

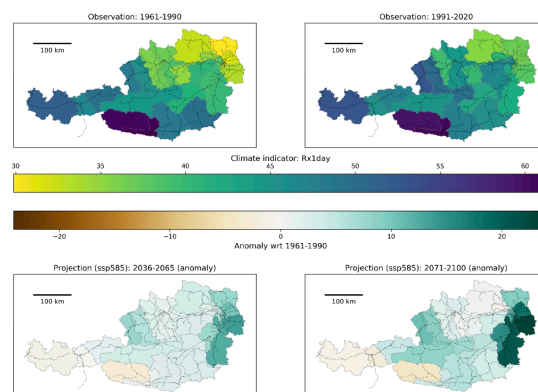
clim_ect

Klimawirkanalysen entlang der ÖBB-Bahnstrecken

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2018
(VIF2018)

Executive Summary | Dezember 2021

Tabea FIAN
Georg HAUGER
Stephan HÖRBINGER
Sebastian LEHNER
Christoph MATULLA
Helene MÜLLER
Hans Peter RAUCH
Christian WALLY



Hintergrund

Klimaänderungen und die zu erwartenden Entwicklungen wetterinduzierter Naturgefahren wirken sich auf die Sicherheit und Verfügbarkeit des Streckennetzes der ÖBB-Infrastruktur AG aus und stellen den Infrastrukturbetreiber vor die Herausforderung der Aufrechterhaltung eines hohen Schutzniveaus in den kommenden Dekaden. Basierend auf der Dokumentation wetterinduzierter Schadereignisse entlang des ÖBB-Schienennetzes erfolgt im Projekt „clim_ect“ die modellbasierte Abschätzung von wetterinduzierten Naturgefahren für den kurz- und langfristigen Betrachtungszeitraum. Darauf aufbauend werden Maßnahmen vorgeschlagen, um künftig das Risiko von wetterinduzierten Schäden entlang des ÖBB-Schienennetzes zu reduzieren bzw. zu vermeiden. Wetterinduzierte Gefahrprozesse sind – je nach Streckenabschnitt – beispielsweise Hangrutschungen, Hitzetage, Steinschläge, Sturzfluten oder großräumige Überflutungen. Zur Erreichung der Ziele war es zunächst erforderlich, den von der ÖBB geführten Schadereigniskataster, welcher ab 1990 für verschiedene Streckenabschnitte, nach Schadereigniskategorien unterschieden, deren Eintritt festhält, aufzubereiten. Dieser räumlich, nach Streckenabschnitten und Schadereignisart differenzierte Datensatz wurde dann mit den – den jeweiligen Schadereignissen – vorhergegangenen meteorologischen Entwicklungen (z.B. Niederschlagssummen oder Höchsttemperaturen der Tage vor dem Schadereignis) verschnitten. Dabei wurden die meteorologischen Entwicklungen auf Basis des Umfangs der Beobachtungen der jeweiligen Schadereignisart statistisch analysiert und charakteristische Abfolgen meteorologischer Größen (z.B. Sequenzen von Tagen vor dem Ereigniseintritt mit mehr und weniger hohen Niederschlagssummen oder Tageshöchsttemperaturen) identifiziert. Für die verschiedenen – in der Vergangenheit festgehaltenen – Schadereignisse stehen so also charakteristische Abfolgen oder Muster meteorologischer Größen zur Verfügung, die mit deren Eintreten im Zusammenhang stehen.

Will man nun künftige Entwicklungen von Schadereignissen abschätzen, sucht man die induzierenden Wetterentwicklungen in sogenannten Klimaprojektionen. Diese beruhen auf verschiedenen Annahmen, welche Bevölkerungswachstum, dessen Energiebedarf oder dessen Kommunikationsverhalten (rascher oder weniger zügigerer Austausch ‚grüne‘ Technologien, usw.) in der Zukunft berücksichtigen. Oft betrachtet man – um eine ausreichende Bandbreite künftiger Entwicklungen abzudecken – zwei Szenarien mit denen globale Klimamodelle, deren Ergebnisse dann noch regionalisiert werden müssen, angetrieben werden: a) das „business as usual“ Szenario, bei dem die Menschheit einfach so weiter macht, wie bisher – als gäbe es keinen Klimawandel – und b) das sogenannte ‚Paris 2 Grad Ziel‘ bei dem die Weltregierungen versuchen, die globale Erderwärmung auf unter 2 Grad (idealerweise auf 1,5 Grad) gegenüber der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu beschränken. Betrachtet man den Korridor, der von diesen Szenarien aufgespannt wird, und die damit einhergehenden Konsequenzen auf regionaler und lokaler Ebene, kann man daraus Maßnahmen zum Schutze der Bevölkerung und Infrastruktur ableiten. Dieses Konzept bezeichnet man als Adaption an den Klimawandel. Natürlich muss dabei auch das Konzept der ‚Mitigation‘, also der Abschwächung des Klimawandels – durch massive Reduktion der anthropogenen Treibhausgasemissionen – berücksichtigt werden. Im Projekt „clim_ect“, welches vom Climate Impact Team (CIT) an der Klimaforschungsabteilung (KLFOR) am österreichischen Wetter und Geodynamischen Dienst (ZAMG), zusammen dem Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der BOKU unter der Gesamtleitung des Fachbereiches für Verkehrssystemplanung der TU Wien im intensiven Austausch mit der ÖBB-Infrastruktur AG durchgeführt wurde, ist auf eine Reihe wetterinduzierter Naturereignisse, welche Bedrohungen für Fahrgäste und die Sicherheit von ÖBB Infrastruktur darstellen, eingegangen worden.

Aufgabenstellung

Klimaänderungen wirken sich stark auf das Naturgefahrenpotenzial aus und müssen im Risikomanagement der ÖBB zukünftig verstärkt berücksichtigt werden. Basierend auf a) historischen, wetterinduzierten Schadereignissen entlang der ÖBB-Bahnstrecken und b) hochaufgelösten meteorologischen Beobachtungen, erfolgt die Etablierung von Modellen für bestimmte Schadereignis-Kategorien und die ASC-Regionen. Darauf aufbauend kann die Abschätzungen entsprechender Naturgefahr-Entwicklungen für die nahe Zukunft (2036-2065) und ferne Zukunft (2071-2100) abgeschätzt werden. Im Zusammenhang damit stehen auch vegetationsstechnische Fragen. Vegetationsstrukturen an

Bahnbegleitflächen bieten ein breites Spektrum an Ökosystemdienstleistungen, die für einen Infrastrukturbetreiber einen Mehrwert bzw. Nutzen darstellen. Im Rahmen des Projekts clim_ect wurden insbesondere die Schutzfunktionen der Vegetation zur Verringerung des Schadenpotentials von Naturereignissen betrachtet. Diese „grünen“ Schutzwirkungen entfalten sich, wenn sich auf den Bahnbegleitflächen vitale, widerstandsfähige Bestände und Bestandsstrukturen entwickeln. Die Auswirkungen des Klimawandels führen zu Veränderungen in den heimischen Wäldern, was auch Folgen für die Erfüllung der Schutzfunktionen der Vegetation hat.

Rahmenbedingungen

Der ÖBB-Datengrundlage entsprechend wurden die Schadkategorien, Hochwasser, Mure, Steinschlag, Wind und Schnee im Detail analysiert und deren Entwicklung in der Zukunft charakterisiert. Die durchgeführten Analysen sind räumlich auf die ASC Teilregionen des ÖBB-Schiennetzes und zeitlich auf meteorologische Saisonen bezogen. Um unterschiedliche zukünftige Entwicklungen abbilden zu können, wurden verschiedene Zukunftsszenarien verwen-

det. Diese spannen einen Raum an möglichen Entwicklungen auf und erlauben damit eine Abschätzung je nach sozial-gesellschaftlicher Entwicklung. Die verwendeten Szenarien reichen dabei von einem klimafreundlichen Szenario (SSP126), über ein gemäßigtes Szenario (SSP245) bis hin zu einem eher klimafeindlichen und einem fossilen Szenario (SSP370, SSP585) und decken somit den breiten Raum der Möglichkeiten ab.

Methodik

Die Detektion von Wettersequenzen, welche schadauslösenden Ereignissen vorangehen, wurde über multivariate statistische Analysen durchgeführt. Die dabei gefundenen Wetterverläufe charakterisieren den Wetterverlauf in der Woche vor Schadereignissen. Diese Muster wurden in Validierungsexperimenten auf ihre Belastbarkeit getestet. In einem zweiten Schritt wurden in Klimamodellen diese Wettersequenzen gesucht und die Änderung in ihrer Anzahl des Auftretens gegenüber der Vergangenheit festgehalten. Diese Änderung, bezeichnet als Gefährdungskorridor, gibt die sich ändernde Risikolandschaft der entsprechenden Naturgefahr wieder. Darauf aufbauend wurden auch Maßnahmen entwickelt, um die Vegetation auf regionaler Ebene an die sich verändernden Standortbedingungen anzupassen. Auf Basis langjähriger Datenreihen, Kartierungen von Ereignis-

sen und kleinräumiger Klimawandelprognosen konnten konkrete Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Vegetation erarbeitet werden, um die Schutzfunktionen und die nachhaltige Sicherung von Schutzwäldern durch die Auswahl klimafitter Arten zu fördern. Als Grundlage dafür wurden die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

- Aufbau einer umfangreichen Vegetationsdatenbank mit Klassifizierung unterschiedlichster Merkmale und Eigenschaften.
- Berechnung sogenannter Klimahüllen für ausgewählte Arten, die eine Prognose bezüglich der Widerstandsfähigkeit der einzelnen Arten gegenüber Veränderungen durch den Klimawandel ermöglichen.

- Ableitung von vegetationstechnischen Maßnahmen unter der Berücksichtigung der Prognose für die einzelnen Naturgefahrenprozesse und Erstellung eines Maßnahmenkatalogs.

Darüber hinaus wurden anhand des etablierten Disaster-Management-Cycles speziell für die Anforderungen der

Ergebnisse und Erkenntnisse

Die gefundenen Wettersequenzen skizzieren physikalisch verständlich die Triggermechanismen der verschiedenen, für die ÖBB-Infrastruktur relevanten, Schadkategorien. Durch die Validierungsexperimente wurde die Belastbarkeit dieser Muster bestätigt. Des Weiteren decken sich diese Ergebnisse mit Erkenntnissen aus anderen, jedoch vergleichbaren, wissenschaftlichen Arbeiten.

Die Gefährdungskorridore zeigen ein weitgehend konsistent verlaufendes Gefahrenpotential auf, wonach dieses Gefahrenpotential, vor allem bezogen auf Extremwetterereignisse mit weniger Klimaschutz, immer weiter zunimmt. Dies zeigt sich für alle untersuchten Schadkategorien, außer für die Kategorie Wind. Für letztere überwiegt die Variabilität und es ist kein eindeutiger Trend sichtbar.

Regional lassen sich eindeutige Unterschiede erkennen: Vor allem im Alpenraum liegt dabei eine Erhöhung des Gefahrenpotentials vor, wobei je nach Schadkategorie die Zentralalpen, oder Südösterreich besonders stark betroffen sind. Geringe Zunahmen des Gefahrenpotentials liegen dabei selbst in dem klimafreundlichen Szenario vor, weswegen eine entsprechendes Risikomanagement unerlässlich ist.

Um eine zukünftige Risikoeinschätzung tiefergehend zu präzisieren, wird eine Verschneidung der clim_ect Projektergebnisse mit Naturgefahrenhinweiskarten sowie betriebsinternen Daten empfohlen.

Die Ergebnisse des Projektes zeigen von ingenieurbiologischer Seite, dass Laubholzarten tendenziell in Zukunft besser an die sich ändernden Standortbedingungen angepasst sind als Nadelhölzer. Die Tendenzen weisen allerdings

ÖBB Infrastruktur AG konkrete Strategien für eine zielgerichtete Risikoeinschätzung bezüglich wetterinduzierter Naturgefahren vorgeschlagen, deren Umsetzung künftig von der ÖBB empfohlen wird.

große regionale Unterschiede auf. Deutliche regionale Zuwächse in ihrem potentiellen natürlichen Verbreitungsgebiet können beispielsweise Edelkastanie (*Castanea sativa*), Feldulme (*Ulmus minor*), Elsbeere (*Sorbus torminalis*), Silberpappel (*Populus alba*) und Mannaesche (*Fraxinus ornus*) verzeichnen. Demgegenüber stehen Sandbirke (*Betula pendula*), Moorbirke (*Betula pubescens*) und Grünerle (*Alnus viridis*), denen eine starke Abnahme bis hin zu einem mehrheitlichen Verschwinden prognostiziert wird.

Nadelholzarten zeigen innerhalb der untersuchten Perioden und Szenarien im allgemeinen höhere Verluste der potentiellen natürlichen Standorte als Laubholzarten. Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) und Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) werden innerhalb der Nadelhölzer die geringeren Rückgänge prognostiziert. Für Standorte der Europäischen Lärche (*Larix decidua*) und vor allem der Fichte (*Picea abies*) zeigt sich eine klar negative Tendenz.

Die Ergebnisse des Projekts zeigen nicht nur die zukünftige Entwicklung der Arten in den ASC-Regionen, sondern auch, welche Baumarten zur Schutzwaldwirkung für die untersuchten Ereigniskategorien beitragen. Anhand der Ergebnisse wird auf regionaler Ebene aufgezeigt, welche Baumarten zum Schutz vor den jeweiligen Naturgefahren am betreffenden ASC-Standort gefördert werden sollten. Kombiniert mit dem Wissen des Betriebspersonals vor Ort (Förster) können die regionalspezifischen Ergebnisse aus den Klimahüllen als Ausgangspunkt für standortspezifische Bewirtschaftungskonzepte genutzt werden.

Gesamtbewertung des Gefährdungspotentials der ASC-Standorte hinsichtlich wetterinduzierter Schadereignisse

In der folgenden Abbildung findet sich eine Einschätzung über das Gefährdungspotential der 26 ASC-Standort hinsichtlich wetterinduzierter Schadereignisse in Form einer Bewertungsmatrix. Die Einschätzung beruht auf den wissenschaftlich fundierten, evidenzbasierten Ergebnissen des Projektes „clim_ect“. Die detaillierten Auswertungen, auf denen die Bewertungsmatrix beruht, finden sich im Ergebnisbericht des Projektes.

Was zeigt die Bewertungsmatrix?

Zunächst findet sich eine Angabe zur Anzahl der Streckenkilometer im jeweiligen ASC-Standort, um eine Vergleichbarkeit der ASC-Standort in Bezug auf ihre Größe zu ermöglichen. Im Abschnitt Vergangenheit findet sich eine Übersicht zur ‚Belastung‘ der ASC-Standorte durch wetterinduzierte Schadereignisse im Zeitraum von 1990 bis 2019. In Form eines Ampelsystems wird aufgezeigt, ob der ASC-Standort hinsichtlich Ereignisdichte (Anzahl der Schadereignisse im ASC/Anzahl der Streckenkilometer), Streckenunterbrechungen, Kosten vergleichsweise stark (roter Kreis), neutral (gelber Kreis) oder schwach (grüner Kreis) belastet war. Nach demselben Ampel-Schema werden auch die wetterinduzierten Schadereignisse in der Vergangenheit dargestellt. Rot

hinterlegt sind jene Bereiche, die im Vergleich mit allen anderen ASC-Standorten eine besonders hohe Belastung in der Vergangenheit aufwiesen.

In den beiden Abschnitten „nahe Zukunft“ (2036-2065) sowie „ferne Zukunft“ (2071 bis 2100) findet sich eine Einschätzung, wie sich ausgewählte Klimaindikatoren in der Zukunft im ASC-Standort entwickelt werden. Zu den Klimaindikatoren zählen Frosttage, Hitzetage, Jahresmitteltemperatur sowie Indizes über den Niederschlag. Zudem findet sich eine Einschätzung, wie sich einzelne Schadereigniskategorien entwickeln werden. Zu diesen zählen Wind-Sturm, Schnee, Mure, Überflutung und Steinschlag. Die Einschätzung wird in Form von Pfeilen dargestellt, wobei ein Pfeil nach oben eine Zunahme, ein horizontaler Pfeil eine neutrale Entwicklung und ein nach unten gerichteter Pfeil eine tendenzielle Abnahme des Klimaindikatoren bzw. der Anzahl der Schadereignisse im ASC-Standort symbolisiert. Zuletzt erfolgt eine ASC-Standort-Gesamtbewertung (je dunkler, desto höher das Gefährdungspotential), in der das grundsätzliche Gefährdungspotential von allen ASC-Standorten eingeschätzt und verglichen wird. Auf Basis dieser Einschätzung zeigt sich, dass die ASC-Standorte Selzthal, Linz-Kleinmünchen, St. Johann im Pongau und Innsbruck zukünftig das höchste Gefahrenpotential aufweisen werden.

	Amstetten	Altrang	Bludenz	Bruck/Lelitha	Flörsdorf	Gloggnitz	Graz	Innsbruck	Klagenfurt	Leoben	Linz/Hfz	Linz Kleinmünchen	Meidling	Mistelbach	Salzburg	Selzthal	Sigmundsherberg	Spittal	St. Pölten	St. Johann im Pongau	Tulln	Villach	Weis	Wien ZVBF	Wörgl	Wr. Neustadt
ASC-Standort																										
ASC-Standort: Länge (km)	225	266	265	217	198	133	265	135	330	184	253	250	150	278	130	148	194	173	161	214	189	151	245	123	146	290
VERGANGENHEIT																										
Ereignisdichte (Schadereignisse/km)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Schadereignis-Kosten (€)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Streckenunterbrechung (h)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ereignisse Wind-Sturm	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ereignisse Schnee	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ereignisse Mure	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ereignisse Überflutung	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ereignisse Steinschlag	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
NAHE ZUKUNFT (2016-2065)																										
Frosttage	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Hitzetage	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Jahresmitteltemperatur	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Maximaler 1-Tages-Niederschlag	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Maximaler 5-Tages-Niederschlag	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Starkniederschlagstage	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ereignisse Wind-Sturm	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ereignisse Schnee	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ereignisse Mure	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ereignisse Überflutung	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ereignisse Steinschlag	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
FERNE ZUKUNFT (2071-2100)																										
Frosttage	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Hitzetage	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Jahresmitteltemperatur	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Maximaler 1-Tages-Niederschlag	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Maximaler 5-Tages-Niederschlag	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Starkniederschlagstage	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ereignisse Wind-Sturm	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ereignisse Schnee	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ereignisse Mure	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ereignisse Überflutung	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ereignisse Steinschlag	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Gefahrenpotential ASC-Standort gesamt																										

● positiv im Vergleich zu den anderen ASC-Standorten (in der Vergangenheit)

● neutral im Vergleich zu den anderen ASC-Standorten (in der Vergangenheit)

● negativ im Vergleich zu den anderen ASC-Standorten (in der Vergangenheit)

■ Brennpunkt in der Vergangenheit

↑ Potenziell zunehmendes Eintrittsrisiko für die Ereigniskategorie

→ Potenziell gleichbleibendes Eintrittsrisiko für die Ereigniskategorie

↓ Potenziell abnehmendes Eintrittsrisiko für die Ereigniskategorie

■ Zukünftiger Brennpunkt

■ Brennpunkt in der Vergangenheit

Bewertungsmatrix hinsichtlich des zukünftigen Gefahrenpotentials durch wetterinduzierte Schadereignisse in den SAE ASC-Standorten der ÖBB-Infrastruktur AG.