VÖV UTP

Verband öffentlicher Verkehr
Union des transports publics
Unione dei trasporti pubblici

Adaptation Klimawandel

Leitfaden zur Anpassung der Bahninfrastruktur an den Klimawandel




2
bls
2
bls

Inhalt

1 Zusammenfassung 3

2 Ausgangslage 5

3 Ziel und Zweck 6

4 Klimaresilienz und Schutzgüter 7

5 Klimasignale 8

5.1 Kernaussagen 8

5.2 Wirkung auf Bahninfrastruktur 11

6 Anpassungsprozess und Methodik 14

6.1 Vulnerabilitätsanalyse 16

6.2 Expositionsanalyse 21

6.3 Kritikalitätsanalyse 23

6.4 Klima-Risikoanalyse 24

7 Adaptationsstrategie und -massnahmen 26

8 Anpassungskosten 30

9 Best-Practice-Beispiele zum Anpassungsprozess 32

9.1 Beispiel Stellwerke (SOB) 32

9.2 Beispiel Achszähler (SBB) 37

10 Anhang 41

10.1 Weitere Ansätze zur Ermittlung zukünftiger Schadenskosten 41

10.2 Angaben zum Dokument 43

11 Abbildungsverzeichnis 44

12 Tabellenverzeichnis 45

13 Quellen 45



1 Zusammenfassung

Der fortschreitende Klimawandel mit mehr Trockenheit, häufigeren Hitzetagen, heftigeren Starkniederschlägen und schneeärmeren Wintern führt dazu, dass es bei den Infrastrukturbetreiberinnen zu einer schnelleren Abnutzung, mehr Störungen, Produktivitätseinbussen und Schäden an der Infrastruktur kommt. Prospektiv vermehrte Unfälle, Unterbrüche, Ausfälle oder Verspätungen im Bahnbetrieb beeinträchtigen die Sicherheit, die Verfügbarkeit, die Pünktlichkeit und die Kundenzufriedenheit. Anlagen müssen früher als geplant ersetzt oder häufiger repariert werden, und die Unterhaltskosten wie auch die Kosten für die Reduktion und die Bewältigung von Extremwetterereignissen steigen. Mithilfe von Wirkungsketten werden Gefährdungsbilder von potenziell betroffenen Anlagen aufgezeigt. Der vorliegende Leitfaden unterstützt die Branche dabei, die Herausforderungen des Klimawandels geordnet anzugehen und geeignete Anpassungsstrategien und -massnahmen zu definieren. Damit sollen sich die Infrastrukturbetreiberinnen an die Auswirkungen des Klimawandels anpassen können und widerstandsfähiger gegenüber zunehmenden Wetterextremen werden. Die Anpassungsmassnahmen sollen auf die Schutzgüter Gesundheit, Anlagen und Betrieb einzahlen.

Anhand des Klima-Anpassungsprozesses werden die Infrastrukturbetreiberinnen strukturiert und systematisch an die für sie relevanten Klimarisiken herangeführt. Als erster Schritt zur Ermittlung des Klimarisikos wird geprüft, welche Anlagen gegenüber geänderten klimatischen Bedingungen verletzlich sind. In einem zweiten Schritt wird die Exposition einer bestimmten Anlage bestimmt. Während beispielsweise ein Bahnhof im Mittelland bezüglich zunehmender Hitzetage eine sehr starke Exposition aufweist, kann ein Bahnhof bezüglich des gleichen Klimasignals auf 1500 m ü. M. keine Exposition zeigen. Im dritten Schritt wird die Kritikalität der vulnerablen und exponierten Anlagen bestimmt. Für die Kritikalität können beispielsweise durch Störungen oder Ausfall einer Anlage ausgefallene Personen- oder Güterzüge, Reisenden- oder Zugverspätungsminuten oder die Anzahl betroffene Kundinnen und Kunden herangezogen werden. Während ein Achszähler auf einem bestimmten Streckenabschnitt mit viel Verkehr eine sehr hohe Kritikalität aufweist, kann der gleiche Achszähler auf einem Streckenabschnitt mit wenig Verkehr überhaupt nicht kritisch sein. Schliesslich werden kritische Anlagen im letzten und vierten Schritt einer Klima-Risikoanalyse mit Eintretenswahrscheinlichkeit und Auswirkung unterzogen.

Die Risikoanalyse bildet eine wichtige Grundlage zur Steuerung der Klimaadaptation – sie fliesst in die Adaptationsstrategie ein. Die Adaptationsstrategie schafft einen Rahmen zur Priorisierung von Investitionen und zur Integration von Anpassungsmassnahmen in bestehende Erneuerungs-, Instandhaltungs- und Betriebsprozesse. Ziel ist ein möglichst effizienter Einsatz verfügbarer Mittel und Ressourcen. Dabei sollen kritische Anlagen priorisiert, bestehende Erneuerungszyklen genutzt und ein breites Spektrum von Massnahmen betrachtet werden. Klimarisiken und Anpassungsmassnahmen sollen

möglichst in bestehende Prozesse integriert werden. Anstatt sofort eine vollständige Neuplanung vorzunehmen, wird ein stufenweiser Anpassungspfad definiert. Dadurch können Investitionen zeitlich optimiert und Fehlinvestitionen reduziert werden. Je höher Kritikalität, Klimarisiko und verbleibende Nutzungsdauer, desto umfassender sind die Anpassungsmassnahmen. Für Anpassungsmassnahmen gibt es zum Beispiel technologische, naturbasierte, verhaltensorientierte oder ökonomische Ansätze.

Die Anpassungskosten werden im vorliegenden Leitfaden als Gegenüberstellung der Kosten der Massnahme und von deren Nutzen betrachtet, wobei der Nutzen den vermiedenen Schadenskosten entspricht. Die Schadenskosten können ereignisbezogen, anlagenbezogen, bottom-up durch Expertenschätzungen oder top-down aus Studien hergeleitet werden. Der Leitfaden wird mit zwei Best-Practice-Beispielen zum Anpassungsprozess komplettiert. Dabei wird der Prozess für die Anlage Achszähler hinsichtlich Hitzetagen sowie für Stellwerke bezüglich zunehmender Starkniederschläge exemplarisch durchgespielt.



2 Ausgangslage

Die Klimaszenarien des National Centre for Climate Services (NCCS) des Bundes zeigen, dass Hitzetage zunehmen, Temperaturen steigen, Niederschläge heftiger sowie Winter schneearmer werden. Überschwemmungen, Rutschungen, Hangmuren und Murgänge treten nicht nur in erhöhtem Ausmass und häufiger, sondern auch an bisher nicht betroffenen Orten auf. Im Winter kommt es zudem zu mehr Nass- und Gleitschneelawinen. Wegen der erhöhten Temperaturen schmilzt ausserdem mehr Permafrost, was zu instabilen Hängen führt. Die steigenden Temperaturen sowie immer häufigere und intensivere Hitzewellen führen zu weiteren Risiken. Dazu zählen beispielsweise die gesundheitlichen Beeinträchtigungen von Mitarbeitenden, die der Hitze ausgesetzt sind, Schäden an den Gleisanlagen durch Verwerfungen oder Störungen und Ausfälle von elektronischen Bauteilen.

Die Wahrscheinlichkeit steigt, dass es bei den Infrastrukturbetreiberinnen (ISB) zu mehr Störungen, Produktivitätseinbussen und Schäden an Infrastruktur, Rollmaterial und Gebäuden kommt. Zusätzlich erhöht sich das Risiko von Wald- und Böschungsbränden. Diese Risiken können zu Unfällen, Unterbrüchen, Ausfällen oder Verspätungen im Bahnbetrieb führen und die Sicherheit, die Verfügbarkeit, die Pünktlichkeit und die Kundenzufriedenheit beeinträchtigen. Auf lange Sicht müssen Anlagen früher als geplant ersetzt oder häufiger repariert werden[1] und die Unterhaltskosten wie auch die Kosten für die Prävention und die Bewältigung von Extremwetterereignissen steigen.
Mit dem Klimawandel nimmt auch die gesundheitliche Belastung und Gefährdung von Kund:innen und Mitarbeitenden zu. Züge ohne oder mit defekter Klimaanlage sowie sonnenexponierte Bahnhöfe stellen zunehmend ein Gesundheitsrisiko dar. Hitzetage und Tropennächte senken die Arbeitsproduktivität. Während Hitzewellen erhöht sich zudem das Risiko, dass es zu einem Unterbruch der Arbeiten zum Beispiel auf Baustellen oder zu mehr Unfällen im Betrieb und in der Freizeit kommt.

Artikel 8 des «Bundesgesetzes über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit» (KIG) fordert den Bund im Rahmen seiner Zuständigkeiten auf, Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zu ergreifen. Entsprechend sind die Transportunternehmen gefordert, im Rahmen ihrer durch den Bund bestellten Leistungen die nötigen Anpassungsmassnahmen vorzunehmen.
Das branchenübergreifende Thema wurde in der KIS-Arbeitsgruppe «Adaptation Klimawandel» unter der Leitung der KIS geführt und begleitet.[2] In der Arbeitsgruppe waren die BLS, die Matterhorn Gotthard Infrastruktur, die Schweizerische Südostbahn, BERNMOBIL sowie die SBB vertreten. Die Arbeitsgruppe wurde gemeinsam von der BLS und den SBB geleitet.

[1] Bestehende Produktestandards sind nicht auf die heutigen und künftigen Klimabedingungen ausgelegt, was zu mehr Störungen, Betriebsunterbrüchen und höheren Instandhaltungskosten führen kann (z.B. durch eindringendes Oberflächenwasser in technische Räume oder Rutschungen von Böschungen auf Gleisanlagen).

[2] Der STASS «System Bahn» hat am 23. August 2024 entschieden, die Arbeitsgruppe der KIS anzuhängen. Im Fokus steht entsprechend der Infrastrukturbereich, exklusive Verkehrsbereich (Rollmaterial).

3 Ziel und Zweck

Der Leitfaden richtet sich in erster Linie an das Anlagen- und Technologiemanagement, die Unterhaltsverantwortlichen sowie an die Projektierenden von Bahninfrastrukturanlagen. Im Fokus stehen alle Anlagen der Infrastruktur, wobei der Verkehrsbereich – namentlich das Rollmaterial – explizit ausgeschlossen ist. Ziel des Berichts ist es, den betroffenen Akteuren innerhalb der Branche eine praxisnahe Orientierungshilfe zur Verfügung zu stellen.

Der Leitfaden unterstützt die Branche dabei, die Herausforderungen des Klimawandels gezielt zu adressieren sowie geeignete Anpassungsmassnahmen für die Bahninfrastruktur zu entwickeln und umzusetzen. Er dient als Wegweiser, mit dem die Betreiber:innen von Bahninfrastrukturanlagen befähigt werden, die Risiken des Klimawandels zu erkennen, zu bewerten und diesen proaktiv zu begegnen. Darüber hinaus fördert der Bericht den Wissensaustausch und die Zusammenarbeit zwischen den relevanten Fachbereichen und Unternehmen, um die Widerstandsfähigkeit und die Betriebssicherheit der Infrastruktur langfristig zu sichern.

Die vorliegende Methodik zur Klimaanpassung ist als einen systematischen Ansatz zu verstehen, der speziell auf die Resilienz und die Funktionsfähigkeit der gesamten Bahninfrastruktur unter den Auswirkungen des Klimawandels abzielt. Einen besonderen Einfluss hat die Klimaerwärmung auf die Naturgefahrenprozesse – auf gravitative (Lawinen, Murgänge etc.) wie auch auf meteorologische (Starkniederschläge, Sturm etc.). Die Auswirkungen dieser Prozesse sind je nach Exposition eines Streckennetzes sehr unterschiedlich. Der Leitfaden berücksichtigt diese in den einzelnen Arbeitsschritten; er ersetzt aber nicht die detaillierte Analyse im Rahmen des Integralen Risikomanagements (www.planat.ch/de/strategie/integrales-risikomanagement).

4 Klimaresilienz und Schutzgüter

Ziel der Infrastrukturbetreiberinnen muss es sein, die Resilienz gegenüber dem Klimawandel zu stärken, sodass die Folgen für Sicherheit, Pünktlichkeit, Verfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Leistungsfähigkeit und Gesundheit der Mitarbeitenden und Kund:innen beherrschbar und vertretbar bleiben.

Klimaresilienz bezeichnet die Fähigkeit, sich an die Auswirkungen des Klimawandels anzupassen und widerstandsfähig gegenüber zunehmenden Wetterextremen zu sein. Ziel Resilienz-verbessernder Massnahmen ist die Vermeidung und Bewältigung von Einflüssen durch Hitze, Starkregen und andere klimabedingte Ereignisse. Damit sollen die negativen Auswirkungen – zum Beispiel auf Sicherheit, Verfügbarkeit und Pünktlichkeit – durch Wetterextreme minimiert werden.

Die Massnahmen fokussieren auf folgende Schutzgüter:

- **Schutz der Gesundheit:** Massnahmen zum Schutz von Leben und Gesundheit – besonders vor arbeitsbedingten Gefahren. Der Fokus liegt auf Mitarbeitenden und Bahnbenutzenden. Ziel ist es, klimabedingte Gesundheitsrisiken zu erkennen und zu beseitigen.
- **Schutz der Anlagen:** alle Massnahmen, die darauf abzielen, die Schäden an der Infrastruktur zu minimieren, welche durch die künftige klimatische Veränderung kurz-, mittel- oder langfristig verursacht werden.
- **Schutz des Betriebs:** alle Massnahmen, die darauf abzielen, potenzielle Einschränkungen und Verfügbarkeitseinbussen am Eisenbahnverkehr zu minimieren.

5 Klimasignale

Der wichtigste Schritt im Prozess zur Anpassung an den Klimawandel ist das «Begreifbarmachen» der veränderten klimatischen Rahmenbedingungen. Dazu existieren mittlerweile viele Berichte, Grundlagenstudien und Daten des Bundes. Sie werden vom National Centre for Climate Services (www.nccs.admin.ch) zur Verfügung gestellt.
Die wichtigsten sogenannten Klimasignale[3] werden nachfolgend grob dargestellt, siehe auch Klimaszenarien «Klima CH2025» des Bundes[4]. 2025 war die Schweiz bereits 2,9 Grad wärmer als in der vorindustriellen Zeit (Periode 1871–1900). Die Klimaszenarien CH2025 prognostizieren aufgrund früherer Einschätzungen und der darauffolgenden effektiv beobachteten Klimaentwicklung in allen Jahreszeiten und Regionen der Schweiz wesentliche weitere Klimaveränderungen. Die Schweiz hat seit der vorindustriellen Zeit eine Erwärmung um das 2- bis 2,2-Fache des bisherigen globalen Durchschnitts erlebt.

5.1 Kernaussagen



Abbildung 1: Kernaussagen NCCS

Quelle: Nationale Klimaszenarien NCCS (2025)

Kernaussage 1: «Die Schweiz ist stark betroffen»
Die Schweiz mit ihrer komplexen Topografie zählt zu den besonders stark betroffenen Regionen der Klimaerwärmung. Neben einem überdurchschnittlichen Temperaturanstieg haben auch Extremereignisse wie Starkniederschläge, Hitzewellen und Trockenperioden zugenommen. Auch hat die Schnee- und Eisbedeckung deutlich abgenommen. Die Klimaszenarien zeigen: Die bisher beobachteten Veränderungen werden sich auch in Zukunft fortsetzen und die Schweiz wird sich weiterhin stärker erwärmen als das globale Mittel. Die Klimaszenarien zeigen die mögliche Zukunft des Schweizer Klimas bei

[3] Klimasignal beschreibt den bereits bestehenden Einfluss und die erwarteten Veränderungen des Klimas. In der Klima-Risikoanalyse wird von «Klimasignal» und nicht von «Gefahren» gesprochen, damit die Begrifflichkeiten auch auf klimabedingte Opportunitäten angewendet werden können. Je stärker das Klimasignal, desto grösser ist tendenziell auch das Klimarisiko bzw. die klimabedingte Opportunität. (BAFU, 2025)

[4] www.klimaszenarien.ch

verschiedenen globalen Erwärmungsniveaus. Sie zeigen den Klimazustand, der sich in der Schweiz einstellt, sobald die globale Durchschnittstemperatur auf 1,5 Grad, 2 Grad oder 3 Grad über dem vorindustriellen Temperaturniveau von 1871–1900 angestiegen ist. Eine 1,5-Grad-Welt ist aufgrund der bisherigen und aktuellen globalen Treibhausgasemissionen nicht mehr vermeidbar und wird voraussichtlich in den nächsten 5 bis 15 Jahren erreicht. Eine 2-Grad-Welt würde mit heutigen und geplanten Massnahmen um 2050 erreicht werden und auf dem Weg ohne Klimaschutz um 2040. Eine 3-Grad-Welt würde auf dem Weg ohne Klimaschutz um 2065 eintreffen. Unter den derzeit geplanten Massnahmen zur globalen Emissionsreduktion steuert die Welt auf rund 3 Grad Celsius bis Ende Jahrhundert zu.

Kernaussage 2: «Extremere Hitze»
Mit der starken Erwärmung in der Schweiz gehen auch eine Zunahme von Hitzeextremen und das Auftreten neuer Hitzerekorde einher. Temperaturen, die früher sehr selten und extrem waren, treten deutlich häufiger auf. Hitzetage, an denen es mindestens 30 Grad Celsius heiss wird, kommen viel häufiger vor. Auch Tropennächte, in denen die Temperatur nicht unter 20 Grad Celsius sinkt, zeigen eine Zunahme. Die Hitzebelastung ist in städtischen Gebieten besonders ausgeprägt, da der Wärmeinseleffekt dort zusätzlich die nächtliche Abkühlung reduziert. Dieser Effekt spielt eine zentrale Rolle für das erhöhte Risiko extremer Hitzebelastung im städtischen Raum. In der Zukunft muss die Schweiz mit noch deutlich häufigeren und intensiveren Hitzeereignissen rechnen. Demgegenüber wird in allen Regionen ein starker Rückgang der Frost- und Eistage prognostiziert.

Kernaussage 3: «Trockenere Sommer»
Trockenere Böden durch höhere Temperaturen, erhöhte Verdunstung und zurückgehende Sommerniederschläge begünstigen die Waldbrandgefahr. Trockenheit beeinträchtigt Waldleistungen, verursacht Wasserknappheit in Speicherseen und schränkt die Wasserversorgung ein. Zudem kann Trockenheit das Auftreten von Hitzewellen verstärken und verlängern. Die Veränderungen des jährlichen Gesamtniederschlags sind gering. Die durchschnittlichen Niederschlagsänderungen gegenüber der Referenzperiode sind –16% im Sommer und +14% im Winter. Besonders starke Veränderungen werden für die Alpensüdseite im Sommer und im Winter prognostiziert.

Kernaussage 4: «Mehr und heftigere Niederschläge»
Die zunehmende Intensität von Starkniederschlägen lässt sich zu einem grossen Teil mit dem Anstieg der Lufttemperatur erklären (pro Grad Erwärmung kann die Luft 6–7% mehr Wasser aufnehmen). Entsprechend heftiger können Starkniederschläge bei einer weiteren Erwärmung ausfallen. Mit weiter steigenden Temperaturen werden auch in Zukunft die Intensität und die Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen in allen Jahreszeiten weiter zunehmen. Dabei nimmt die Intensität umso mehr zu, je kürzer die Dauer der Niederschlagsereignisse ist. Insbesondere bei einstündigen Niederschlagsereignissen sind Intensitätszunahmen bis zu 30% realistisch. Im Sommer kann die stärkere Intensität einzelner Niederschlagsereignisse vermehrt mit gewittrigen Hagelereignissen verbunden sein. Dabei schliessen intensivere Niederschläge eine gleichzeitige Abnahme der gesamten Niederschlagsmenge nicht aus: Es regnet zwar seltener, dafür fallen bei einzelnen Ereignissen grössere Regenmengen in kurzer Zeit. Starkniederschläge können hohe Schäden verursachen, etwa durch Überschwemmungen oder Erdrutsche. Hochwasser, plötzliche Sturzfluten oder Hagel können zu Sachschäden und Betriebsunterbrüchen führen. Auch die Sicherheit von Personen kann beeinträchtigt sein.

Kernaussage 5: «Weniger Schnee»
Die Anzahl der Schneetage nimmt in allen Höhenlagen ab. Vermehrt fällt Niederschlag auch in höheren Lagen als Regen statt als Schnee. In der Folge nimmt die Schneebedeckung insgesamt ab und das Schmelzen von Schnee und Eis wird begünstigt. Diese Entwicklung wird sich künftig weiter verschärfen. Mit fortschreitender Erwärmung wird die winterliche Nullgradgrenze bei einer globalen Erwärmung von 3 Grad Celsius um weitere 550 Meter ansteigen. Auch im Sommer wird die Nullgradgrenze deutlich ansteigen und auch auf den höchsten Alpengipfeln das Schmelzen von Schnee und Eis begünstigen. Auftauender Permafrost und schmelzende Gletscher können zu instabilen Hängen führen.

Aussagen zu möglichen Veränderungen von Windgeschwindigkeiten und Strahlung sind nach wie vor mit viel Unsicherheit behaftet.

Quelle der Kernaussagen: Nationale Klimaszenarien NCCS (2025)

5.2 Wirkung auf Bahninfrastruktur

Die Klimasignale können vielfältige Auswirkungen auf die Bahninfrastruktur haben. Mithilfe einer Wirkungskette lässt sich systematisch ableiten, welche Anlagen potenziell betroffen sind und in welcher Form Gefährdungen oder Veränderungen auftreten können. Die Wirkungsketten bilden dabei mögliche Gefährdungsbilder ab, die aus den projizierten Klimasignalen hergeleitet werden. Dadurch wird nachvollziehbar aufgezeigt, wie klimatische Veränderungen auf die Infrastruktur wirken und welche Bereiche besonders anfällig gegenüber zukünftigen Entwicklungen sind.

Neben den potenziellen Risiken ergeben sich durch die klimatischen Veränderungen jedoch auch Chancen. So können veränderte Rahmenbedingungen neue Möglichkeiten für Planung, Betrieb und Weiterentwicklung der Bahninfrastruktur schaffen. Die Betrachtung der Wirkungsketten dient daher nicht nur der Identifikation von Gefährdungen, sondern unterstützt auch dabei, zukünftige Potenziale und Anpassungsmöglichkeiten frühzeitig zu erkennen.

Die Auswirkungen auf die Infrastruktur können je nach Infrastrukturbetreiberin unterschiedlich ausfallen. Dies hängt unter anderem von regionalen Gegebenheiten, klimatischen Expositionen sowie den jeweils eingesetzten Anlagenstandards und Bauweisen ab. Entsprechend können identische Klimasignale in verschiedenen Regionen oder bei unterschiedlichen technischen Ausführungen zu unterschiedlichen Wirkungen und Gefährdungsbildern führen.

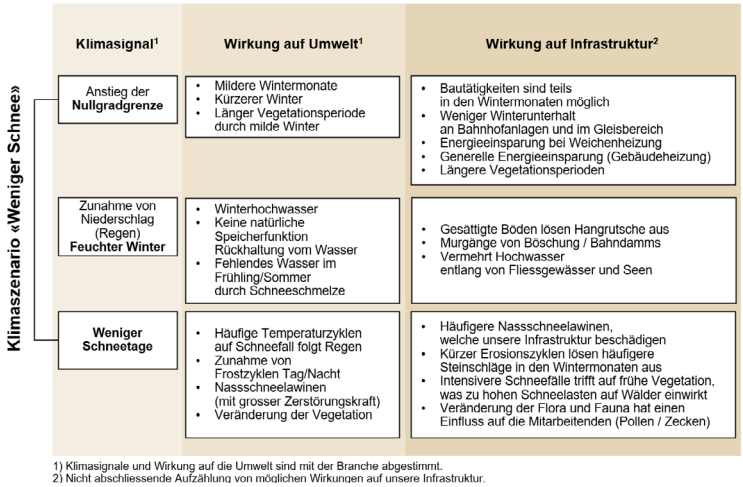
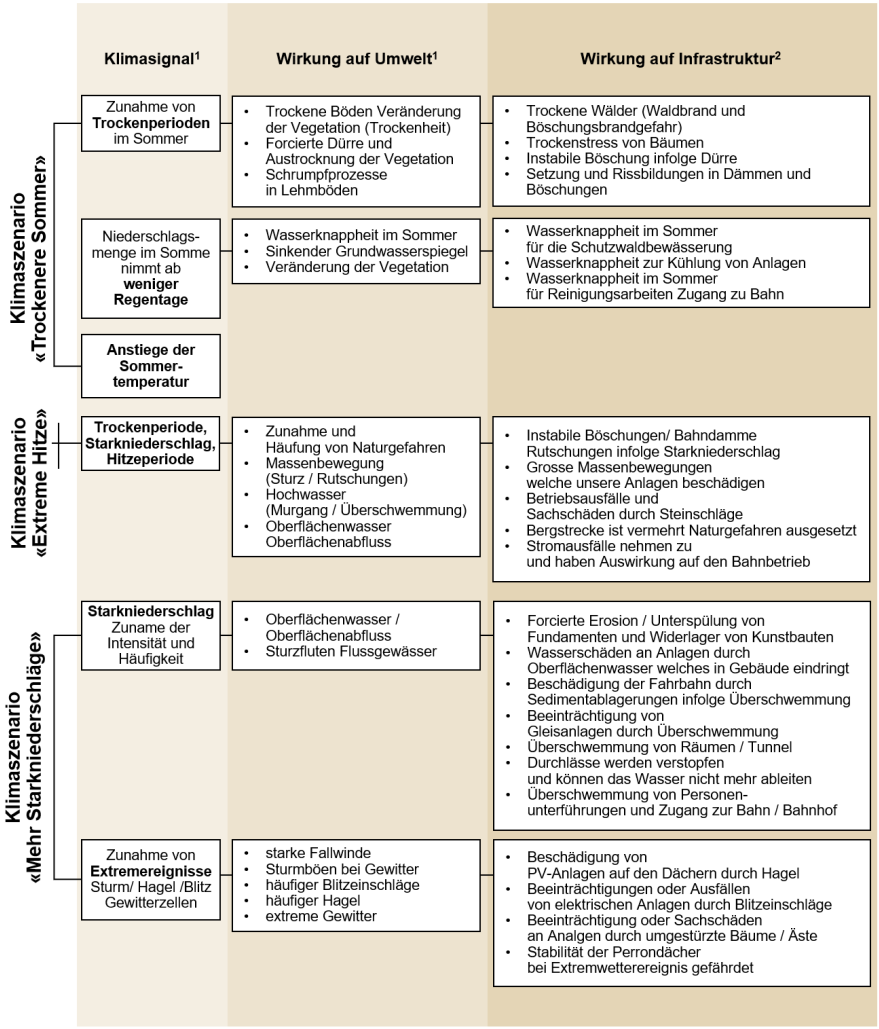


Abbildung 2: Wirkungskette «Weniger Schnee»

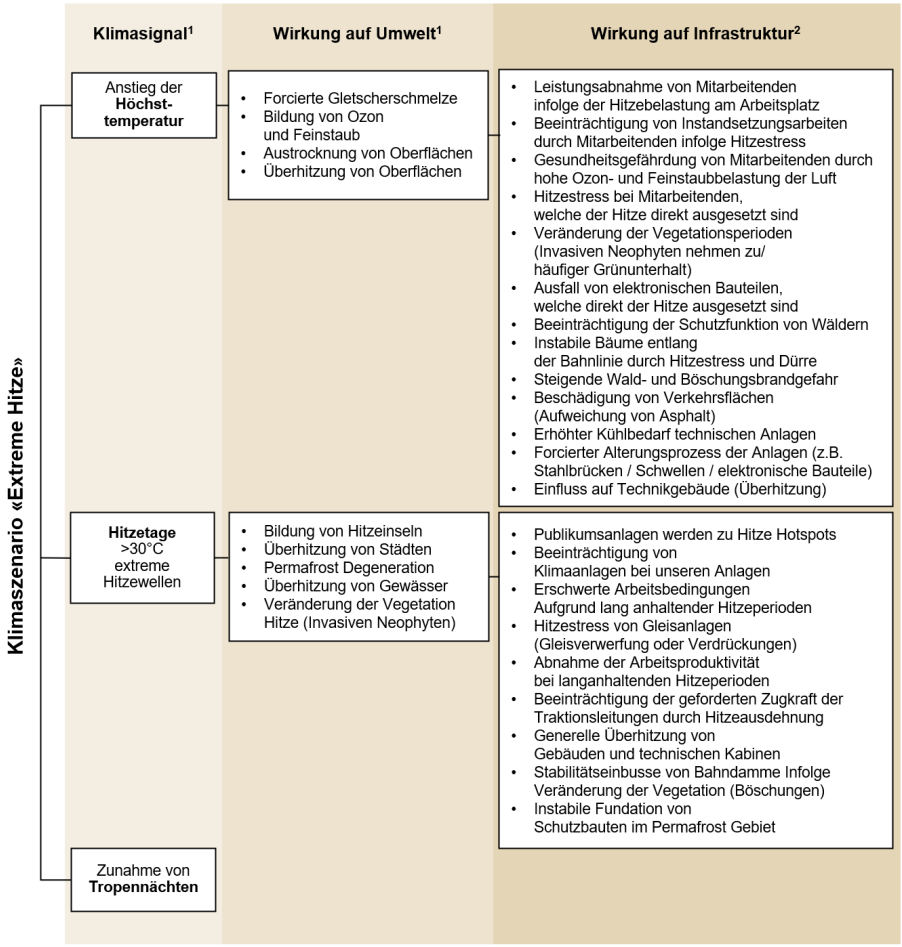
Quelle: BLS (2025)



1) Klimasignale und Wirkung auf die Umwelt sind mit der Branche abgestimmt.
2) Nicht abschliessende Aufzählung von möglichen Wirkungen auf unsere Infrastruktur.

Abbildung 3: Wirkungsketten «Trockenere Sommer», «Extremere Hitze» und «Mehr Starkniederschläge»

Quelle: BLS (2025)



1) Klimasignale und Wirkung auf die Umwelt sind mit der Branche abgestimmt.
2) Nicht abschliessende Aufzählung von möglichen Wirkungen auf unsere Infrastruktur.

Abbildung 4: Wirkungskette «Extremere Hitze»

Quelle: BLS (2025)

6 Anpassungsprozess und Methodik

Die hier vorgestellte Methodik ist darauf ausgerichtet, die Herausforderungen des Klimawandels für die Bahninfrastruktur strukturiert zu analysieren. Ziel ist es, die relevanten Risiken zu erkennen und zu bewerten sowie gezielte, wirksame Anpassungsmassnahmen daraus abzuleiten.

Der Leitfaden beschreibt ein systematisches Vorgehen, das die Vollständigkeit der Analyse gewährleistet. Es ist jedoch nicht zwingend, alle Arbeitsschritte exakt nach dem Leitfaden umzusetzen; vielmehr können Abkürzungen vorgenommen werden. In der Praxis bedeutet dies, dass entweder einzelne Schritte übersprungen oder dass für kritische Anlagen und besonders gefährdete Infrastrukturteile eine detailliertere Analyse vorgenommen wird, während für weniger exponierte Bereiche eine vereinfachte Vorgehensweise ausreichend sein kann. Ein iteratives Vorgehen ist sinnvoll, da nicht alle Bereiche bzw. alle Anlagengattungen der Infrastruktur in der gleichen erforderlichen Tiefe bearbeitet werden können.

Der Prozess sieht vor, dass die Ergebnisse laufend überprüft, angepasst und erweitert werden – insbesondere, wenn neue Erkenntnisse zu Klimarisiken oder innovative Massnahmen verfügbar werden.

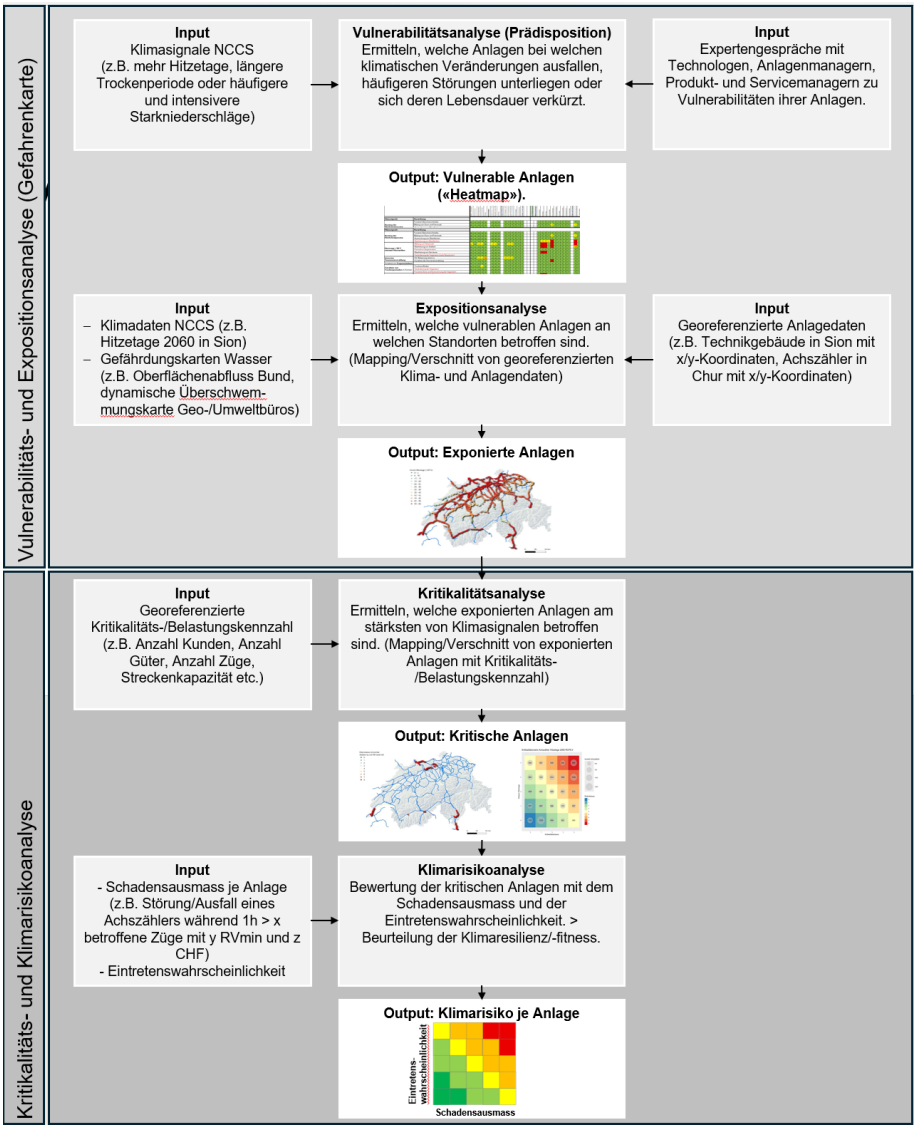


Abbildung 5: Anpassungsprozess

Quelle: Arbeitsgruppe Adaptation Klimawandel (2025)

6.1 Vulnerabilitätsanalyse

Zur Ermittlung des Klimarisikos der Anlagen muss zuerst geprüft werden, welche Anlagengattungen/-typen eine «Prädisposition» gegenüber geänderten klimatischen Bedingungen aufweisen. Diese Analyse erfolgt sinnvollerweise auf der Basis der Klimasignale (vgl. Kapitel 5). Während beispielsweise elektronische Bauteile von Sicherungsanlagen gegenüber hohen Temperaturen anfällig sind, weisen Technikkabinen im Unter- oder Erdgeschoss eine Verletzlichkeit gegenüber eindringendem Wasser auf.

Input: Anlagenstruktur und Klimasignale

In einem Excel-Sheet wird auf der Horizontalen die Anlagenstruktur gemäss RTE 29900 eingetragen:

– betriebsnotwendige Gebäude
– Gleise
– Stellwerk- und Zugsbeeinflussungsanlagen
– etc.

Auf der Vertikalen werden die Klimasignale eingetragen:

1. Extremere Hitze: Anstieg höchste Tages- und Nachttemperaturen, mehr Hitzetage, mehr Tropennächte, extreme Hitze im städtischen Raum, mehr extrem heisse Tage, wärmster Tag im Jahr deutlich wärmer.

2. Trockenere Sommer: deutlich mehr Tage mit hoher Waldbrandgefahr, schnellere Austrocknung der Böden, Rückgang Sommerniederschläge, verstärkte und verlängerte Hitzewellen, Wasserknappheit, eingeschränkte Wasserversorgung.

3. Mehr und heftigere Niederschläge: zunehmende Intensität und Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen in allen Jahreszeiten, Zunahme der stärksten Eintagesniederschläge, Intensitätszunahmen vor allem bei einstündigen Niederschlagsereignissen, vermehrt gewittrige Hagelereignisse, Schäden durch Überschwemmungen, Erdrutsche oder Sturzfluten. Anstieg der Schneefallgrenze erhöht insbesondere im Winter den Anteil des Niederschlags in Form von Regen und erhöht die Wassermenge in Flüssen zusätzlich.

4. Weniger Schnee: weniger Schneetage in allen Höhenlagen, mehr Winterniederschlag in Form von Regen, Schneeanteil am Winterniederschlag nimmt ab, Nullgradgrenze im Winter und im Sommer steigt, frühere Schneeschmelze, Zunahme von Schmelzwasser im Winter- und Abnahme im Sommerhalbjahr, auftauender

Permafrost und schmelzende Gletscher können zu instabilen Hängen führen.

Mit Anlagen-Experten (bspw. Technologen, Produktmanager, Life-cycle- und Portfoliomanager, Störungsmanager) wird anschliessend eine Bewertung der Auswirkungen der Klimasignale auf die einzelnen Anlagen vorgenommen:

Mögliche Ausprägungen:

– Keine Auswirkung» (grün oder –1 bis +1)
– Geringe Auswirkung» (gelb oder –2 bis +2)
– Mittlere Auswirkung» (orange oder –3 bis +3)
– Grosse Auswirkung» (rot oder –4 bis +4)

Output: Vulnerable Anlagen («Heatmap»)

Das Resultat der Bewertung ist eine sogenannte Heatmap. Diese liefert erste Anhaltspunkte, auf welche Anlagen bezüglich Klimarisiko als Erstes fokussiert werden soll.



Abbildung 6: Beispiel einer Heatmap

Quelle: MGB (2025)

Die Bewertung der Infrastrukturbetreiberinnen **MGB, SOB, BERNMOBIL, BLS und SBB** zeigt folgende **Vulnerabilitäten der Anlagen gegenüber den Klimasignalen:**

1. Extremere Hitze (vgl. Klima CH2025):

Die zunehmende Extremhitze hat spürbare Auswirkungen auf elektronische Bauteile, die direkt hohen Temperaturen ausgesetzt sind. Lokale Wärmeansammlungen führen zur Bildung von Hitzeinseln, was sowohl die Aufenthaltsqualität für Kund:innen an Bahnhöfen beeinträchtigt als auch die Sicherheit der Infrastruktur gefährden kann. Insbesondere bei Gleisanlagen steigt das Risiko von Gleisverwerfungen deutlich. Die Hitze beschleunigt zudem das Auftauen des Permafrosts, was zu instabilem Gestein und folglich zu unsicheren Fundamenten führen kann – ein Risiko, das vor allem in Gebirgsregionen zunehmend relevant wird. Auch die Arbeitsproduktivität von Mitarbeitenden, die im Freien oder in stark aufgeheizten Bereichen arbeiten, wird durch die hohen Temperaturen negativ beeinflusst.

Steigende Höchsttemperaturen und häufiger sowie intensiver auftretende extreme Hitzeereignisse haben vor allem auf folgende Anlagen eine **mittlere bis sehr hohe Auswirkung:**

- **Gebäude und Grundstücke** (v.a. betriebs- und nicht betriebsnotwendige Gebäude)
- **Kunstbauten** (v.a. Schutzwälder und Sicherheitsstreifen, Wasserversorgung und -entsorgung, Erdbauwerke)
- **Fahrbahn** (v.a. Gleise, Weichen, Bahnübergänge)
- **Bahnstromanlagen** (v.a. Fahrleitungsanlagen)
- **Sicherungsanlagen** (v.a. Stellwerk- und Zugsbeeinflussungsanlagen, Leittechnik, Zugkontrolleinrichtung, Warnsysteme, autonome Bahnübergangsanlage)
- **Niederspannungs- und Telecomanlagen** (v.a. Niederspannungsverbraucher, Daten- und Kommunikationssysteme)
- **Publikumsanlagen** (Perrons und Zugänge, öffentliche Aufenthaltsbereiche)

2. Trockenere Sommer (vgl. Klima CH2025):

Lang anhaltende Trockenperioden führen zu einer Verringerung der Bodenfeuchtigkeit, was die Stabilität von Böschungen und Gleisunterbau beeinträchtigen kann.

Die Vegetation entlang der Bahntrassen vertrocknet, wodurch das Risiko von Flächenbränden steigt und die Sicherheit sowie die Verfügbarkeit der Infrastruktur gefährdet werden. Zusätzlich können Wasserknappheit und ausgetrocknete Gewässer negative Auswirkungen auf die Kühlung von technischen Anlagen und die Reinigung von Fahrzeugen haben.

Trockenere Sommer haben insbesondere auf folgende Anlagen eine **mittlere bis sehr hohe Auswirkung:**

- **Kunstbauten** (v.a. Wasserversorgung und -entsorgung, Schutzwälder und Sicherheitsstreifen)
- **Gebäude und Grundstücke**

3. Mehr und heftigere Starkniederschläge (vgl. Klima CH2025):

Aussergewöhnlich intensive Regenfälle führen zu einer raschen Überlastung von Entwässerungssystemen entlang der Bahntrassen. Dadurch steigt das Risiko von Überschwemmungen und Erosion, was die Stabilität von Böschungen und den Gleisunterbau gefährden kann. Starkniederschläge begünstigen zudem die Bildung von Murgängen und Hangrutschungen, was zu temporären Streckenunterbrüchen und aufwändigen Reparaturarbeiten führt.

Mehr und heftigere Starkniederschläge haben insbesondere auf folgende Anlagen eine **mittlere bis sehr hohe Auswirkung:**

- **Gebäude und Grundstücke** (betriebs- und nicht betriebsnotwendige Gebäude, Grundstücke)
- **Kunstbauten** (Brücken, Tunnel, Durchlass, Stützbauwerke, Galerien, Schutzwände, Schutzverbauungen, Wasserversorgung und -entsorgung, Erdbauwerke, Schutzwälder und Sicherheitsstreifen)
- **Fahrbahn** (Gleise, Weichen, Unterbauten, Bahnübergänge)
- **Publikumsanlagen** (Perrons und Zugänge, öffentliche Aufenthaltsbereiche, Güterverkehrszugänge)
- **Sicherungsanlagen** (u.a. Stellwerk- und Zugsbeeinflussungsanlagen)
- **Niederspannungs- und Telecomanlagen** (Niederspannungsverbraucher, Daten- und Kommunikationssysteme)

4. Weniger Schnee (vgl. Klima CH2025):

Ein Rückgang der Schneemengen wirkt sich, je nach Höhenlage, unterschiedlich auf Bahninfrastrukturanlagen aus. In tieferen Lagen ermöglicht weniger Schnee grundsätzlich eine verbesserte Zugänglichkeit und eine höhere Betriebsstabilität im Winter, da Einschränkungen durch Schneeräumung und Lawinengefahr abnehmen. Gleichzeitig kann eine geringere Schneedecke dazu führen, dass der Boden weniger gut isoliert wird, was das Risiko von tiefgründiger Frostbildung im Untergrund und daraus resultierenden Schäden am Unterbau erhöhen kann. In höheren Lagen entfällt die isolierende Schneedecke, was Erosionsprozesse und das Auftauen von Permafrost beschleunigen kann. Zudem erhöht sich bei fehlender Schneeschmelze im Frühjahr das Risiko von Wasserknappheit, was negative Auswirkungen auf die Vegetation und damit auf die Böschungssicherung haben kann.

Die steigende Nullgradgrenze und der zunehmende Winterniederschlag haben insbesondere auf folgende Anlagen eine **mittlere bis sehr hohe Auswirkung**:

– **Kunstbauten** (Brücken, Stützbauwerke, Schutzverbauungen, Schutzwälder und Sicherheitsstreifen, Wasserversorgung und -entsorgung, Stützbauwerke, Galerien, Schutzwände, Erdbauwerke)

Verkettung der Klimasignale Niederschlag/Trockenheit/Hitze
Durch die Verkettung der Klimasignale werden unsere Anlagen häufigeren Naturgefahren ausgesetzt sein. Die Verkettung Hitze und Starkniederschläge fördert Murgänge und grosse Massenbewegungen in den Alpenregionen. Trockenheit in Verbindung mit Starkniederschlägen löst Oberflächenwasser aus, welches die vorhandenen Abflusssysteme überlastet und somit Gebäude sowie Personenunterführungen fluten, aber auch in Gleisanlagen fliessen kann. Durch die klimatischen Einflüsse lockert sich das Gestein, was wiederum zu häufigeren und ganzjährigen Steinschlägen führt. Betroffen sind auch die Böschungen, welche sich infolge von Starkniederschlägen sättigen und dadurch instabil werden.

6.2 Expositionsanalyse

Die Exposition einer Anlage ist abhängig von der geografischen Lage. Während beispielsweise eine Brücke im Mittelland bezüglich zunehmender Starkniederschläge keine Exposition aufweist, kann eine Brücke in den Alpen sehr stark exponiert sein. Der Fokus der Expositionsanalyse liegt entsprechend auf der Abbildung/Kartierung der exponierten Anlagen. Dabei werden die Klimadaten (bspw. mm Niederschlag im Jahr 2060 oder Anzahl Hitzetage im Jahr 2085) mit den Anlagendaten gemäss RTE 29900 (bspw. «Perrons und Zugänge») «verschnitten».

Input: Klimakennwerte und Anlagendaten

Klimakennwerte:

- Als Grundlage für die Zukunftsdaten dienen die **CH2025-Klimaszenarien des Bundes** für die Schweiz. Diese beinhalten Tageswerte für ein Gitter mit 1 km räumlicher Auflösung sowie die Standorte der heutigen SwissMetNet-Wetterstationen von MeteoSchweiz. Basierend auf diesen Daten berechnen umwelt-/geowissenschaftliche Büros (z.B. geo7 oder meteotest) mittels geostatistischer Interpolation einen schweizweiten Gitterdatensatz mit einer höheren Auflösung. Darstellbar sind so beispielsweise die Anzahl Hitzetage oder die mm Niederschlag mit einer **lokalen Auflösung von 250 m**.
- Für die zukünftige Entwicklung des Klimas sollte das Klimaszenario **«3-Grad-Welt»**[5] betrachtet werden. Für die drei Global Warming Levels (GWL) 1,5 Grad Celsius, 2 Grad Celsius und 3 Grad Celsius existieren für die Schweiz Simulationen für 30 Jahre (2040, 2050, 2060) auf einer Tagesbasis, sowohl für Temperaturen als auch für Niederschläge.

Anlagendaten:

- Sämtliche Anlagendaten können als Inputgrösse verwendet werden. Wichtig ist, dass diese georeferenziert, das heisst mit x-/y-Koordinaten versehen sind.

[5] Mittlere globale Erwärmung von 3 Grad Celsius gegenüber der vorindustriellen Periode. In einer 3-Grad-Welt beträgt die mittlere Erwärmung in der Schweiz 4,9 Grad Celsius gegenüber vorindustrieller Zeit. Unter den derzeit geplanten Massnahmen zur globalen Emissionsreduktion steuert die Welt auf rund 3 Grad Celsius bis Ende Jahrhundert zu.

Campus	Gebäude	LV95_E	LV95_N	Etage	Anz. Schränke im Raum
Mühlehorn SBB	MH_TK01, TC-Kabine	2731735.127	1221303.83	EG	5
Lyss	Lyss, BTG	2589899.836	1214539.889	EG	1
Russin	Russin, CE03 Cab.TC	2490277.061	1116112.244	Rez	9
Heerbrugg SBB	Heerbrugg, Aufnahmegebäude	2765302.702	1253507.303	1.UG	5
St. Gallen	St. Gallen, Aufnahmegebäude	2746078.535	1254649.355	1.UG	10
Lungern	Käppeli, DS km37.776	2654919.651	1180620.304	floor	1
Kempten	Kempten, Güterschuppen	2703699.358	1243678.054	floor	6
Moreillon	Moreillon, AV01 Abri	2554309.934	1155207.231	Rez	6
Bellinzona	Bellinzona, Officine IW;WK	2724394.912	1119172.398	floor	1
Rümlang	Rümlang, Aufnahmegebäude	2682913.362	1256889.817	1.UG	25

Abbildung 7: Beispiel strukturierter und georeferenzierter Anlagendaten

Quelle: SBB (2024)

Output: Exponierte Anlagen

– Aus der Expositionsanalyse resultieren Anlagen, welche gegenüber bestimmten Klimakennwerten (z.B. Hitzetage oder Niederschlag) an bestimmten Orten in einem bestimmten Jahr exponiert sind.

location	name	x	y	hd_2010	hd_2060	hd_2085
CHI	Chiasso	723771.763	76869.762	17	49	79
STAF	Stabio	716935.273	78685.209	17	50	79
BAL	Balerna	721687.132	78448.626	16	48	78
GDA	Gordola	710197.594	115176.397	16	49	77
MEN	Mendrisio	719585.752	80893.637	15	47	77
ARD	Ardon	587057.242	117474.043	16	50	76
CHF	Châteauneuf-Conthey	589694.744	118304.302	16	50	76
TUI	Les Tuileries	500418.771	122878.284	16	49	75
CHY	Chambésy	500399.7227	121877.809	16	49	74
COI	Vernier	496241.851	119699.001	15	48	74
...	...	...	...	...	...	...
HGV	Les Hauts-Geneveys	557145.39	210837.564	1	9	23
RE	Renan BE	561055.927	219542.875	1	9	22
COL	Le Locle-Col-des-Roches	545856.262	211230.781	0	8	21
LOC	Le Locle	547390.022	212103.713	1	9	21
CFO	La Chaux-de-Fonds Les Forges	552481.5509	215782.4262	0	8	20
CRET	Le Crêt-du-Locle	550327.458	214232.145	0	8	20
CF	La Chaux-de-Fonds	553490.0687	216557.0295	0	7	19
AI	Airolo	689765.163	153582.904	0	6	18
PT	Le Pont	514758.765	169210.9	0	5	16
GOE	Göschenen	688019.933	168931.801	0	4	14

Abbildung 8: Gegenüber zunehmenden Hitzetagen (heat days [hd]) exponierte (z.B. Chiasso) und kaum exponierte Bahnhöfe (Göschenen) für die Referenzperiode (2010) und 2060/2085

Quelle: SBB (2024)

6.3 Kritikalitätsanalyse

Input: Kritikalität (Relevanz)

Kritikalität:

- Als Indikatoren für die Kritikalität/Relevanz exponierter Anlagen für das Bahnsystem können verschiedene Grössen herangezogen werden, zum Beispiel durch Störungen oder Ausfall einer Anlage ausgefallene Personen- oder Güterzüge, Reisenden- oder Zugsverspätungsminuten oder die Anzahl betroffene Kundinnen und Kunden.
- Die Kritikalität kann in verschiedene Klassen eingeteilt werden. So werden in der Klasse «sehr hohes Schadensausmass» Anlagen aufgeführt, welche bei einer Störung oder bei einem Ausfall beispielsweise sehr viele Züge betreffen oder eine sehr hohe Anzahl Reisendenverspätungsminuten generieren. In die Klasse «sehr tiefes Schadensausmass» werden Anlagen zugeordnet, bei welchen eine Störung oder ein Ausfall der Anlage kaum Auswirkungen hat.
- Die Kombination von Exposition und Kritikalität in einer Matrix zeigt, welche Anlagen künftig am stärksten einer bestimmten Klimagefahr ausgesetzt sind (Exposition) und gleichzeitig am stärksten belastet sind (Kritikalität).

Output: Kritische Anlagen

- Aus der Kritikalitätsanalyse ergeben sich Anlagen, für welche eine Klima-Risikoanalyse durchgeführt werden sollte.
- Kritikalitätsmatrix mit den Achsen Exposition (z.B. mm Niederschlag oder Anzahl Hitzetage) und Kritikalität (z.B. Anzahl ausgefallene Züge oder betroffene Kund:innen).

6.4 Klima-Risikoanalyse

Nachdem die Verletzlichkeit/Prädisposition (Vulnerabilität), die räumliche Verteilung (Exposition) und die Relevanz der Infrastrukturanlagen für das Bahnsystem (Kritikalität) ermittelt wurden, gilt es, die Klimarisiken zu ermitteln. Die Risikoanalyse bildet die Grundlage zur Steuerung der Klimaadaptation. Sie hilft, die Entscheidungsfindung zu optimieren, und ermöglicht, mit den verfügbaren Mitteln den bestmöglichen Nutzen zu generieren. Damit wird eine glaubwürdige Umsetzung der Sorgfaltspflicht gewährleistet. Mit der Risikoanalyse werden Risiken möglichst objektiv charakterisiert und quantifiziert.

Input: Eintretenswahrscheinlichkeit und Auswirkung

Risiko = Eintretenswahrscheinlichkeit × Auswirkung

Eintretenswahrscheinlichkeit/-häufigkeit: Die Wahrscheinlichkeit kann wie folgt abgeschätzt werden:

- qualitativ: z.B. mit den Attributen niedrig/mittel/hoch oder selten/gelegentlich/regelmässig
- quantitativ: z.B. mittels Eintretenswahrscheinlichkeiten wie 1-mal alle 100 Jahre, 1-mal alle 50 Jahre, 1-mal alle 2 Jahre, jedes Jahr oder 1%, 2%, 10%, 50%

Auswirkung (Schadensausmass): Die Folgen können wie folgt dargestellt werden:

- qualitativ: z.B. mit den Attributen gering, mässig, schwer
- quantitativ: z.B. erwartete jährliche Schadenskosten aus historischen Schadensfällen, Ausfallkosten, Reparaturkosten

Qualitative Einschätzungen für kritische Bahnhöfe:

- Starkniederschlag: 2030 mit mittlerer Eintretenswahrscheinlichkeit, 2050 mit hoher Eintretenswahrscheinlichkeit. Auswirkung: mässig (z.B. Wasser in Personenunterführungen)
- Hitzewellen: 2030 mit mittlerer Eintretenswahrscheinlichkeit, 2050 mit hoher Eintretenswahrscheinlichkeit. Auswirkung: schwer (Hitzestress Kunden, Ausfälle Elektronik wie Achszähler, Aufzugsteuerung, Anzeiger etc.)

Output: Klimarisiko

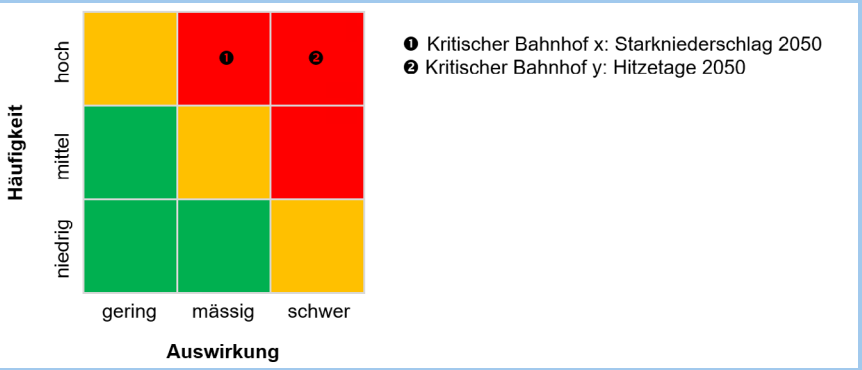


Abbildung 9: Beispiel für eine einfache Risikomatrix

Quelle: SBB (2026)

- Starkniederschlag: 2030 mit mittlerer Eintretenswahrscheinlichkeit, 2050 mit hoher Eintretenswahrscheinlichkeit. Auswirkung: mässig (Überflutung Personenunterführungen, Technikräume) → Risiko: mittel bis hoch.
- Hitzewellen: 2030: mittel; 2050: hoch → Auswirkung: schwer (Hitzestress Kunden, Ausfälle Elektronik) → Risiko: hoch.

7 Adaptationsstrategie und -massnahmen

Die Adaptationsstrategie schliesst als logische Folge an die durchgeführten Analysen der Vulnerabilität, der Exposition, der Kritikalität und des Klimarisikos an. Sie beantwortet die Frage: und was jetzt?

Ziel der Adaptationsstrategie ist es, Infrastrukturanlagen gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels systematisch resilienter zu gestalten. Die Strategie hilft, einen Rahmen zur Priorisierung von Investitionen und zur Integration von Klimaanpassungsmassnahmen in bestehende Erneuerungs-, Instandhaltungs- und Betriebsprozesse zu schaffen.

Dabei sollen nicht alle Anlagen maximal abgesichert werden. Vielmehr steht der möglichst effiziente Einsatz verfügbarer Mittel und Ressourcen im Zentrum. Dabei stehen insbesondere folgende Prinzipien im Vordergrund:

- Priorisierung kritischer Anlagen
- Nutzung bestehender Erneuerungszyklen
- Umsetzung von No-regret- und Low-regret-Massnahmen
- Betrachtung aller Arten von Massnahmen (z.B. organisatorisch, technisch)

Klimaresilienz ist als integraler Bestandteil des bestehenden Asset-Managements zu behandeln und nicht als separater Zusatzprozess. Klimarisiken und Anpassungsmassnahmen sollen in bestehende Prozesse integriert werden, z.B.:

- Investitionsplanung
- Instandhaltungsplanung
- Zustandsbewertung
- Risiko- und Sicherheitsmanagement
- Business Continuity Management

Dadurch können Synergien genutzt sowie Entscheidungs- und Priorisierungsprozesse vereinheitlicht werden.

Eine kosteneffiziente Adaptation von Infrastrukturanlagen orientiert sich an risikobasierten, lebenszyklusorientierten und adaptiven Ansätzen:

- **Risikobasierter Ansatz:** Nicht alle Anlagen benötigen denselben Schutzgrad. Massnahmen werden dort umgesetzt, wo hohe Klimarisiken auf hohe Kritikalität treffen. Je höher Kritikalität, Klimarisiko und verbleibende Nutzungsdauer, desto umfassender die Anpassungsmassnahmen.
- **Lebenszyklusorientierung:** Klimaanpassungsmassnahmen sollen möglichst in bestehende Sanierungen, Ersatzinvestitionen, Modernisierungen oder Erweiterungen integriert werden. Dadurch können Zusatzkosten und Betriebsunterbrüche minimiert werden. Ein lebenszyklusorientierter Ansatz wird angewandt, wenn Anlagen in absehbarer Zeit das Ende ihrer technischen Nutzungsdauer erreichen und die Klimaadaptation ohnehin im Rahmen einer geplanten Erneuerung erfolgen kann. Ziel ist es, kurzfristig hohe Investitionskosten zu vermeiden.
- **Adaptive Vorgehensweise:** Da Klimaentwicklungen mit Unsicherheiten verbunden sind, sollen Massnahmen stufenweise und flexibel geplant werden, zum Beispiel durch modulare Erweiterbarkeit, Monitoring mit Definition von Schwellenwerten oder schrittweise Nachrüstung.

Anstatt sofort eine vollständige Neuplanung vorzunehmen, wird ein stufenweiser Anpassungspfad definiert. Dadurch können Investitionen zeitlich optimiert und Fehlinvestitionen reduziert werden:

- **Kurzfristig:** minimale Eingriffe wie Beobachten und organisatorische Massnahmen sowie kleine Verbesserungen vornehmen.
- **Mittelfristig:** wenn die klimatische Belastung zunehmend sichtbarer wird. Anpassungen an Anlagen mittels Teilerweiterungen oder -erneuerungen prüfen und umsetzen.
- **Langfristig:** Bei weiter steigenden Belastungen ist eine vollständige technische Erneuerung oder Standortanpassung zu prüfen und zu planen.

Um das Vorgehen richtig zu priorisieren, gibt es unterschiedliche Ansätze. Bei den Anlagen muss neben dem Klimarisiko und der Kritikalität auch die Restlebensdauer berücksichtigt werden, um eine kosteneffiziente Klimaanpassung sicherzustellen.

Anbei sind zwei mögliche Ansätze für eine strategische Priorisierung dargestellt. Die Punktebewertung sowie die Berücksichtigung der Restlebensdauer sind je nach Anlage unterschiedlich anzuwenden. Auch die Herleitung der Bewertung für die Kritikalität und das Klimarisiko kann unterschiedlich erfolgen. Wichtig ist jedoch, dass dies systematisch und nachvollziehbar geschieht.

Beispiele einer strategischen Priorisierung:

1. Beispiel

Priorität = Kritikalität × Klimarisiko × Restlebensdauer (jeweils 1–3 Punkte)		
Score	**Priorität**	**Vorgehensweise**
1–6	niedrig	Monitoring und organisatorische Massnahmen
7–12	mittel	selektive technische Nachrüstung
13–18	hoch	priorisierte Resilienz-Investitionen
19–27	sehr hoch	umfassende klimaresiliente Anpassung

2. Beispiel

Kritikalität + Risiko	**<10 Jahre Restlebensdauer**	**10–25 Jahre Restlebensdauer**	**>25 Jahre Restlebensdauer**
niedrig	Beobachtung	Low-regret-Massnahmen	Standardanpassung
mittel	selektive Nachrüstung	gezielte Verstärkung	robuste Nachrüstung
hoch	Übergangsschutz	priorisierte Verstärkung	vollständige klimaresiliente Anpassung

Anpassungsmassnahmen sollen möglichst wirtschaftlich und verhältnismässig umgesetzt werden. Dabei gibt es unterschiedliche Ansatzpunkte:

Ansatzpunkt für Massnahmen	Beispiele für Massnahmen
Technologisch	• Schottergleis Tram und Hitze: Rahmensteifigkeitserhöhung • Feste Fahrbahn Tram und Hitze: Einbau Schubriegel zwecks Reduktion der Längsbewegungen → Fugen schonen • Fahrbahn und Hitze: Anpassung Neutralisationstemperatur beim Verschweissen von Schienen • Sicherungsanlagen: neue Klimasignale der Ausschreibung von Anlagen zugrunde legen • Ingenieurbau und mehr Oberflächenabfluss: angepasste Dimensionierung Durchlässe • Fahrstrom Tram und Hitze: Anpassung Fahrleitungstechnologie (nachgespannte Fahrleitung, Niederhochkette), Vergrösserung der Fahrdrahtquerschnitte • Energieversorgung Tram (z.B. Gleichrichter): baulicher Hochwasserschutz durch bessere Analysen infolge bekannter Klimaszenarien • Gebäude: bessere Isolierung
Naturbasiert	• Tram: Beschattung/Bäume entlang der Gleise vorsehen • Tram: entsiegeltes Schottergleis durch begrüntes Gleis ersetzen • Publikumsanlagen: Schwammstadt-Massnahmen umsetzen; neuer Materialisierungsstandard «Nichtversiegelung» • Ingenieurbau/Kunstbauten: klimafittes Vegetationsmanagement (z.B. Förderung klimaresilienter Baumarten)
Verhaltens-orientiert	• Unterhalt/Projekte: Anpassung Bauzeitfenster (Tag/Nacht, Saison) • Informationskampagnen zu Klimaerwärmung und Entsiegelung, um Akzeptanz zu steigern
Governance	• Neue/angepasste Regelwerke, Normen, Standards, Ausführungs- und Qualitätsvorschriften, Projektierungsvorgaben, Unterhaltsrichtlinien …
Wissensbasiert	• Anlagenmanagement: Screening von Anlagen bezüglich deren Vulnerabilität, Exposition und Kritikalität • Klimamodelle, Risikoanalysen, Erstellen von Gefahrenkarten • «Neu denken» / Innovation

Tabelle 1: Anpassungsmassnahmen

Quelle: Arbeitsgruppe Adaptation Klimawandel (2025)

8 Anpassungskosten

Die «Climate Adapt Initiative» der Europäischen Kommission erarbeitet Hilfsmittel und Beispiele, wie Anpassungsmassnahmen mit Kosten-Nutzen-Analysen zu bestmöglichen Priorisierungen und Umsetzungsplänen überführt werden.[6]

Nutzen sind dabei «die vermiedenen Schadenskosten» (vgl. Kapitel 6 Klima-Risikoanalyse) oder «die nach der Annahme und Umsetzung von Anpassungsmassnahmen entstandenen Vorteile». Somit sind die Anpassungskosten eine **Gegenüberstellung der Kosten der Massnahme und deren Nutzen**. Im Idealfall sind die Anpassungskosten in der Folge negativ (Gewinn).

Die Anpassungsmassnahme muss die Folgen für den Klimawandel berücksichtigen. Wenn die Massnahme den Klimawandel negativ beeinflusst oder der Umwelt (bspw. Biodiversität) schadet, spricht man von Maladaption.

Für die Berechnung der Anpassungskosten wird folgendes Vorgehen vorgeschlagen:

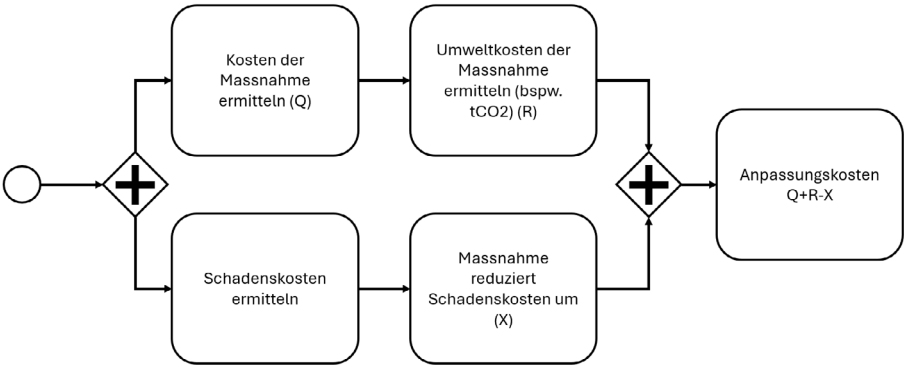


Abbildung 10: Vorgehen

Quelle: Arbeitsgruppe Adaptation Klimawandel (2025)

Die Berechnung erfolgt in zwei parallelen Prozessen. Die einzelnen Schritte werden in den nachfolgenden Abschnitten einzeln beschrieben.

[6] Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse von Anpassungsmassnahmen | Tools von Climate-ADAPT

Ansätze[7] zur Berechnung der Schadenskosten
Wenn die Schadenskosten noch nicht bekannt sind, helfen nachfolgende Methoden für eine erste Abschätzung:

1. **Ereignisbezogen:**
   - Schaden pro Ereignis × erwartete Häufigkeit
   - Beispiel: Überflutung Unterwerk
     (Kosten 1 Mio. CHF / Ereignis × Eintreten alle 10 Jahre)
2. **Anlagenbezogen:**
   - Kosten erwartete Reduktion Life Cycle je Anlagentyp × Anzahl betroffene Anlagen
   - Beispiel: Reduktion durchschnittliche Lebensdauer Gleis von 40 auf 30 Jahre
3. **Bottom-up:** Expertenschätzungen je Anlagentyp
4. **Top-down:** Ableitung aus internationalen Studien / Benchmarks (z.B. UIC, EU)

Reduktion der Schadenskosten (X): Die empfohlene Massnahme wird sinnvollerweise zu einer Reduktion der zukünftigen Schadenskosten führen. Werden durch die Massnahme die Schadenskosten vollständig eliminiert und sind keine Schäden zu erwarten, entspricht die Schadenskostenreduktion (X) dem gesamten Betrag der ursprünglich erwarteten Schadenskosten. Bleibt ein Restrisiko bestehen, muss die Schadenskostenreduktion zwingend kleiner sein als die Schadenskosten.

Kosten der Massnahmen (Q): Zur Ermittlung der Anpassungsmassnahmen sind die in Kapitel 7 vorgeschlagenen Methoden anzuwenden. Eine Anpassungsmassnahme muss dabei nicht zwingend den Ersatz einer Anlage oder eine kostenintensive technologische Lösung umfassen, sondern kann auch in Form optimierter Prozesse, beispielsweise im Bereich Notfallmanagement oder Business Continuity Management (BCM), erfolgen.

Umweltkosten der Massnahmen (R): Die volkswirtschaftlichen Kosten pro zusätzlich ausgestossener Tonne CO_2 betragen je nach Studie 100–600 CHF.[8] Das Team schlägt hier einen Ansatz von CHF 200 pro Tonne CO_2 vor.

Resultat Anpassungskosten: Die Anpassungskosten sind die Nettogesamtkosten der vorgeschlagenen Massnahme (Q+R–X). Sind diese Kosten negativ, ist die Massnahme sinnvoll, andernfalls muss die Massnahme weiter begründet werden. (Beispiel: Reputationsschaden oder weitere nicht monetär entstandene Vorteile[9])

[7] Weitere Ansätze zur Ermittlung zukünftiger Schadenskosten: siehe Anhang.

[8] Handbuch Umweltkosten | Umweltbundesamt (DE)

[9] Ein nicht monetärer Vorteil des Pflanzens von Bäumen im Kontext der Schwammstadt ist, dass sie Schatten spenden und zur Kühlung des Stadtraums beitragen.

9 Best-Practice-Beispiele zum Anpassungsprozess

9.1 Beispiel Stellwerke (SOB)

Praktische Analyse und mögliche Massnahmen für betriebsrelevante Anlagen in unterirdischen Räumen

Schritt 1: Vulnerabilitätsanalyse

Gemäss Vulnerabilitätsanalyse (Heatmap) sind alle Stellwerke in unterirdischen Räumen vulnerabel gegenüber dem Klimasignal Starkniederschläge. Die Vulnerabilität wurde auf eine mittlere Auswirkung (**zwei** von vier Punkten) bewertet.

Schritt 2: Expositionsanalyse

Bei der Expositionsanalyse wird die spezifische Anlage näher betrachtet.

Der erste Teil der Expositionsanalyse beinhaltet die systematische Auswertung der Instandhaltungsdaten inklusive Störungsbehebungen und Ausfällen. Damit wird geklärt, ob und in welcher Ausprägung die Anlage historisch vom Klimasignal betroffen war.

Im zweiten Teil wird die Anlage mit den aktuellen verfügbaren Gefährdungskarten verglichen. Die Bewertung kann dabei manuell oder automatisiert erfolgen. Durch die geringe Anzahl Anlagen auf dem Netz wurde eine manuelle Bewertung gewählt.

Qualitative manuelle Analyse anhand der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss: Die Fliesstiefe bezeichnet dabei die Höhe der Wasserschicht, die sich auf der Geländeoberfläche bewegt. Je höher die Fliesstiefe, desto stärker sind Schächte und unterirdische Räume durch Wassereindringung aufgrund von Staunässe und Wasserdruck gefährdet.

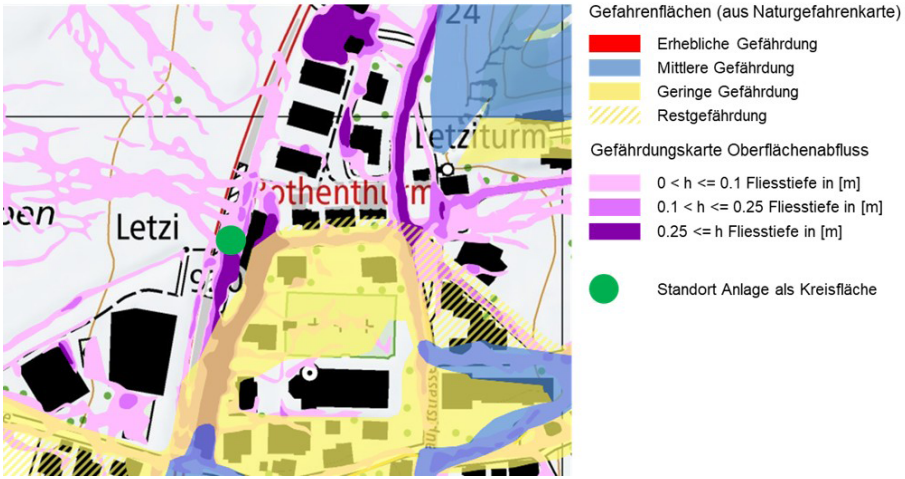


Abbildung 11: Gefahrenkarte

Quelle: SOB und Kantonales GIS SZ (2025)

Die Exposition wird qualitativ durch einen Experten bewertet. Nachfolgende Tabelle dient als Hilfestellung:

Punkte	Bezeichnung	Beschrieb
0	Keine Exposition	Die Anlage befindet sich in einem gänzlich ungefährdeten Gebiet.
1	Leichte Exposition	Die Anlage grenzt an Gebiete mittlerer Fliesstiefe.
2	Mittlere Exposition	Die Anlage grenzt teilweise an Gebiete hoher Fliesstiefe und befindet sich nahe an Gebieten mittlerer Fliesstiefe.
3	Starke Exposition	Die Anlage befindet sich vollständig in einem Gebiet hoher Fliesstiefe.

Tabelle 2: Exposition

Quelle: SOB (2025)

Für die in der Abbildung gezeigte Anlage wurde für die Exposition **2 Punkte** vergeben («Mittlere Exposition»).

Schritt 3: Risikoanalyse

Risiko = Eintretenswahrscheinlichkeit × Schadensausmass

3.1 Eintretenswahrscheinlichkeit

Die Klassifizierung der Eintretenswahrscheinlichkeit ergibt sich aus der Vulnerabilität, der Exposition und der Historik (Schritte 1 und 2). Folgende Klassifizierung (adaptiert aus den Hicks-Tabellen zur einfachen Einteilung von Risiken, Shortreed et al. 2003) wird angewendet:[10]

Klasse	Bezeichnung	Vulnerabilität × Exposition	Historik
5	Häufig	9–12	1 oder mehr Ereignisse pro Jahr
4	Wahrscheinlich	6–8	12 oder mehr Ereignisse in 10 Jahren
3	Gelegentlich	3–4	1 oder mehr Ereignisse pro 30 Jahre
2	Selten	2	1 oder mehr Ereignisse pro 200 Jahre
1	Unwahrscheinlich	0–1	Weniger als 1 Ereignis pro 200 Jahre

Tabelle 3: Eintretenswahrscheinlichkeit

Quelle: Shortreed et al. (2003)

Die Tabelle muss mit einem logischen ODER verstanden werden. Zum Beispiel ist bei der Klasse 3 «Gelegentlich» entweder Vulnerabilität × Exposition = 4 ODER aus der Historik sind eine oder mehr Ereignisse pro 30 Jahre zu erwarten. Gibt es keine historischen Daten, so ist nur die Spalte Vulnerabilität × Exposition anzuwenden.

Für dieses Beispiel ergibt sich aus Vulnerabilität (**2**) mal Exposition (**2**), somit **2 × 2 = 4** (siehe Spalte 2), eine Eintretenswahrscheinlichkeit von Klasse **3.** Aus der Historik ist kein Ereignis bekannt. Die Eintretenswahrscheinlichkeit bleibt bei Klasse **3**.

[10] Aus Proske, D. (2022). Katalog der Risiken: Risiken und ihre Darstellung. Springer

3.2 Schadensausmass

Die Klassifizierung des Schadensausmasses folgt einer adaptierten Version der von Eskensen et al. (2004) und Stille (2017) entwickelten qualitativen Verfahren zur schnellen Bewertung von Risiken.[11]

Klasse	Bezeichnung	Beschrieb, Schäden Leib und Leben oder Sachschäden
100	Katastrophal	Mehr als 10 schwere Verletzungen oder Sachschäden > 3 MCHF
60	Gravierend	Zwischen 1 und 10 schwere Verletzungen oder Sachschäden zwischen 300 TCHF und 3 MCHF
25	Schwer	Mindestens eine schwere Verletzung oder Sachschäden zwischen 30 TCHF und 300 TCHF
10	Erhöht	Im Allgemeinen keine Verletzungen oder Sachschäden zwischen 3 TCHF und 30 TCHF
2	Insignifikant	Keine Verletzungen oder Sachschäden < 3 TCHF

Tabelle 4: Schadensausmass

Quelle: SOB (2025). Hinweis: Eine schwere Verletzung beinhaltet mögliche Todesfälle.

Ein Schaden an diesem Stellwerk inklusive Sofortmassnahmen und Betriebsausfall wird von SA-Experten als schwer klassifiziert (Klasse **25**).

[11] Aus Proske, D. (2022). Katalog der Risiken: Risiken und ihre Darstellung. Springer

3.3 Ergebnis Risiko

Wie eingangs dieses Kapitels erwähnt, wird das Risiko durch die einfache Formel Eintrittswahrscheinlichkeit × Schadensausmass bewertet. In Anlehnung an die Tabellen nach Hicks erfolgt die Einstufung wie folgt:

Risiko	Stufe	Massnahmen
> 399	Extremes Risiko	Nicht tolerierbar; sofortige Massnahmen erforderlich, um das Risiko zu reduzieren
100–399	Hohes Risiko	Langfristig nicht akzeptabel; Risikoreduktionsmassnahmen müssen umgesetzt werden
30–99	Mittleres Risiko	Unerwünscht; Bewertung und Planung von Risikominderungsmassnahmen auf lange Sicht
< 30	Niedriges Risiko	Keine Massnahmen erforderlich; periodische Überprüfung, um das niedrige Niveau zu halten

Tabelle 5: Risiko

Quelle: Shortreed et al. (2003)

In unserem Beispiel liegt nun mit **3 × 25 = 75** also ein mittleres Risiko vor. Bei einer nächsten Instandsetzung wird durch eine verbesserte Entwässerung und andere noch zu bestimmende technische Lösungen das Risiko minimiert.

Hinweis: Diese einfache qualitative Analyse muss für jede Anlage separat durchgeführt werden. Bei einer geringen Anzahl von Anlagen im Netz kann sie eine effiziente Methode darstellen, um eine erste Klassifizierung vorzunehmen und gegebenenfalls Massnahmen einzuleiten. Mögliche Massnahmen sind in Kapitel 7 «Anpassungsmassnahmen» beschrieben. Denkbar ist auch eine technologisch-antizipative Massnahme, wie ein Frühwarnsystem mit anschliessendem Troubleshooting-Prozess.

9.2 Beispiel Achszähler (SBB)

Schritt 1: Vulnerabilitätsanalyse

Die SBB haben die Störungsmeldungen für Achszähler der Jahre 2018 bis Mitte 2023 analysiert. Aus der Störungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Temperatur haben sie die Vulnerabilität gegenüber Hitze der einzelnen Anlagen abgeleitet. Die Daten zeigen, dass bei hohen Temperaturen mehr Störungen auftreten. Generell kann man feststellen, dass die Störungswahrscheinlichkeit an Tagen mit über 30 Grad Celsius Maximaltemperatur (Hitzetag) gut doppelt so hoch ist wie an Nichthitzetagen. Dieser Unterschied ist statistisch hochsignifikant. Es gibt sogar Achszähler, welche eine ca. 4-mal so hohe Störungswahrscheinlichkeit an Hitzetagen aufweisen als an Nichthitzetagen. Fazit: Die Achszähler sind vulnerabel gegenüber Hitze. Die Bewertung ist «Grosse Auswirkung» (rot oder 4).

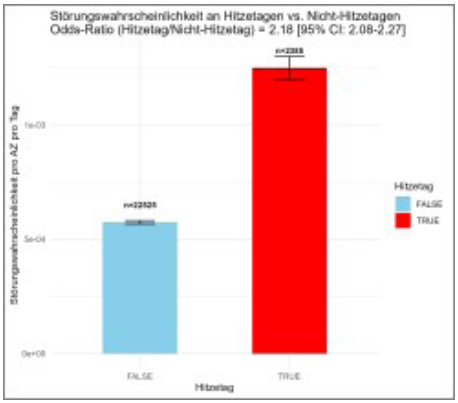


Abbildung 12: Störungswahrscheinlichkeit Achszähler bei Nichthitzetagen und bei Hitzetagen

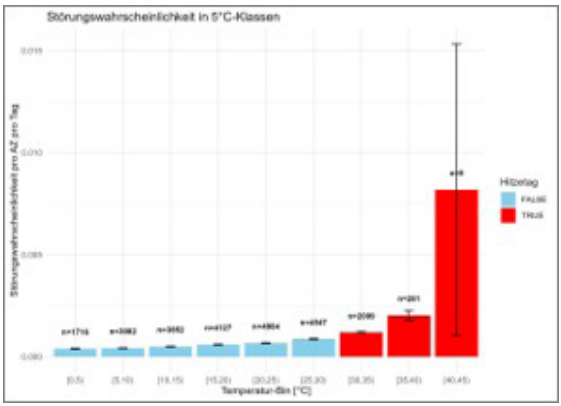


Abbildung 13: Störungswahrscheinlichkeit Achszähler in 5-Grad-Celsius-Klassen

Quelle: SBB (2025)

Schritt 2: Expositionsanalyse

- Heute sind Achszähler der SBB in allen Schweizer Regionen von rund 10 Hitzetagen betroffen.
- 2060 erfährt ein Grossteil der Achszähler bereits mehr als 30 Hitzetage, ausser am Alpennordhang. 2085 ist der allergrösste Teil der Achszähler bereits von mehr als 50 Hitzetagen betroffen, ausser am Alpennordhang.

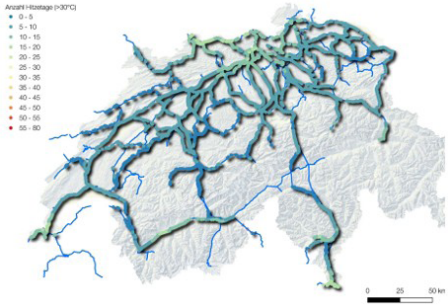


Abbildung 14: Hitze-exponierte Achszähler 2010

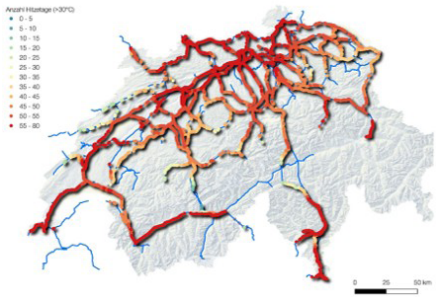


Abbildung 15: Hitze-exponierte Achszähler 2085

RCP8.5	Klimakennwert	Jura (3'611)	Inneralpin (1'760)	Mittelland (19'758)	Alpensüdhang (3'356)	Alpennordhang (4'464)
2010	Anzahl Anlagen mit mittlerer Jahrestemperatur > 11°C	673 18.6	0 0.0	968 4.9	2'247 67.0	0 0.0
	Anzahl Anlagen mit > 10 Hitzetage pro Jahr	1'997 55.3	560 31.8	4'589 23.2	1'082 32.2	117 2.6
	Anzahl Anlagen mit > 20 Hitzetage pro Jahr	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0
	Anzahl Anlagen mit > 30 Hitzetage pro Jahr	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0
	Anzahl Anlagen mit > 40 Hitzetage pro Jahr	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0
	Anzahl Anlagen mit > 50 Hitzetage pro Jahr	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0
2060	Anzahl Anlagen mit mittlerer Jahrestemperatur > 11°C	3'313 91.7	1'382 78.5	19'422 98.3	2'770 82.5	3'551 79.5
	Anzahl Anlagen mit > 10 Hitzetage pro Jahr	3'471 96.1	1'398 79.4	19'758 100.0	2'947 87.8	3'833 85.9
	Anzahl Anlagen mit > 20 Hitzetage pro Jahr	3'222 89.2	1'371 77.9	19'053 96.4	2'537 75.6	3'489 78.2
	Anzahl Anlagen mit > 30 Hitzetage pro Jahr	2'339 64.8	1'272 72.3	9'089 46.0	1'767 52.7	300 6.7
	Anzahl Anlagen mit > 40 Hitzetage pro Jahr	984 27.3	399 22.7	1'070 5.4	903 26.9	0 0.0
	Anzahl Anlagen mit > 50 Hitzetage pro Jahr	0 0.0	20 1.1	0 0.0	32 1.0	0 0.0
2085	Anzahl Anlagen mit mittlerer Jahrestemperatur > 11°C	3'587 99.3	1'458 82.8	19'758 100.0	3'072 91.5	4'195 94.0
	Anzahl Anlagen mit > 10 Hitzetage pro Jahr	3'608 99.9	1'466 83.3	19'758 100.0	3'190 95.1	4'248 95.2
	Anzahl Anlagen mit > 20 Hitzetage pro Jahr	3'554 98.4	1'460 83.0	19'758 100.0	3'093 92.2	4'084 91.5
	Anzahl Anlagen mit > 30 Hitzetage pro Jahr	3'394 94.0	1'390 79.0	19'737 99.9	2'932 87.4	3'790 84.9
	Anzahl Anlagen mit > 40 Hitzetage pro Jahr	3'244 89.8	1'386 78.8	19'112 96.7	2'709 80.7	3'504 78.5
	Anzahl Anlagen mit > 50 Hitzetage pro Jahr	2'816 78.0	1'313 74.6	14'916 75.5	2'506 74.7	1'171 26.2

Abbildung 16: Hitze-exponierte Achszähler nach Jahr und Region

Quelle: meteotest (2024)

Schritt 3: Kritikalitätsanalyse

- Je mehr Kunden über einen Achszähler befördert werden, desto grösser ist die Auswirkung bei Unterbrüchen.
- Die Kritikalität wird über eine Belastungskennzahl definiert, die sich aus der Anzahl Reise-, Güter-, Dienstzüge, Rangierfahrten, Passagiere sowie dem Gewicht der Güterzüge zusammensetzt.
- Jedes Gleis bzw. der darauf liegende Achszähler erhält so seine individuelle Kritikalität.
- Die Gesamtpopulation der Achszähler wurde in fünf Belastungsklassen eingeteilt. Bei den rot hinterlegten Achszählern haben Unterbrüche die grössten Auswirkungen.
- Die Kombination von Exposition und Kritikalität zeigt, welche Achszähler künftig am stärksten der Hitze ausgesetzt sind und gleichzeitig am stärksten belastet sind.
- Von den knapp 18'500 eingestuften Zählpunkten befinden sich rund 5% in der höchsten Kritikalitätsklasse (höchste Kritikalität und Exposition).

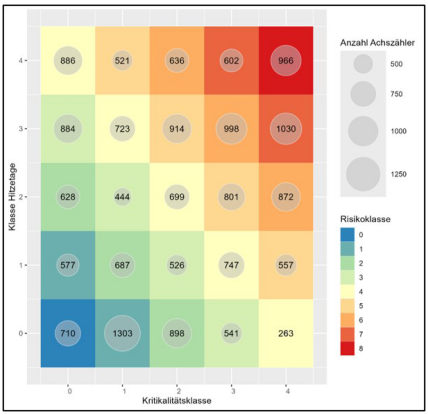


Abbildung 17: Kritikalitätsmatrix Achszähler (2085, RCP 8,5)

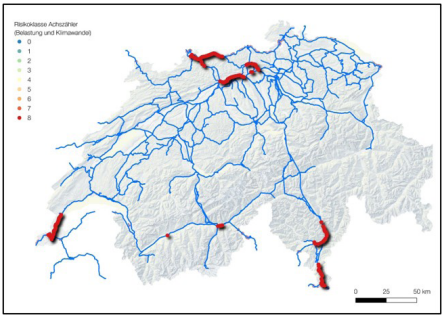


Abbildung 18: Übersicht über Achszähler mit der höchsten Anzahl Hitzetage und der höchsten Kritikalitätsklasse

Quelle: SBB (2024)

Beispiel Genferseebogen: Bei einem einstündigen Ausfall wären ca. 9 Züge betroffen. Bei einer Verspätung von 30 min pro Zug und x CHF pro ZVmin käme man auf y Verspätungsminuten bzw. z CHF. Legt man die Reisenden zugrunde, kommt man bei 1500 betroffenen Reisenden auf 45'000 RVmin bzw. z CHF.

Schritt 4: Klima-Risikoanalyse

- Im Zeitraum 2018–2022 wurden 22’525 Störungen mit insgesamt 201’500 ZVmin an Nichthitzetagen und 2385 Störungen und 27’000 ZVmin an Hitzetagen detektiert. Das entspricht 9 ZVmin pro Störung an Nichthitzetagen und 11 ZVmin pro Störung an Hitzetagen. Bei Kosten von x CHF/ZVmin resultieren y CHF pro Störung.
- Um das temperaturbedingte Risiko zu berechnen, subtrahiert man das Baseline-Störungsrisiko. Da die Wahrscheinlichkeit an Hitzetagen gut doppelt so hoch ist, kann man das Risiko einfach halbieren.

Jahr	Geräte-hitzetage*	Störungswahrscheinlichkeit Hitzetag**	Störungswahrscheinlichkeit Nichthitzetag***	Störungswahrscheinlichkeit temperaturbedingt****	Anzahl Störungen pro Jahr (temperaturbedingt)	ZVmin pro Störung (Mittel 2018–2022)	ZVmin pro Jahr	Monetarisiertes Risiko pro Jahr (CHF)
2010	173’012	0,0012	0,00057	bedingt****	117	9	1071	A
2022	381’674	0,0012	0,00057	0,00067	258	9	2364	B
2060	629’151	0,0012	0,00057	0,00067	425	9	3896	C
2085	1’121’102	0,0012	0,00057	0,00067	757	9	6943	D

Abbildung 19: Klima-Risikoanalyse

* Summe aller Hitzetage, welchen alle Achszähler auf dem SBB-Netz während einem Jahr ausgesetzt sind
** Wahrscheinlichkeit einer Störung aller Achszähler bei einer Temperatur über 30 Grad Celsius
*** Wahrscheinlichkeit einer Störung aller Achszähler bei einer Temperatur unter 30 Grad Celsius
**** Wahrscheinlichkeit einer Störung aller Achszähler aufgrund einer Temperatur über 30 Grad Celsius
Quelle: SBB (2025)

- Im Vergleich zu 2022 werden mit der heutigen Ausrüstung in 2085 3-mal so viele temperaturbedingte Störungen verursacht. Das Risiko pro Jahr verdreifacht sich (unter der Annahme, dass 2085 das gleiche Equipment verbaut ist wie heute).
- Das Risiko kann verfeinert werden, beispielsweise mit Belastungskennzahlen (vgl. Kritikalitätsanalyse, unterschiedliche Achszählertypen).

10 Anhang

10.1 Weitere Ansätze zur Ermittlung zukünftiger Schadenskosten

Ansatz SNCF Réseau

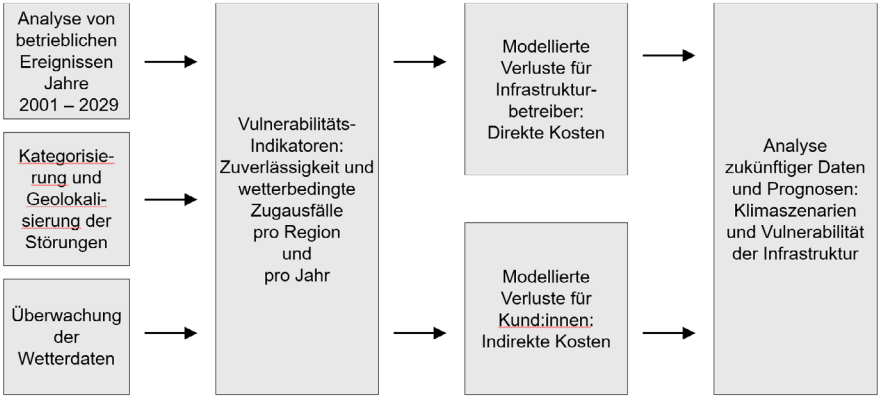


Abbildung 20: Überblick Ereignisse, Wetterdaten und Verluste

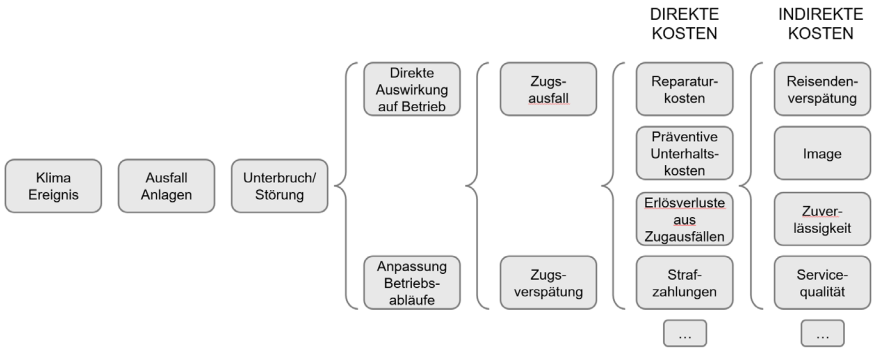
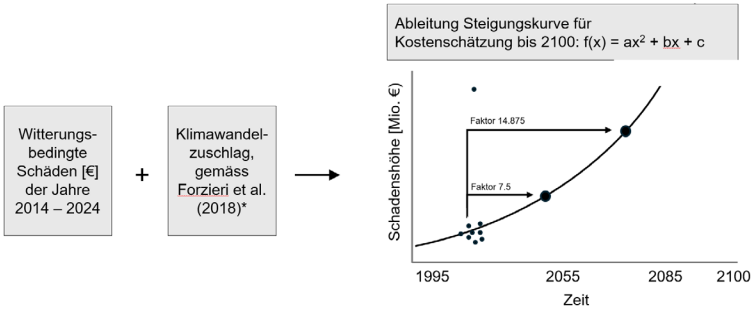


Abbildung 21: Ablaufschema zur Ermittlung der direkten und indirekten Kosten

Quelle: In Anlehnung an SNCF Réseau, Julien Brunel, Marc Georges Develter, Thaynara Silva (2026)

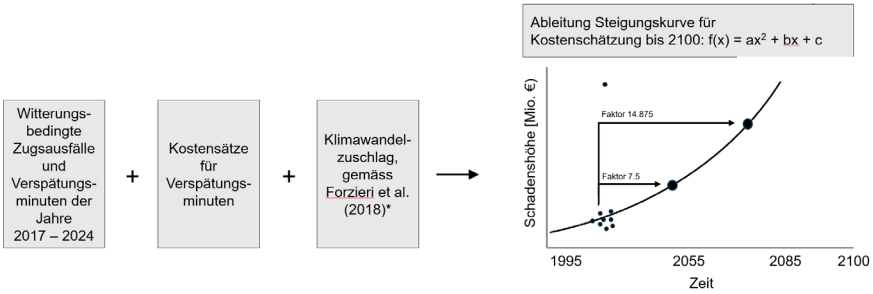
Ansatz DB InfraGO



* Zunahme extremwetterbedingte Schäden der Verkehrsinfrastruktur in Europa (ohne Anpassung) steigt um das 7.5-fache (für Zeitraum 2041-70) und das 14.875-fache (für Zeitraum 2071-2100)

Abbildung 22: Kostenschätzung für witterungsbedingte Schäden

Quelle: In Anlehnung an DB InfraGO, Frederick Bott, I.IIG 41, 12/2025



* Zunahme extremwetterbedingte Schäden der Verkehrsinfrastruktur in Europa (ohne Anpassung) steigt um das 7.5-fache (für Zeitraum 2041-70) und das 14.875-fache (für Zeitraum 2071-2100)

Abbildung 23: Kostenschätzung für witterungsbedingte Zugsausfälle und Verspätungsminuten

Quelle: In Anlehnung an DB InfraGO, Frederick Bott, I.IIG 41, 12/2025

10.2 Angaben zum Dokument

Herausgabe-Datum: 30. September 2026

Version: V1; von KIS am 25.Juni 2026 genehmigt

Mitglieder der Arbeitsgruppe «Adaption Klimawandel»:

SOB:	Gregory Limburg, Philipp Anderegg
MGB:	Fabian Nellen, Christoph Jekelmann
BERNMOBIL:	Tobias Ganz, Gregory Limburg
VöV:	Bettina Meury
SBB:	Andreas Heller (CoL AGr “AK”)
BLS:	Marc Hächler (CoL AGr «AK»)

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kernaussagen NCCS 8
Abbildung 2: Wirkungskette «Weniger Schnee» 11
Abbildung 3: Wirkungsketten «Trockenere Sommer», «Extremere Hitze» und «Mehr Starkniederschläge» 12
Abbildung 4: Wirkungskette «Extremere Hitze» 13
Abbildung 5: Anpassungsprozess 15
Abbildung 6: Beispiel einer Heatmap 17
Abbildung 7: Beispiel strukturierter und georeferenzierter Anlagendaten 22
Abbildung 8: Gegenüber zunehmenden Hitzetagen (heat days [hd]) exponierte (z.B. Chiasso) und kaum exponierte Bahnhöfe (Göschenen) für die Referenzperiode (2010) und 2060/2085 22
Abbildung 9: Beispiel für eine einfache Risikomatrix 25
Abbildung 10: Vorgehen 30
Abbildung 11: Gefahrenkarte 33
Abbildung 12: Störungswahrscheinlichkeit Achszähler bei Nichthitzetagen und bei Hitzetagen 37
Abbildung 13: Störungswahrscheinlichkeit Achszähler in 5-Grad-Celsius-Klassen 37
Abbildung 14: Hitze-exponierte Achszähler 2010 38
Abbildung 15: Hitze-exponierte Achszähler 2085 38
Abbildung 16: Hitze-exponierte Achszähler nach Jahr und Region 38
Abbildung 17: Kritikalitätsmatrix Achszähler (2085, RCP 8,5) 39
Abbildung 18: Übersicht über Achszähler mit der höchsten Anzahl Hitzetage und der höchsten Kritikalitätsklasse 39
Abbildung 19: Klima-Risikoanalyse 40
Abbildung 20: Überblick Ereignisse, Wetterdaten und Verluste 41
Abbildung 21: Ablaufschema zur Ermittlung der direkten und indirekten Kosten 41
Abbildung 22: Kostenschätzung für witterungsbedingte Schäden 42
Abbildung 23: Kostenschätzung für witterungsbedingte Zugsausfälle und Verspätungsminuten 42

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anpassungsmassnahmen 29
Tabelle 2: Exposition 33
Tabelle 3: Eintretenswahrscheinlichkeit 34
Tabelle 4: Schadensausmass 35
Tabelle 5: Risiko 36

13 Quellen

BAFU (2025). Klima-Risikoanalyse für die Schweiz. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/uw-umwelt-wissen/klima-risikoanalyse.pdf.download.pdf/UW-2502-D_KlimaRisikoanalyse.pdf

NCCS (2025). https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien/ch2018-webatlas.html

Shortreed J, Hicks J & Craig L (2003). Basic framework for Risk Management

– Final report. March 28, 2003, Network for environmental risk assessment and management. Prepared for the Ontario Ministry of the Environment

Eskensen S, Tengborg P, Kampman J, Veicherts T.H. (2004). Guidelines

for tunnelling risk management. International Tunnelling Association, Working group No. Tunnelling and Underground Space Technology 19, S 217–237

Stille H (2017). Geological Uncertainties in Tunnelling – Risk Assessment and Quality Assurance, Sir Muir Wood Lecture 2017, April 2017, International Tunnelling and Underground Space Association, Lausanne




106
55
52

VÖV UTP

Verband öffentlicher Verkehr
Union des transports publics
Unione dei trasporti pubblici

Dählhölzliweg 12
3005 Bern

www.voev.ch
info@voev.ch

September 2026