Folge hat. Hochgerechnet auf alle Schweizer Bahnen beträgt der Endenergiebedarf zwischen 60 und 70 GWh/a und die Kosten ca. 6 Mio CHF/a. Der CO₂-Ausstoss von ca. 7200 t/a wird zu 90% durch die GWH verursacht.

Mangelhaft ist bei den meisten Bahnen das Monitoring des WHZ-Energieverbrauchs. Dazu bedürfte es vor allem einer systematischen Erfassung und Auswertung der Betriebsstundendaten. Daraus würden sich wichtige Hinweise zur Optimierung der WHZ-Anlagen ergeben. Im Weiteren wird bei vielen Bahnunternehmen energieeffizientes Verhalten des Personals nicht oder zu wenig belohnt, was dazu führt, dass WHZ-Anlagen oft zu konservativ betrieben werden.

3 Entwicklungstendenzen

3.1 Vorbemerkungen

Die Weichenheizung ist eine Nischenanwendung. Entsprechend sind geringe kommerzielle Interessen und auch wenig Geld für Forschung und Entwicklung vorhanden. Forschung findet praktisch nicht statt. Neuentwicklungen werden stark von den Anwendern getrieben. Es finden sich denn auch sehr wenige Publikationen zu diesem Thema und diese Wenigen stammen oft von Firmen, welche selber Anbieter von WHZ-Systemen oder Komponenten sind. Viele Informationen zu den untenstehenden Abschnitten stammen daher aus Gesprächen mit Anwendern, Anbietern und Fachleuten.

Entwicklungstendenzen können auf verschiedenen Ebenen ansetzen, wonach auch die folgenden Abschnitte gegliedert sind:

Energiequelle: Alternativen zu elektrischen Heizelementen oder Gas als Wärmequellen.

Energieübertragung: Optimalere Energieübertragung von der Energiequelle zur Stelle, wo beheizt werden soll. Dazu zählt auch die Minimierung von Verlusten.

MSR-Strategie: Themenkreis Messen, Steuern, Regeln.

Alternative Technologien: Technologien, welche Alternativen zum Heizen bieten.

3.2 Energiequellen

3.2.1 Geothermie

Die Nutzung der Geothermie ist im Bereich der Gebäudeheizung längst etabliert und nimmt eine anerkannt wichtige Rolle ein in der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Energieverbrauch. Im Bereich WHZ existieren bisher nur einige Pilotanlagen in Mitteleuropa. Die Herausforderung in der Entwicklung solcher Systeme besteht darin, sie an das Schienenumfeld anzupassen. Im Gegensatz zu elektrischen Heizelementen oder Brennerrohren muss die Wärme mittels Flüssigkeit (Sole oder Wasser) zur gewünschten Stelle transportiert werden. Dazu müssen entsprechende Wärmeübertrager entwickelt werden, die die Gleisunterhaltsarbeiten nicht behindern bzw. schnell abmontiert werden können und welche zudem den hohen mechanischen Belastungen standhalten. Die Entwicklung von solchen geeigneten Wärmeübertragern ist wohl die grösste Herausforderung, denn die übrigen Elemente wie Erdsonde oder Wärmepumpe sind dieselben wie für eine Gebäudeheizung.

Zurzeit sind zwei Anbieter dabei, ihre Systeme zur Marktreife zu bringen: Das System der Deutschen Firma **TripleS** ist eine Weiterentwicklung des Icesolution Systems von Volkerrail (NL). Es besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten (Abb. 17): Der Erdsonde, der Wärmepumpe und den Wärmeübertragern an der Schiene. Durch eine Umwälzpumpe wird die Sole im Erdreich zirkuliert und durch das Erdreich erwärmt. Die Wärmepumpe erhöht das Temperaturniveau der Wärmeenergie. Damit werden Soletemperaturen bis maximal 40-50°C erreicht. Mit den Wärmetauscherelementen, welche aussen an der Schiene angebracht sind, gelangt die Wärme zur Schiene. Die Wärmeübertrager bestehen im Wesentlichen aus einen Vor- und einem Rücklaufrohr, welche in Isolationsschaum und einem Gummigranulatabschluss eingebettet sind. Die Wärmeleitung zur Schiene erfolgt mittels formangepasster Aluminiumplatte und Wärmeleitpaste. Die Verbindungsschläuche zur Wärmepumpe sind mit Schnellkupplungen versehen. Zum Stopfen müssen die Wärmetauscher bisher entfernt werden.

Alternativ zur Erdsonde können auch Erdkörbe, Grundwasser oder Fernwärme verwendet werden. TripleS hat seit 2007 10 Pilotanlagen realisiert und 6 sind in Planung (alle Deutschland). Gemäss Anbieter scheinen die realisierten Anlagen bisher ohne grössere Probleme zu funktionieren⁹. Dies bestätigt ein Vertreter der Deutschen Bahn (DB AG), welcher Projektleiter für die Realisierung der Pilotanlagen in Vilseck und Farchant war¹⁰. Farchant liegt im Landkreis Garmisch Partenkirchen 670 m.ü.M. und weist im Winter oft viel Schnee auf. Bisher wurden neben einigen Kinderkrankheiten der Pilotanlagen, welche behoben werden konnten, keine grösseren Probleme registriert. Es wurden über eine Winterperiode (2009/2010) Messdaten aufgenommen und die Energieeinsparung gegenüber einer konventionellen elektrischen WHZ der DB wurde von TripleS mit ca. 75% beziffert. Der Vergleich erfolgte allerdings nicht mit einer Referenzanlage vor Ort, sondern mit Referenzwerten für die Gegend. Gemäss Betreiber sind ca. 50% Einsparungen realistisch. Theoretisch sind für Wärmepumpen unter diesen Bedingungen Jahresarbeitszahlen von 4 durchaus realistisch, was einer Einsparung von 75% an elektrischer Energie entsprechen würde. Durch den Wärmeverlust beim Transport in den Leitungen und durch das Aufheizen der Schiene ist dies aber wohl eher der obere Grenzwert. Das TripleS-System kann auch kombiniert werden mit Perronheizung zur Schneefreihaltung oder mit Gebäudeheizung. Die Vorlauftemperaturen von modernen Gebäudeheizungen sind in einem ähnlichen Bereich.

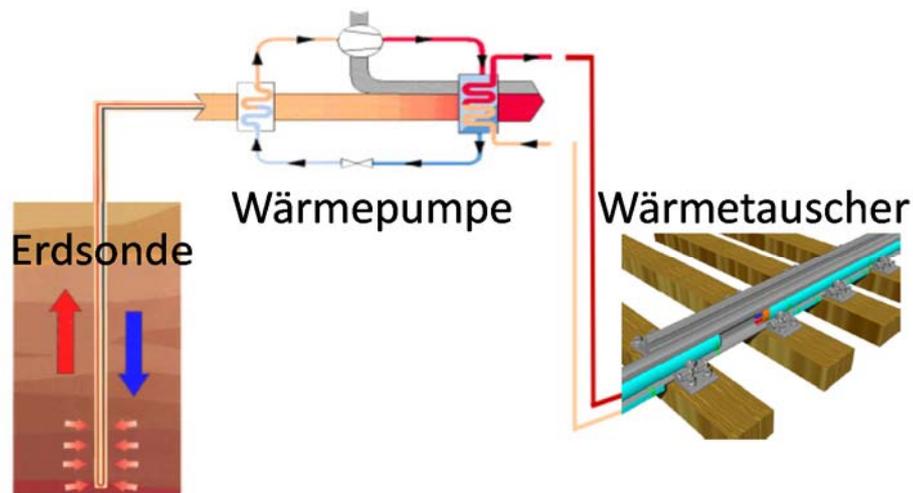


Abb. 17 Prinzip des Geothermischen WHZ-Systems der Firma TripleS (D)

Der zweite Anbieter eines geothermischen Weichenheizungssystems ist die Firma Pinch Aben. Dieses System unterscheidet sich einerseits vom TripleS-System in der Art der Erdsonde. Diese funktioniert nach dem Prinzip eines Thermosiphons. Die Sonde ist dabei ein geschlossenes Rohr, in welchem CO₂ als Arbeitsmedium unter Druck bei ca. 40 bar eingefüllt ist. Durch Aufnahme der Erdwärme verdampft das flüssige CO₂ am Sondenende und strömt nach oben zu den Wärmeübertragern an der Schiene. Dort kondensiert es und gibt die aufgenommene Energie ab. Das flüssige CO₂ rinnt als Film entlang der Rohrwand wieder nach unten. Es findet somit ein selbsttätiger Umlauf des Arbeitsmediums ohne Umwälzpumpe statt. Die abgegebene Leistung ist abhängig von der Temperaturdifferenz am Kondensator. So reguliert sich das System selbstständig. Ein Ein- oder Ausschalten des Systems ist nicht möglich bzw. nicht notwendig. Somit entfällt der ganze MSR-Teil. Einzig der Sondendruck wird aus Sicherheitsgründen und zum Überprüfen der Funktionstüchtigkeit überwacht.

Dieses System ist im Bereich der Gebäudeheizung nicht ganz so etabliert wie die Solesonden, ist jedoch ebenfalls seit ca. 15 Jahren auf dem Markt und hat durch den

⁹ T. Stenz, VT Verkehrs- und Industrietechnik AG (Vertretung TripleS in der Schweiz)

¹⁰ J. Krause, DB Netz AG, Region Süd

Wegfall der Umwälzpumpe und durch den geringeren Wärmeübergangswiderstand durch die Kondensation energetisch Vorteile gegenüber den konventionellen Sole-Sonden [2]. Pro Bohrung sind mehrere Rohre versenkt, so würde der Ausfall eines Rohres weniger ins Gewicht fallen.

Im Gegensatz zum TripleS-System verzichtet Pinch Aben bei ihrem System auf die Wärmepumpe. Das bedeutet, dass nur eine sehr geringe Temperaturdifferenz zwischen Arbeitsmedium und der Umgebung zur Verfügung steht, um die benötigte Leistung zu übertragen. Daher wird eine grössere Wärmeübertragerfläche benötigt als beim TripleS-System. Die Kondensationstemperatur liegt zwischen 5 und 10°C. Die Kondensatoren sind flächige Wärmeübertrager, die zu beiden Seiten des Gleitstuhls angeordnet sind. Zudem können auch die Schwellenfächer mit speziellen Kondensatoren schneefrei gehalten werden. Das grosse Potenzial dieses Systems liegt darin, dass ausser der geothermischen Energie keine zusätzliche Energie notwendig ist, also für die Unternehmen keine Energiekosten entstehen. [3]

Pinch Aben hat bisher 3 Pilotanlagen in Deutschland realisiert. Die Betriebsdaten der Anlage im Bahnhof Grünberg (Hessen) für den Winter 2012/2013 wurden kürzlich publiziert [4] und liefern keine Hinweise auf grössere Probleme. Das ganze Projekt wird durch das Zentrum für angewandte Energieforschung ZAE Bayern fachlich begleitet.

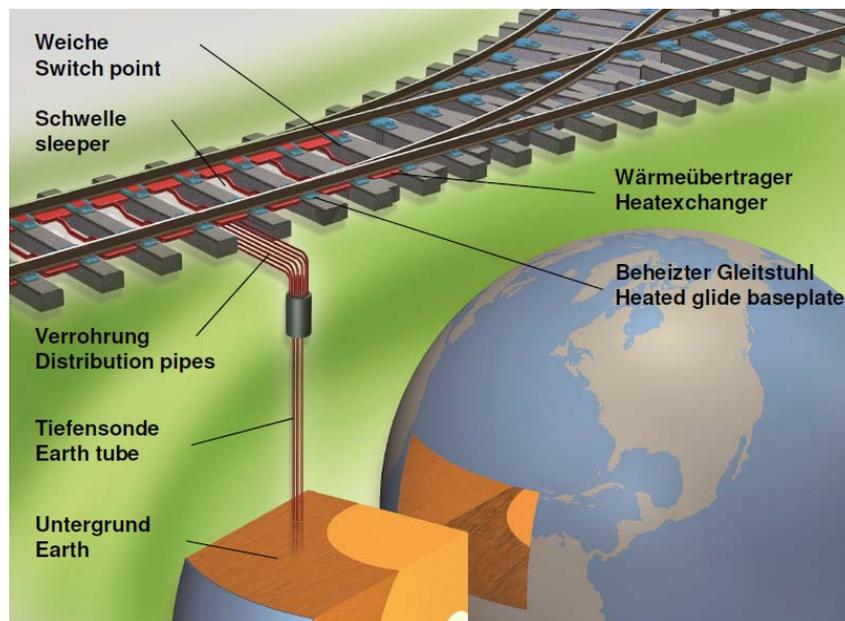


Abb. 18 Prinzip des Geothermischen WHZ-Systems der Firma Pinch Aben

Im Vergleich der beiden Systeme steht das TripleS-System momentan schon näher am Markt und die Praxistauglichkeit ist schon länger erprobt. Jedoch ist das Potenzial des Pinch Aben Systems bezüglich Energieeinsparung deutlich höher.

Generell herrscht im Bahnumfeld eine gewisse Skepsis zur Tauglichkeit der geothermischen Systeme, was zumindest teilweise mit dem oft Elektrotechnik-geprägten Hintergrund des Personals im Zusammenhang steht, da es sich vor allem beim Pinch Aben System um ein fundamental unterschiedliches Prinzip der Leistungsübertragung handelt. Das oft geäusserte Argument, dass die an die Schiene gebrachte Leistung nicht genügend hoch sei ist insofern nicht richtig, als dass dies eine Frage der Dimensionierung der Sonden ist. Die Herausforderung wird einerseits die Bahntauglichkeit der Wärmeübertragerelemente sein und andererseits die Wirtschaftlichkeit der Investition. Beim momentanen Bahnstromtarif von 11 Rp./kWh in der Schweiz sind die geothermischen Systeme wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig. Zudem wird erst die Langzeiterfahrung über 15-20 Jahre zeigen, ob sich diese Technologie für das Bahnumfeld geeignet ist und die Skeptiker überzeugen. Klar ist ebenso, dass die geothermische WHZ keine

flächendeckende Lösung sein wird, sondern es muss abgeklärt werden, an welchen Standorten diese Technologie klimatisch und geologisch überhaupt möglich ist.

3.2.2 Fernwärme

Wenn sich die im Rahmen der Geothermischen WHZ entwickelten Wärmeübertrager an der Schiene bewähren, ist es auch möglich, Fernwärme als Energiequelle zu nutzen. Auch hier wird in der Regel Wasser (bzw. Sole) als Wärmeträger verwendet. Von TripleS wird dies explizit als mögliche Wärmequelle für ihre Systeme angeboten, wobei dann keine Wärmepumpe notwendig ist. Konkrete Projekte bestehen nach heutigem Kenntnisstand der Autoren nicht. Nach unserer Einschätzung wird dies aus wirtschaftlichen Gründen kaum eine gangbare Lösung sein. Fernwärme ist schlecht speicherbar und um die grossen Investitionskosten für ein Fernwärmenetz zu amortisieren wird eine Bandlastabnahme angestrebt. WHZ sind aber genau in denjenigen Momenten in Betrieb, wenn ohnehin ein Spitzenbedarf an Wärmeleistung herrscht.

3.3 Energieübertragung / Verlustminimierung

3.3.1 Optimierung der Geometrie/Platzierung der Heizelemente

Die benötigte Heizenergie soll möglichst verlustfrei von der Energiequelle zum Bestimmungsort gelangen. Dazu sollten die Heizelemente dort angebracht werden können, wo die Wärme benötigt wird. Oft steht hier jedoch die Frage nach der optimalen Befestigung der Heizelemente im Vordergrund. Es stellt sich auch die Frage, ob die linearen Heizelemente, welche meist an der Backenschiene befestigt sind, wirklich die beste Lösung darstellen oder ob es allenfalls noch bessere Lösungen gäbe, z.B. flächige Heizplatten.

Zur Verlustminimierung gibt es Versuche zur Wärmedämmung der Backenschiene bei EWH um Verluste durch Konvektion und Strahlung gegen aussen zu verhindern. Zudem gibt es Heizelemente, welche durch eine flexible Oberfläche einen besseren Wärmeübergang vom Heizelement zur Schiene bewirken sollen (System EI-Point von eltherm [5]) Die Wirkung solcher Massnahmen ist jedoch nach wie vor umstritten und es gibt keine unabhängigen Untersuchungen dazu.

Sicherlich besteht in diesem ganzen Themenfeld noch etliches Optimierungspotenzial. Um dabei Fortschritte zu erzielen ist es jedoch wichtig, zuerst bei den physikalischen Grundlagen anzusetzen und zu verstehen, wieviel Wärmeleistung wo benötigt wird und wo die grössten Wärmeverluste anfallen. Erst so können Entwicklungen zielgerichtet durchgeführt werden. Dazu sind jedoch keine Projekte oder Publikationen bekannt. Das Optimierungspotenzial hinsichtlich Energieverbrauch zu quantifizieren ist denn auch sehr schwierig. Es wird in Fachkreisen auf 20-40% geschätzt.

3.3.2 Induktive Energieübertragung

Bei der elektrischen Widerstandsheizung besteht durch enge Platzverhältnisse zwischen Zunge und Backenschiene eine gewisse Einschränkung für die Platzierung der Heizelemente und deren Anschlüsse. Im Gegensatz dazu wird bei der induktiven Heizung die Energie „berührungslos“ vom Induktor auf das Heizelement übertragen und bietet so andere Möglichkeiten der Platzierung. Ausserdem wird die Wärme direkt im Heizelement erzeugt und die träge Wärmeleitung wird umgangen. Die Technologie der induktiven Weichenheizung ist momentan ähnlich wie die geothermische Weichenheizung noch im Pilotstadium.

Ein Anbieter ist die Firma IFF GmbH (D) mit dem System SIMS. Die erste Generation der Induktoren ist in einem starren Kunststoffgehäuse aussen an der Backenschiene angebracht. Da beim induktiven Prinzip die Schiene nicht durch Wärmeleitung, sondern

direkt erwärmt wird, hat diese Positionierung gegenüber einer Positionierung innen keinen Nachteil. Die neuere Generation der Rundinduktoren besitzt eine flexible Gummiummantelung und ist durchgehend (Abb. 19). Bisher sind nur Systeme für 50 Hz Strom erhältlich. Eines für 16.7 Hz ist jedoch in Entwicklung.

Die Chemins de Fer du Jura (CJ) hatte ursprünglich 5 SIMS WHZ der ersten Generation als Pilotanlagen in Betrieb, davon eine in Le Noirmont (1000 m.ü.M.) und 4 in Glovelier (500 m.ü.M.). Mittlerweile sind nur noch 2 WHZ in Betrieb. Die Anlagen sind nicht-automatisiert. Ein Vergleich des Energieverbrauchs zwischen einer induktiven WHZ und einer konventionellen WHZ, welche jeweils gleichzeitig durch den Fahrdienstleiter eingeschaltet wurden, ergab gemäss dem zuständigen Projektleiter¹¹ einen um 50% tieferen Energieverbrauch der induktiven WHZ. Da die Schienentemperatur nicht geregelt ist und die effektive Heizzeit somit bei beiden Systemen gleich war, muss dies auf die tiefere Leistungsdichte der Induktorenelemente zurückzuführen sein. Allerdings waren die sonstigen Betriebserfahrungen relativ schlecht. Das grösste Problem war, dass die Generatorbox im Gleisfeld nicht dicht war und es so zu Kurzschlüssen kam. Die Zusammenarbeit war für beide Seiten aufgrund der grossen Distanz zwischen Anlage und Anbieter (Service) nicht optimal. Nach der CJ möchte sich die Firma IFF GmbH aus verschiedenen Gründen auf eine grössere Bahn konzentrieren und erhofft sich daraus einen grösseren Bekanntheitsgrad und eine bessere Breitenwirkung.



Abb. 19 Rundinduktoren der neuesten Generation (Systems SIMS, IFF GmbH, D)

Die Schwedische Firma Indheater entwickelte ein System mit einem etwas anderen Prinzip (Abb. 20): Das System besteht aus Wärmeverteilerplatten, welche am inneren Schienenfuss angebracht sind und durch die untenliegende Spule erwärmt werden. Durch die Platte wird die Spule gleichzeitig geschützt. Die Elemente können individuell geregelt werden. Bisher sind 6 Pilotanlagen in Schweden in Betrieb und es ist eine Bestellung aus der Ukraine eingegangen¹². Nach eigenen Angaben können durch die induktiven WHZ 40-60% Energie eingespart werden. Es ist jedoch nicht bekannt, auf welche Referenz sich dies bezieht.

Der Hauptvorteil der induktiven Technologie dürfte vor allem in der schnelleren Regelbarkeit und in den geringeren Wärmeverlusten liegen, da die Übertragung nicht an Wärmeleitung gebunden und somit weniger träge ist. Vorbehalte werden von Bahnseite vor allem bezüglich möglicher induktiver Beeinflussungen der Zugsicherung geäussert. Diesem Aspekt muss sicherlich grosse Beachtung geschenkt werden. Der endgültige Dauerbelastungstest an der Schiene muss durch die Anbieter erst noch erbracht werden.

¹¹ R. Zuber, zuständiger Ingenieur für Sicherheitsanlagen, CJ

¹² Göran Lind, D-Tech Systems (Vertretung Indheater AB in der Schweiz)

Wenn dies gelingt, können aber Energieeinsparungen von rund 40% im Vergleich zu konventionellen EWH erwartet werden.

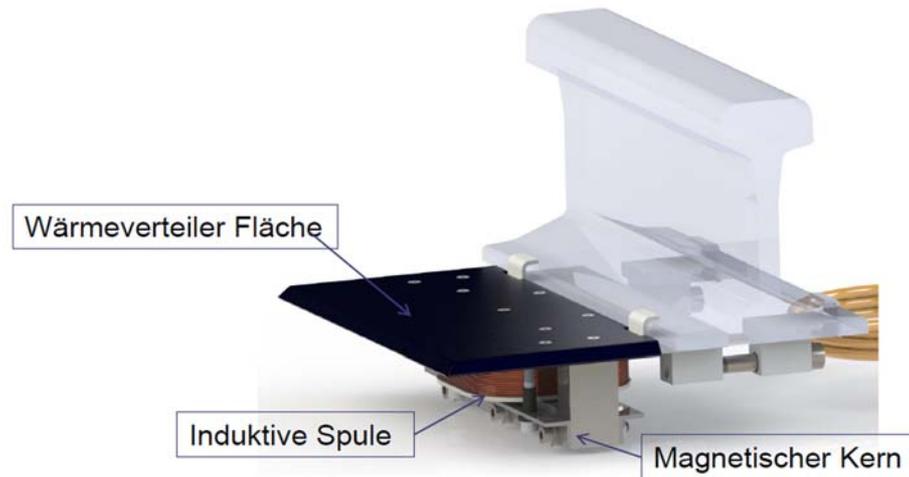


Abb. 20 Schema der induktiven WHZ der Firma Indheater AB (S).

3.4 MSR-Strategie

Die Themenkreise Messen, Steuern und Regeln können nicht isoliert betrachtet werden, sondern hängen stark zusammen. Bei der Festlegung der MSR-Strategie sind zum Teil gegenläufige Interessen zu berücksichtigen. Das System soll erstens zuverlässig funktionieren und die Verfügbarkeit muss gegeben sein, andererseits soll es hinsichtlich Energieeffizienz optimiert werden und zudem noch möglichst einheitlich und einfach sein.

Auch in diesem Themenfeld ist Vieles historisch gewachsen. Die Parameter werden durch empirisches Herantasten festgelegt. Es gibt jedoch noch einige Ansatzpunkte, welche optimiert werden können:

PID Regelung: Die verbreitete 2-Punkt Regelung ist gekennzeichnet durch ein starkes Über- und Unterschwingen der Schienentemperatur, was bei einer PID Regelung weniger der Fall ist. Diese bedingt jedoch eine grössere Schalthäufigkeit als bei einer 2-Punkt-Regelung.

Gleitender Schienentemperatursollwert und geregelte Leistung: Mit einem variablen Sollwert der Schienentemperatur sowie einer Leistungsregelung der Heizelemente könnte in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen bedarfsgerechter und effizienter geheizt werden [6].

Individuelle Regelung der einzelnen WHZ: Durch individuelle Regelung pro Weiche können den durch die unterschiedliche Lage bedingten unterschiedlichen Anforderungen Rechnung getragen werden. Dies würde sich sowohl auf die Zuverlässigkeit wie auch auf die Energieeffizienz positiv niederschlagen, denn die Heizdauer richtet sich so nicht nach der kritischsten Weiche. Allerdings bedingt dies mehr Sensoren und einen grösseren Verkabelungsaufwand. [7]

Platzierung der Temperatursensoren: Die gängige Position der Schienentemperaturfühler aussen an der Backenschiene (Abb. 8) ist weit von der Heizquelle entfernt. Das Regelsystem ist daher träge. Es gibt neuere Sensoren, welche unter dem Schienenfuss angebracht werden können (z.B. Backer ELC, Kelag, ESA Grimma)

Forecastbasierte Steuerung: Unter Einbezug der Wettervorhersage können relevante Wetterereignisse vorhergesehen und entsprechend reagiert werden (z.B. System „Blue Point“, SAN Railway Systems DK), was einer Art Vorheizen entspricht. Die angepriesenen Energieeinsparungen des Anbieters von über 40% beziehen sich aber auf ein Referenzsystem, bei welchem die Schienentemperatur permanent auf einer bestimmten Temperatur gehalten wird, was in der Schweiz nicht der Fall ist. Die Forecast Information führt hier zu einem prophylaktischen Vorheizen, was sich im Vergleich zum in der Schweiz gängigen System eher in höherem Energieaufwand niederschlagen dürfte. Experten sehen darin allenfalls eine Verbesserung der Verfügbarkeit (prophylaktisches Vorheizen bei vorausgesagtem Temperatursturz) aber keinen signifikanten Vorteil gegenüber den heute eingesetzten Vorheizstrategien¹³.

Kamerabasierte Überwachung: Mit Systemen wie zum Beispiel dem System Diva, von Indheater AB, S kann die WHZ per Kamera überwacht werden. Um die Überwachung aber automatisiert durchzuführen, bedürfte es relativ komplexer bildanalytischer Auswertungen. Als zusätzliche optische Überwachung durch das Bahnpersonal sind solche Systeme durchaus legitim. Sie sind aber eher der Verfügbarkeitsthematik denn der Energieeffizienz zuzuordnen.

Das Energiesparpotenzial, welches rein durch Optimierung der MSR-Strategie erreicht werden kann (ansonsten konventionelle Systeme) wird auf 20-40% eingeschätzt.

3.5 Alternative Technologien

Zur Schnee- und Eisfreihaltung von Eisenbahnweichen gibt es neben dem Heizen noch alternative Technologien bzw. Technologieansätze, welche hier ebenfalls kurz erwähnt werden sollen:

Bürstensysteme: Die Finnische Bahn setzt Bürstensysteme ein, um das Eintragen von zusätzlichem Schnee durch Fahrzeuge zu verhindern. Diese werden üblicherweise vor den Weichen platziert, um Schnee und Eis prophylaktisch von den Fahrzeugen abzustreifen. Diese Lösung ist jedoch als zusätzliches Element in schneereichen Gebieten zu sehen und ersetzt die Weichenheizung nicht.

Druckluftsysteme: In Japan werden Druckluftsysteme eingesetzt, die vor allem das Problem von abfallenden Eisklumpen lösen sollen (Nabtesco Corporation, JPN). Dabei wird loses Material durch periodische Druckluftstösse aus dem Bereich der Weiche weggeblasen. Auch diese Systeme sind lediglich zusätzliche Elemente zur WHZ an neuralgischen Lagen. Das Problem der Eisklumpen tritt vor allem in Gebieten mit schnell wechselndem Klima auf und scheint in Japan grösser zu sein als in der Schweiz¹⁴.

Kompressibles Material zwischen beweglichen Teilen: Um den Eintrag von Schnee und Eis in den Zwischenraum zwischen beweglichen Teilen gänzlich zu verhindern, existieren Ideen, diese Zwischenräume mit kompressiblem Material zu füllen und so die WHZ zu ersetzen¹⁵. Bei diesem interessanten Lösungsansatz wären sicherlich die Umstellkraftbedingungen der Weichenantriebe zu berücksichtigen. Es wurden jedoch keine weiteren Informationen zu diesem interessanten Ansatz gefunden.

¹³ Paul Huber, Hutec Automation AG, CH

¹⁴ Präsentation der Firma Nabtesco Co bei der SBB, Luzern, 26.05.2014

¹⁵ D. Föhn, Projektleiter Kompetenzzentrum WHZ, SBB

3.6 Quantifizierung Energiesparpotenzial

Wie in den obigen Abschnitten bereits ausgeführt, fehlt es weitgehend an verlässlichen Vergleichsdaten aus unabhängigen Quellen, welche eine exakte Quantifizierung des Energiesparpotenzials ermöglichen würden. Die Abschätzungen, welche weitgehend aus Gesprächen mit Fachleuten und Einschätzungen der Autoren bestehen, sind in Abb. 21 zusammengefasst. Als Standardreferenz dient eine automatisierte EWH, wie sie in der Schweiz gängig ist (System SBB). Im Durchschnitt liegt der Endenergieverbrauch einer solchen EWH in einem Durchschnittswinter bei 2.8 MWh/a. Aus den Erhebungen in Abschnitt 2.4.2 geht hervor, dass der Energieverbrauch einer GWH unter den momentanen Bedingungen um Faktor 3.8 höher ist. Dies aufgrund der höheren installierten Leistung (Faktor 3) und der höheren Betriebsstunden. Da die Betriebsstunden zu einem Teil auch aufgrund der höheren Lage zustande kommen und bezüglich der Regelparameter noch mehr Potenzial vorhanden ist, wird der relative Energieverbrauch auf 300% beziffert. Trotzdem müssten enorme Entwicklungsanstrengungen unternommen werden, um bezüglich Energieverbrauch in die Nähe der EWH zu kommen. Der Einsatz von GWH kann also nicht mit Energieeffizienz begründet werden, sondern ist aus diesem Blickwinkel wenn möglich zu vermeiden. Wie bereits ausgeführt gibt es jedoch andere Gründe, die an bestimmten Lagen für den Einsatz von GWH sprechen (siehe 2.3.1).

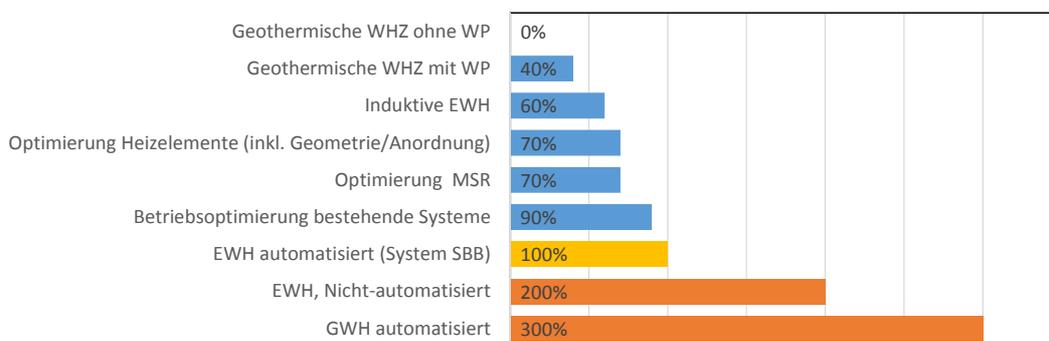


Abb. 21 Relativer Energieverbrauch nach Optimierung bzw. unter Einsatz neuer Technologien (Endenergie Gas/Strom).

Offensichtlich ist ebenso, dass nicht-automatisierte Anlagen einen mindestens doppelt so hohen Energieverbrauch aufweisen. Dies geht aus den Daten der RhB hervor (Abschnitt 2.4.3).

Der erste und einfachste Schritt zur Reduktion des Energieverbrauchs von WHZ ist die Betriebsoptimierung der bestehenden Anlagen. Wie die Auswertung der SBB-Daten gezeigt hat, spielt auch bei den automatisierten Anlagen der Faktor Mensch noch eine grosse Rolle, indem z.B. der Fahrdienstbetrieb übermässig genutzt wird oder die Steuer- und Regelparameter unnötig verstellt werden. Dies könnte durch ein systematisches Energiemonitoring erkannt und behoben werden. Dadurch könnten schätzungsweise ca. 10% Energie eingespart werden, was gesamtschweizerisch rund 6 GWh/a ausmachen würde. Dazu muss aber auch ein Wertewandel innerhalb der Unternehmen stattfinden, indem energiebewusstes Handeln gefördert wird und die Mitarbeiter dazu motiviert werden.

Das Potenzial durch Optimierung der Heizelemente bzw. der MSR-Strategie wird auf je minus 30% geschätzt. Das ergibt je 70% Energieverbrauch im Vergleich zur automatisierten EWH. Dabei ist zu beachten, dass sich dieses Einsparpotenzial immer auf den nicht optimierten Zustand der bestehenden EWH beziehen. Eine Kombination von Betriebsoptimierung und Optimierung MSR und Heizelemente würde rechnerisch eine Reduktion um 55% ergeben ($90\% \times 70\% \times 70\% = \text{ca. } 45\%$). Dies erscheint als absolutes Optimum für die EWH-Technologie (ohne Induktion) plausibel aber wäre mit hohem Entwicklungsaufwand und diszipliniertem Betriebsregime verbunden.

Durch induktive Erwärmung der Heizelemente oder der Schiene wäre sicherlich eine Verbesserung zu erreichen. Ausgehend von den heutigen Systemen wird mit ca. 40% Reduktion gerechnet. Jedoch würde dieser Effekt bei vollständig optimierter Widerstandsheizung (bezüglich Geometrie, Regelung etc.) wahrscheinlich tiefer ausfallen.

Obige Technologien und Optimierungsmaßnahmen können prinzipiell für alle WHZ, unabhängig vom Standort, eingesetzt bzw. durchgeführt werden. Im Gegensatz dazu ist die geothermische WHZ keine flächendeckende Lösung. Jedoch ist das Einsparpotenzial so hoch, dass diese Technologie trotzdem weiterverfolgt werden sollte. Eine geothermische WHZ mit Wärmepumpe könnte ca. 60% Einsparung bringen. Die Heatpipe Technologie ohne WP würde gar auf minus 100% kommen, d.h. keine Energie (ausser geothermischer Energie) benötigen. Um die mögliche Reduktion am gesamtschweizerischen Verbrauch für WHZ zu berechnen zu können, muss zuerst abgeklärt werden, für welche Standorte und unter welchen Bedingungen geothermische WHZ geeignet sind.

4 Empfehlungen für Förderstrategie

4.1 Ausgangslage

Um die Entwicklung möglichst energieeffizienter WHZ-Technologien zu fördern, muss das Umfeld mit seinen Charakteristiken bekannt sein. Bereits in Kapitel 1.1 wurde auf die Besonderheiten des WHZ-Marktes hingewiesen. Die grössten Herausforderungen, welche die Entwicklung von neuen und effizienten Technologien fördert, sind die folgenden:

Physikalisches Verständnis fehlt: Aufgrund der geringen kommerziellen Bedeutung des Marktes und des fehlenden Geldes für Forschung und Entwicklung fehlt das Grundlagenwissen zu den physikalischen Vorgängen an der Schiene weitgehend. Daher sind auch die grundlegenden physikalischen Anforderungen an eine WHZ nicht genau definiert. Entwicklungen basieren meist auf empirischen Versuchen und Weiterentwicklungen. Es wird von bestehenden Systemen ausgegangen anstatt von den grundlegenden Anforderungen.

Anpassung an Bahnumfeld: Das Bahnumfeld und der Markt weisen einige Besonderheiten auf, welche die Einführung von Technologien erschweren, die in anderen Bereichen bereits etabliert sind:

- Die mechanische Belastung durch das Rollmaterial und durch Unterhaltsarbeiten ist gross. Ebenso treten im Gleisfeld grosse Temperaturschwankungen auf (Sommer/Winter, +70°C/-30°C). Entwicklungen müssen dem Rechnung tragen.
- Die Bahnen bzw. das Personal ist Elektrotechnik-geprägt. Dies bildet ein psychologisches Hemmnis für alternative Technologien.
- Die Anforderungen an Sicherheit und Zuverlässigkeit des Bahnbetriebs sind hoch. Neue Systeme müssen schon einen hohen Ausreifungsgrad aufweisen, damit sie eingesetzt werden.
- Streben nach einheitlichen Systemen innerhalb der Unternehmen erschweren die Einführungen von Neuentwicklungen.

Alle diese Faktoren erschweren die Entwicklung und den Markteintritt von neuen Systemen.

Wirtschaftlicher Anreiz klein: Neue Technologien sind oft mit höheren Investitionskosten verbunden. Diese müssen über geringere Energiekosten amortisiert werden. Mit dem gegenwärtig sehr tiefen Bahnstromtarif von ca. 11 Rp./kWh in der Schweiz lohnen sich diese Investitionen aus wirtschaftlicher Perspektive kaum. In Deutschland sind die Stromtarife für die Bahn um Faktoren höher.

Know-How Transfer: Das technologische Wissen wird in der Schweiz unter den Bahngesellschaften zu wenig ausgetauscht. Das führt dazu, dass Synergien bei Entwicklungsbestrebungen zu wenig genutzt werden. Mit Ausnahme der SBB, welche ein eigenes WHZ-Kompetenzzentrum hat, sind die personellen Ressourcen dazu oft beschränkt. Das führt auch zu einer gewissen Abhängigkeit von den Anbietern.

4.2 Grundsatzstrategie

Aus obigen Punkten leiten sich die wichtigsten Ansatzpunkte für eine Förderstrategie ab. Diese soll zeitgleich auf verschiedenen Ebenen ansetzen und dort eingreifen bzw. unterstützen, wo rein marktwirtschaftliche Kriterien zu wenig Anreiz bieten:

1. Stufe Forschung und Entwicklung: Grundsätzliches physikalisches Verständnis fördern. Entwicklung kann zielgerichteter erfolgen.

2. Pilot- und Demonstrationsanlagen: Vielversprechende energieeffiziente Technologien sollen gefördert werden, wenn sie noch nicht wirtschaftlich sind. Einstiegshürden für Neuentwicklungen senken.
3. Know-How und Technologie Transfer: Austausch fördern und Fachkompetenz erhöhen.

Angesichts der beschränkten Grösse des WHZ-Marktes und des Gesamtenergieverbrauchs (60-70 GWh/a in der Schweiz) sollten die Fördermassnahmen zielgerichtet und effizient eingesetzt werden. Die finanzielle Förderung von Projekten kann über bestehende Fördergefässe erfolgen. Es ist nicht notwendig, dafür eigene Förderstellen einzurichten. Jedoch sollten die Aktivitäten koordiniert und begleitet werden.

4.3 Forschung und Entwicklung

Das Ziel der Förderung von Forschungsprojekten sollte hauptsächlich sein, das Verständnis der physikalischen Vorgänge bei einer WHZ zu fördern und die grundsätzlichen physikalischen Anforderungen an eine WHZ zu definieren. Es sollen dabei nicht die Anforderungen an eine bestimmte technische Lösung (Bsp. Leistungsdichte eines linearen Heizelements) definiert werden, sondern die von der technischen Lösung unabhängigen Anforderungen. Zum Beispiel die benötigte Wärmeleistung einer kritischen Fläche im Bereich der Weiche, um sie bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen (Schneefallrate, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit etc.) schneefrei zu halten. Davon ausgehend kann berechnet werden, welche Leistung ein Heizelement unter Berücksichtigung aller Verluste bereitstellen muss. Dies setzt voraus, dass die physikalischen Vorgänge an der Weiche grundsätzlich verstanden werden und die wichtigsten Einflussfaktoren quantifiziert werden können. Auf dieser Basis können Entwicklungen von neuen Technologien zielgerichtet durchgeführt werden (kein „Trial und Error“).

Die Förderung kann durch Finanzierung oder Mitfinanzierung eines Forschungsauftrags an eine Technische Universität oder Fachhochschule erfolgen, idealerweise unter Beteiligung von Industriepartnern (Bahn oder Hersteller). Es ist zu betonen, dass es sich dabei um anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung handeln sollte. Es soll Wert auf eine pragmatische, ingenieurmässige Vorgehensweise gelegt werden mit Schwerpunkt auf einen klar definierten und verständlichen Output. Die Ergebnisse sollen aufgearbeitet und in einfach verständlicher Weise publiziert werden. („Herunterbrechen auf Praktikerebene“).

Neben den bereits erwähnten, Technologie-unabhängigen Aktivitäten besteht im Bereich der geothermischen WHZ noch Bedarf zur Klärung von spezifischen Fragen. Insbesondere muss abgeklärt werden, welche geografischen Standorte für den Einsatz dieser Technologie überhaupt in Frage kommen und welcher Anteil der WHZ in der Schweiz damit abgedeckt werden könnten. Dies sollte in einem Projekt unter Einbezug eines auf Geothermie spezialisierten Ingenieurbüros erfolgen.

4.4 Pilot- und Demonstrationsanlagen

Die finanzielle Förderung von Pilot- und Demonstrationsanlagen ist ein wichtiges Standbein der Förderstrategie. Damit ergibt sich eine Anschubwirkung für erfolgsversprechende Technologien. Dabei soll Wert darauf gelegt werden, dass vor allem Technologien gefördert werden, die eine signifikante Senkung des Energieverbrauchs versprechen (> 30% ggü. konventionellen Anlagen). Dieses Kriterium erfüllen nach heutigem Wissensstand vor allem die induktive WHZ und die geothermische WHZ. Da solche Systeme momentan noch deutlich höhere Investitionskosten aufweisen, könnte beispielsweise ein Teil der nicht-amortisierbaren Kosten durch den Bund getragen werden.

Ebenso wichtig wie die Mitfinanzierung der Investitionskosten ist die Begleitung der Projekte, um den maximalen Erfahrungsgewinn daraus zu generieren. Dies beginnt bei der Auswahl von geeigneten Standorten. Dabei muss zwingend beachtet werden, dass die generierten Daten, insbesondere diejenigen zum Energieverbrauch, auch mit sinnvollen Referenzdaten verglichen werden können, idealerweise mit Daten einer konventionellen Anlage am selben Standort. So können die prognostizierten Einsparpotenziale überprüft werden und die Daten sind für Aussenstehende glaubwürdig. Weiter sollten die Pilotanlagen mit der entsprechenden Messtechnik ausgerüstet werden, um möglichst viele Erkenntnisse zum optimalen Betrieb und zur weiteren Optimierung der Technologie zu gewinnen. Ebenso sollte die Planung und der Betrieb der Anlage, sowie die Auswertung der Daten von einem unabhängigen Institut oder Ingenieurbüro begleitet werden.

Die geförderten Anlagen sollen auch als Demonstrationsanlagen dienen und Erkenntnisse aus deren Betrieb sollen allen Marktteilnehmern zugänglich gemacht werden. Dies kann durch Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Präsentationen in Fachgruppen und durch Besichtigungen der Demonstrationsanlagen erfolgen. Die Begleitprojekte sollten zu einem grossen Teil mitfinanziert werden, da die allgemeine Zugänglichkeit der Erkenntnisse nicht unbedingt im Interesse der Bahn und der Hersteller liegt.

4.5 Know How Transfer

Als drittes Standbein der Förderstrategie sollte der Wissensaustausch zwischen den Know-How Trägern verbessert werden. Resultate von Studien und Projekten sollen für alle zugänglich gemacht werden und der Erfahrungsaustausch zwischen den Bahnunternehmen soll gefördert werden. So wird sichergestellt, dass die Förderbeiträge eine maximale Breitenwirkung erzielen. Es muss dazu eine geeignete Plattform gefunden werden. Erfahrungen im Zusammenhang mit dieser Studie haben gezeigt, dass es mit dem Thema WHZ alleine eher schwierig ist, die Leute zu mobilisieren. Dies liegt nicht unbedingt am mangelnden Interesse, sondern daran, dass ausser bei der SBB niemand ausschliesslich für die WHZ zuständig ist. Entsprechend stehen auch wenig personelle Ressourcen zur Verfügung, um sich diesem Thema zu widmen. Daher macht es wahrscheinlich Sinn, dieses Thema in einem erweiterten Kreis unterzubringen, z.B. unter „stationäre Anlagen“.

Es ist in jedem Fall wichtig, dass seitens BAV ein Lead zu erkennen ist und dass es eine Moderations- bzw. Koordinationsstelle gibt, welche die Aktivitäten zum Thema WHZ bündelt. Diese Stelle sollte den Kontakt zu den Bahnvertretern aufrechterhalten und bei der Beurteilung der Fördergesuche mitwirken. Ausserdem sollte sie einen Überblick über den Ablauf der Projekte haben und dafür sorgen, dass der Erfahrungsaustausch regelmässig stattfindet. Dieser Moderationsauftrag könnte allenfalls auch extern vergeben werden, sofern der regelmässige Kontakt zum BAV gegeben ist.

Durch den Wissensaustausch sind die Bahnverantwortlichen besser informiert. Neue Projekte können zielgerichteter in Angriff genommen werden (erhöhte Bestellerkompetenz). Es können auch allfällige Vorurteile und Ängste gegenüber neuen Technologien abgebaut werden. Zudem wird durch Erfahrungsaustausch auch die Betriebsoptimierung der bestehenden Anlagen gefördert, indem den Bahnunternehmen aufgezeigt wird, welche Massnahmen welche Effekte haben. Dieser wichtige Aspekt sollte im Eigeninteresse jedes Bahnunternehmens sein. Denn wie bereits in den Abschnitten 2.4.2 und 3.6 diskutiert, können in diesem Bereich mit relativ einfachen Massnahmen wie z.B. konsequenterem Energie Monitoring bereits deutliche Einsparungen erzielt werden.

Zur Wissensvermittlung an den Praktiker wäre es auch zu begrüssen, wenn die gewonnenen Erkenntnisse in der Form von Richtlinien zur Planung, Realisierung und den Betrieb von WHZ-Anlagen Niederschlag finden würden. Die Erkenntnisse sollen dabei heruntergebrochen werden auf wenige, aber entscheidende Punkte und dabei helfen, die Energieeffizienz von WHZ-Anlagen vom Beginn der Planung bis zum Betrieb in den Fokus zu rücken.

5 Literaturverzeichnis

1. Schink, D., *Generationswechsel in der Gas-Infrarot-Weichenheizung*, in *Signal + Draht*. 2009. p. 22-25.
2. Grüniger, A. and B. Wellig, *Pumpenlose CO₂-Erdwärmesonde*. Umwelt Perspektiven, 2010(2): p. 17-19.
3. Schink, D. and W. Feldmann, *Geothermische Weichenheizung - Verfügbarkeit ohne zugeführte Energie*, in *Signal + Draht*. 2011.
4. Schink, D., *Geothermische Weichenheizung - eine Anwendung mit Zukunft*, in *Signal + Draht*. 2014. p. 2-5.
5. eltherm, G., *Frostschutz für die Schiene*, in *Privatbahn Magazin*. 2012. p. 48-49.
6. Mohrich, J. and W. Zeise, *Verfahren zur Regelung für eine Weichenheizung*. 2010.
7. Langer, W. and D. Schink, *Moderne Regelung für maximale Energieeffizienz bei elektrischer Weichenheizung*, in *Signal + Draht*. 2012. p. 22-27.

6 Abkürzungen

BLS	(Bern-Lötschberg-Simplon) BLS AG
EWH	Elektrische Weichenheizung
GWH	Gas-Weichenheizung
MGB	Matterhorn Gotthard Bahn AG
MOB	Montreux – Berner Oberland – Bahn AG
MSR	Messen, Steuern, Regeln
RhB	Rhätische Bahn AG
SBB	Schweizerische Bundesbahnen AG
SOB	Südostbahn AG
WHK	Weichenheizkasten
WHZ	Weichenheizung
WI	Winterindex

