



SCHLUSSBERICHT –31.08.2023

Wirtschaftliche Verhältnis- mässigkeit von baulichen Massnahmen gegen Er- schütterungen und abge- strahlten Körperschall im Schienenverkehr

Eignung von Fallbeispielen zur Entwicklung
einer Beurteilungsmethodik

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU

Impressum

Empfohlene Zitierweise

Autor: Ecoplan
Titel: Wirtschaftliche Verhältnismässigkeit von baulichen Massnahmen gegen Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall im Schienenverkehr
Untertitel: Eignung von Fallbeispielen zur Entwicklung einer Beurteilungsmethodik
Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt BAFU
Ort: Bern
Datum: 31.08.2023

Ansprechperson Auftraggeber

Michael Gerber, BAFU

Ansprechperson SBB

Yves Brechbühl

Projektteam Ecoplan

Heini Sommer
Matthias Amacher
Simon Schranz

Der Bericht gibt die Auffassung des Projektteams wieder, die nicht notwendigerweise mit derjenigen des Auftraggebers bzw. der Auftraggeberin oder der Begleitorgane übereinstimmen muss.

ECOPLAN AG

Forschung und Beratung
in Wirtschaft und Politik

www.ecoplan.ch

Monbijoustrasse 14
CH - 3011 Bern
Tel +41 31 356 61 61
bern@ecoplan.ch

Dätwylerstrasse 25
CH - 6460 Altdorf
Tel +41 41 870 90 60
altdorf@ecoplan.ch

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Glossar / Abkürzungsverzeichnis	4
1 Einleitung	5
1.1 Ausgangslage, Fragestellung und Zielsetzung	5
1.2 Aufbau des Berichts	5
2 Methode zur Beurteilung der Wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit von baulichen Massnahmen gegen Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall im Schienenverkehr	7
2.1 Bauliche Massnahmen gegen Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall im Schienenverkehr	7
2.2 Pilotversion der Beurteilungsmethode	8
2.3 Zusammenfassung.....	10
3 Fallbeispiele	11
3.1 Abgefragte Daten	11
3.1.1 Allgemeine Angaben	12
3.1.2 Gebäudeeinzeldaten	12
3.2 Vollständigkeit der Daten	13
3.2.1 Allgemeine Angaben	13
3.2.2 Gebäudeeinzeldaten	16
3.3 Auswirkungen der Datenqualität auf die Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit	17
3.4 Beurteilung	18
3.4.1 Beurteilung Repräsentativität	18
3.4.2 Beurteilung Vollständigkeit.....	19
4 Fazit und Empfehlungen	22
4.1.1 Eignung der Fallbeispiele.....	22
4.1.2 Datenanforderungen im Vollzug bzw. Praktikabilität im Einzelfall	23
4.1.3 Empfehlungen im Hinblick auf die nächsten Projektphase.....	23
5 Anhang A – Auswirkungen der Datenqualität auf die Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit	26
5.1 Ergänzung der Datengrundlagen	26
5.1.1 Kosten	27
5.1.2 Betroffenheit.....	32
5.1.3 Wirkung	33
5.1.4 Sonderfaktoren.....	35
5.2 Ergebnisse NKI	36

5.3	Auswirkung der Datenqualität auf die Festlegung eines Schwellenwerts für den NKI	39
	Literaturverzeichnis	42

Glossar / Abkürzungsverzeichnis

Abgestrahlter Körperschall	Durch Vibration eines Schwingkörpers erzeugter sekundärer Schall (Lärm = primärer Schall). Der Frequenzbereich liegt typischerweise zwischen 40 Hz und 250 Hz, teilweise bis ca. 315 Hz. Für die offene Strecke ist bei Messungen im Zimmer ein geeignetes Verfahren zur Trennung vom direkt einfallenden Aussenlärm des Zuges vorzunehmen.
Erschütterung	Durch Vibration erzeugte Bewegungen; heftig rüttelnde Bewegung (ugs.). In Bezug auf Einwirkungen auf den Menschen liegt der Frequenzbereich bei 4 Hz bis 80 Hz (DIN 4150-2).
HMT	Heissmisch-Tragschicht; Bitumenhaltige Sperrschicht unterhalb des Schotters bzw. unterhalb des Oberbaus. Wasserdichte Schicht aus Asphalt. Eine HMT ist zwingende Voraussetzung dafür, dass eine Unterschottermatte eingebaut werden kann.
KB _{Ftr}	Zeitlich quadratischer Mittelwert der maximalen Vibration (Schwinggeschwindigkeit) jeder einzelnen Zugsdurchfahrt gemäss DIN 4150-2. Der KB-Wert ist dimensionslos.
LA _{eq,1h} (Nacht)	Abgestrahlter Körperschall für die Periode Nacht. Um den Maximalpegel in der Nacht zu begrenzen, wird in den Nachtstunden von 22:00-06:00 Uhr jeweils ein L _{eq} -Pegel pro Stunde bestimmt. Der höchste dieser acht Stundenwerte ist massgebend. In dB(A)
LA _{eq,16h} (Tag)	Durchschnittlicher Schallpegel der 16 Stunden von 06:00-22:00 Uhr, in dB(A).
NKI	Nutzwert-Kosten-Index
USM	Unterschottermatte
USP	Schwellenbesohlung mit einer weichen Schicht (Under Sleeper Pads) ¹
VIBRA	Software für die Prognose von Erschütterungs- und Körperschallimmissionen beim Schienenverkehr VIBRA 1: Einfache Abschätzung ohne Messdaten VIBRA 2: Detaillierte Berechnung auf Basis von Messdaten

¹ Bei der Schwellenbesohlung ist zu unterscheiden zwischen einer weichen Schwellenbesohlung zum Erschütterungsschutz und steifen Schwellenbesohlungen als Standardprodukt für Gleise ab einer bestimmten Belastung.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage, Fragestellung und Zielsetzung

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) wurden im Jahr 2019 die Grundlagen für eine Methode zur Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit von baulichen Massnahmen gegen Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall im Schienenverkehr entwickelt (nachfolgend als «Vorstudie» bezeichnet).² Die vorgeschlagene Methode basiert auf einer Nutzwert-Kosten-Analyse, in welcher die Kosten³ einer Massnahme den mit Nutzenpunkten bewerteten Nutzenindikatoren⁴ gegenübergestellt und in einem Nutzwert-Kosten-Index (NKI) zusammengefasst werden.⁵

Um die vorgeschlagene Methode aus der Vorstudie finalisieren zu können, müssten in einer nächsten Projektphase die noch ausstehenden Fragen zur Gewichtung der Nutzenindikatoren geklärt werden sowie der minimal erforderliche Nutzwert-Kosten-Index (NKI-Schwellenwert) anhand konkreter Fallbeispiele gemeinsam mit den betroffenen Bahnunternehmen und dem Bundesamt für Verkehr (BAV) festgelegt werden.

Als Vorbereitung hierzu sind in einem Zwischenschritt die Datengrundlagen für entsprechende Fallbeispiele erstens zu sammeln und aufzubereiten. Zweitens ist auf dieser Basis zu beurteilen, ob die Fallbeispiele geeignet und in ihrer Anzahl ausreichend sind.

Das BAFU wird danach entscheiden, welche Methode zur Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit von baulichen Massnahmen gegen Erschütterung und abgestrahlten Körperschall schlussendlich im Vollzug zum Einsatz kommen soll. Sollte der Entscheid auf die NKI-Methoden fallen, könnte die erwähnte Finalisierung der Beurteilungsmethodik angegangen werden.

1.2 Aufbau des Berichts

Der Bericht ist dazu wie folgt aufgebaut:

- In **Kapitel 2** wird die in der Vorstudie entwickelte Methode zur Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit von baulichen Massnahmen gegen Erschütterung und abgestrahlten Körperschall im Schienenverkehr kurz vorgestellt.

² Ecoplan / Gruner / Swiss TPH (2019), siehe Literaturverzeichnis.

³ Einmalige Investitionskosten, wiederkehrende Betriebs- und Unterhaltskosten, Kosten von Streckenunterbrüchen während Einbau der Massnahme.

⁴ Als Nutzenindikatoren werden die Betroffenheit (Immissionen bei Personen und an Arbeitsplätzen), die Wirkung (Reduktion der Immissionen) und verschiedene Sonderfaktoren (belastete Gebäude mit Sicht auf Gleisanlage, nächtliche Durchfahrten von Güterzügen) berücksichtigt.

⁵ Für Leserinnen und Leser mit Interesse an der vorgeschlagenen Methodik zur Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit empfehlen wir, vorgängig die Vorstudie Ecoplan / Gruner / Swiss TPH (2019) zu konsultieren. Wir verzichten an dieser Stelle auf eine eingehende Erläuterung der vorgeschlagenen Methodik.

- In **Kapitel 3** untersuchen wir die uns von den SBB gemeldeten und zugestellten Fallbeispiele auf ihre Repräsentativität (Abdeckung aller relevanten Situationen) und die einzelnen Fallbeispiele auf ihre Vollständigkeit bezüglich der benötigten Datengrundlagen zur Anwendung der Methode. Die Fallbeispiele wurden aus Datenschutzgründen anonymisiert (Kanton und Laufnummer).
- Im **Kapitel 4** wird die Eignung der Fallbeispiele zur Weiterentwicklung der Beurteilungsmethode beurteilt und es werden Empfehlungen zum weiteren Vorgehen abgegeben.

Im **Anhang A** (Kapitel 5) wird untersucht, wie sich die Datenqualität und Datenvollständigkeit auf den Prozess zur Festlegung eines NKI-Schwellenwerts auswirkt.

2 Methode zur Beurteilung der Wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit von baulichen Massnahmen gegen Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall im Schienenverkehr⁶

2.1 Bauliche Massnahmen gegen Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall im Schienenverkehr

Erschütterungen im Schienenverkehr entstehen beim Kontakt zwischen Schiene und Rad. Sie setzen sich als Schwingung im Erdreich fort und treffen auf die festen Gebäudeaussenhüllen und -fundamente, die im Boden verankert sind. In Abhängigkeit der Bauweise der Gebäude werden diese auf den Geschossdecken unterschiedlich stark verstärkt. Beim Menschen äussern sich diese Vibrationen einerseits in Form von Schüttelbewegungen sowie sekundär in Form von abgestrahltem Körperschall (sekundärer Luftschall). Beides kann Folgen auf das **Wohlbefinden und die Gesundheit** der davon betroffenen Menschen auslösen.⁷ Das Ausmass der beim Menschen ankommenden Erschütterungen oder des abgestrahlten Körperschalls ist von verschiedenen Faktoren abhängig, unter anderem von allfälligen **baulichen Massnahmen** zur Reduktion der Schwingungen.⁸

In der Vorstudie wurden vier bauliche Massnahmen gegen Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall berücksichtigt:⁹

- Weiche Schwellenbesohlung (weiche USP)¹⁰
- Unterschottenmatten (USM)
- Bodenschlitz
- Spundwand

⁶ Das ganze Kapitel 2 basiert auf der Vorstudie von Ecoplan / Gruner / Swiss TPH (2019) und ist teilweise wörtlich übernommen.

⁷ Für eine vertiefte Diskussion der gesundheitlichen Auswirkungen von Erschütterungen und abgestrahltem Körperschall im Schienenverkehr verweisen wir auf Kapitel 3 in Ecoplan / Gruner / Swiss TPH (2019).

⁸ Neben baulichen Massnahmen haben auch der Verkehr (Geschwindigkeit, Fahrplankontakt, Gewicht) und das eingesetzte Rollmaterial, die Gleisbeschaffenheit, die Distanz zwischen Gleis und Gebäude, die Beschaffenheit des Baugrunds («Leitfähigkeit»), die Bausubstanz sowie die Ankopplung und Deckenbeschaffenheit der Gebäude einen Einfluss auf das Ausmass von Erschütterungen und abgestrahltem Körperschall.

⁹ Bis auf die Spundwand kamen diese Massnahmentypen in der Schweiz mindestens einmal zum Einsatz. Die effektiv etablierte Massnahme (Stand der Technik) ist gemäss SBB bisher die USM. Da die Massnahmen Bodenschlitz und Spundwand sich nicht unmittelbar im Gleiskörper befinden, gilt im Hinblick auf die Bewilligungsfähigkeit eine Einzelfallbetrachtung. Für die weiche USP als Element in der Fahrbahn gelten strengere Anforderungen und die Bewilligungsfähigkeit durch das BAV ist noch nicht geklärt.

In der Praxis ist die Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit selbstverständlich nur für jene Massnahmen vorzunehmen, die im konkreten Einzelfall gemäss Stand der Technik physikalisch geeignet sind bzw. zu einer Reduktion der Immissionen führen. Für Massnahmen, die diese Voraussetzung nicht erfüllen, erübrigt sich eine Berechnung der Wirkung (Minderung der Immission), Kosten und Nutzen.

¹⁰ Aufgrund neuer Erkenntnisse ist davon auszugehen, dass beim Einbau der weichen USP eine seitliche Halterung vorzusehen ist. Für die Pilotstudie und die dort hergeleiteten Kostenkenngrössen lagen diese Informationen nicht vor. Entsprechend sind die Kosten für eine seitliche Halterung beim Einbau weicher USP auch im vorliegenden Bericht noch nicht berücksichtigt.

Diese Massnahmentypen weisen alle unterschiedliche **Kosten**, eine unterschiedliche **Wirkung** und dementsprechend einen unterschiedlichen **Nutzen** auf. Für eine vertiefte Diskussion dieser Punkte verweisen wir auf die Vorstudie.¹¹

2.2 Pilotversion der Beurteilungsmethode

Im Rahmen der Vorstudie wurde eine Pilotversion der Beurteilungsmethode entwickelt, in der sowohl die Wirkung (Immissionsminderung) der Massnahmen als auch deren Kosten berücksichtigt werden. Zudem fliesst in die Bewertung auch die Betroffenheit (Höhe der Immission in der Ausgangssituation und Anzahl davon betroffener Personen / Arbeitsplätze) ein.

Die Pilotversion wurde in der Vorstudie auf vier Fallbeispiele angewendet. Dabei wurde für jede Massnahme der jeweilige **Nutzwert-Kosten-Index (NKI)** ermittelt. Übersteigt dieser NKI einen (noch nicht festgelegten) NKI-Schwellenwert¹², so ist die jeweils untersuchte Massnahme als wirtschaftlich verhältnismässig zu betrachten.

Der NKI wird aus dem Verhältnis von Nutzen und Kosten einer Massnahme berechnet. Nachfolgend wird im Sinne einer Zusammenfassung auf die in der Pilotversion einbezogenen Kosten- und Nutzenkomponenten eingegangen. Für die Beschreibung und Herleitung der vollständigen Methodik verweisen wir auf die Vorstudie.¹³

Exkurs: Wahrnehmungsgrenze, Grenzwerte und NKI-Schwellenwert

Im Zusammenhang mit der Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit von Massnahmen werden im vorliegenden Bericht folgende Begriffe unterschieden:

- **Wahrnehmungsgrenze:** Darunter wird jene Immissionshöhe verstanden, ab der die Immission für die Menschen wahrnehmbar ist.
- **Grenzwerte:** Es handelt sich hierbei um die rechtlich massgebenden Immissionsgrenzwerte. Im Bereich der Erschütterung werden sie als **Anhaltswerte** gemäss DIN 4150-2 bezeichnet und für den Bereich des abgestrahlten Körperschalls wird von **Richtwerten** gemäss Weisung BEKS¹⁴ gesprochen.
- **NKI-Schwellenwert:** (Noch festzulegender) Index-Wert, ab dem eine Massnahme als wirtschaftlich verhältnismässig betrachtet wird.

¹¹ Siehe Ecoplan / Gruner / Swiss TPH (2019): Kapitel 2 für die Wirkung, Kapitel 4 für die Kosten und Kapitel 5 für den Nutzen der Massnahmentypen.

¹² Vgl. nachstehenden Exkurs.

¹³ Ecoplan / Gruner / Swiss TPH (2019)

¹⁴ Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (1999)

a) Kosten

Zur Beurteilung der Kosten fliessen folgende Komponenten ein:¹⁵

- **Investitionskosten:** Einmalige Mehrkosten¹⁶ des Einbaus der Massnahme
- **Kosten durch Streckenunterbrüche:** Einmalige Verlängerung von Streckenunterbrüchen durch den Einbau der Massnahme

Da die Kostenkomponenten zu unterschiedlichen **Zeitpunkten** anfallen und die Massnahmen unterschiedliche **Lebensdauern** aufweisen, müssen sie vergleichbar gemacht werden:

- Die Massnahmen werden auf einen einheitlichen Zeitpunkt hin abdiskontiert
- Die Kosten werden in jährlich gleichbleibende Beträge (Annuität) umgerechnet

b) Nutzen

Zur Bestimmung des Nutzens einer Massnahme werden drei Aspekte berücksichtigt:¹⁷

- **Betroffenheit im Ausgangsniveau** (ohne Massnahme): Die Betroffenheit (Belastung) im Ausgangsniveau, also ohne Massnahme, stellt das erzielbare Nutzenpotenzial einer Massnahme dar. Es ergibt sich aus den pro Gebäude betroffenen Personen und Arbeitsplätzen, verknüpft mit deren jeweiligen Belastung durch Erschütterungen und/oder abgestrahlten Körperschall.
- **Wirkung (Reduktionswirkung) der Massnahme:** Die Wirkung einer Massnahme (im engeren Sinn) stellt die physikalisch messbare Reduktion der Immission (im Vergleich zum Ausgangsniveau) durch die Massnahme dar. Die physikalische Immissionsreduktion wird mit den pro Gebäude profitierenden Personen und Arbeitsplätzen gewichtet, sowohl für die Erschütterung als auch für den abgestrahlten Körperschall.
- **Sonderfaktoren:** Die Sonderfaktoren bilden Eigenschaften der Belastungssituation ab, die sich auf die Belästigung durch Erschütterung / abgestrahlter Körperschall auswirken, ohne dass sich dies in der gemessenen Höhe der Immission (vgl. Betroffenheit und Wirkung) zeigt. Als Sonderfaktoren werden a) der Anteil der belasteten Gebäude mit Sicht auf die Gleisanlage und b) der Anteil der Güterverkehrs-Zugsdurchfahrten in der Nacht am Total der 24h-Zugsdurchfahrten verwendet. Für jeden Sonderfaktor ist ein Auslösewert definiert. Sind alle drei¹⁸ Auslösewerte überschritten, beträgt der Bonus – im Sinne einer Erhöhung des berechneten Nutzens – insgesamt rund 16%. Sind zwei Auslösewerte überschritten

¹⁵ Auf den Einbezug von Betriebs- und Unterhaltskosten (wiederkehrende Mehrkosten im Gleisunterhalt, ausgelöst durch die Massnahme) wurde im Rahmen der Pilotversion verzichtet.

¹⁶ Mehrkosten: In der Regel sind nur die Mehrkosten der Beschaffung und des Einbaus der Massnahme gegenüber einer Ober- / Unterbausanierung oder einem Neubau relevant.

¹⁷ Für eine detaillierte Erläuterung der drei berücksichtigten Nutzen-Indikatoren verweisen wir auf die Vorstudie Eco-plan / Gruner / Swiss TPH (2019).

¹⁸ Bei der Sicht auf die Gleisanlage wird zwischen je einem Auslösewert für Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall unterschieden. Für die Herleitung der Auslösewerte vgl. die Ausführungen in der Vorstudie Eco-plan / Gruner / Swiss TPH (2019).

beträgt der Bonus rund 10%. Die Überschreitung eines Auslösewerts führt zu einem Bonus von 5%.

Zur Berechnung des Nutzens bzw. des Nutzwerts werden die einzelnen Nutzenindikatoren mittels einer Transformationsfunktion in einen einheitlichen Wertebereich transformiert, multiplikativ verknüpft und gewichtet sowie mit dem oben erwähnten «Bonus» (Faktor zwischen 1.00 und 1.16) multipliziert. Die Betroffenheit wird in der Pilotversion zu 20% gewichtet und die Wirkung zu 80%.¹⁹

c) Bildung des NKI

Zur Bildung des Nutzwert-Kosten-Index (NKI) wird wie folgt vorgegangen:

- Die Kosten (in CHF) werden in ein Vielfaches von 1'000 CHF umgerechnet. Dies ist eine einfache Skalierung, um NKI-Werte in einem gut lesbaren Bereich zu erhalten.
- Der Nutzen wird durch die Kosten dividiert. Daraus ergibt sich der NKI einer Massnahme.²⁰

2.3 Zusammenfassung

Die im Rahmen der Vorstudie erarbeitete Methode zur Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit von baulichen Massnahmen ermittelt für alle zu prüfenden Massnahmen einen Nutzwert-Kosten-Index. Der Nutzwert ergibt sich aus der Betroffenheit von Personen und Arbeitsplätzen in der Ausgangssituation, der Wirkung der Massnahme und der Anzahl davon profitierender Personen und Arbeitsplätze sowie aus (nicht messbaren) Sonderfaktoren zur Feststellung von möglichen Belästigungssituationen. Die Kosten setzen sich aus Investitionskosten sowie Kosten von Betriebsunterbrüchen zusammen und werden auf die Lebensdauer der Massnahme umgerechnet.

¹⁹ Diese Gewichtung wurde nach einer detaillierten Analyse vorgenommen und stellt weitgehend sicher, dass keine unerwünschten Massnahmen ergriffen werden. Unerwünscht sind Massnahmen, wenn sie fast wirkungslos sind (auch wenn die Betroffenheit allenfalls hoch ist) oder zur Anwendung kämen, wenn sie zwar sehr wirksam sind, aber fast keine Personen oder Arbeitsplätze von der Immission betroffen sind. Für weitere Details zur Bildung des Nutzwerts verweisen wir auf die Vorstudie Ecoplan / Gruner / Swiss TPH (2019).

²⁰ In der Pilotversion wurden die Indikatoren auf eine einheitliche Streckenlänge von 100 m normiert. Auf diese Normierung wird im vorliegenden Bericht verzichtet. Mit der gewählten Transformationsfunktion und der Berücksichtigung der Streckenlänge als Hauptkostentreiber kann der Gleichbehandlung kleiner und grosser Massnahmen ausreichend Rechnung getragen werden.

3 Fallbeispiele

Der vorliegende Bericht basiert auf Fallbeispielen, mit denen die SBB in den Jahren 2016 – 2019 konfrontiert war. Gemäss Angaben der SBB²¹ präsentierte sich für diese Zeitperiode die Situation wie folgt:

- In 62 Projekten wurden in dieser Zeitperiode Messungen bezüglich Erschütterungen und / oder abgestrahltem Körperschall durchgeführt, weil sich aus der Grobabschätzung der Immissionen eine Überschreitung der Sicherheitsmarge des BAFU ergab.
 - **In 20 Fällen zeigten die Messungen, dass effektiv mit Überschreitungen der Beurteilungsgrössen zu rechnen ist. Davon wurden in 5 Projekten Massnahmen vorgesehen**
 - in 9 Projekten wurden keine Massnahmen vorgesehen, entweder weil es keine geeigneten gab oder die Massnahmen nicht verhältnismässig waren
 - in 6 Projekten liegen noch keine Plangenehmigungen vor, dementsprechend wurde noch nicht abschliessend festgelegt, ob Massnahmen realisiert werden oder nicht.
- Bei 31 Projekten (Hälfte aller untersuchten Projekte) zeigten die Messungen, dass nicht mit Überschreitungen der Beurteilungsgrössen zu rechnen ist.
- Bei 11 Fällen liegen noch keine Messungen vor.

Für die Projekte mit effektiven Überschreitungen (oben **fett** markiert) hat die SBB die Datenverfügbarkeit geprüft. Schliesslich wurde aus diesen 20 Fällen ein Sample aus 13 Fallbeispielen ausgewählt.²² Zusätzlich zu diesen 13 Fallbeispielen wurden auch die 4 Fallbeispiele aus der Vorstudie²³ in das Sample aufgenommen. Somit liegen derzeit **17 auswertbare Fallbeispiele** vor. Die Fallbeispiele wurden aus Datenschutzgründen weitgehend anonymisiert (Kanton und Laufnummer). Die Reihenfolge der Fallbeispiele in der Darstellung ergibt sich aus dem Zeitpunkt des Eintreffens der Daten und ist demnach zufällig gewählt.

3.1 Abgefragte Daten

Die Daten für die Fallbeispiele basieren auf einer Zusammenstellung der SBB zu Projekten, bei welchen bereits Untersuchungen zu möglichen Massnahmen gegen Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall vorgenommen worden sind. Ausgewählt wurden Projekte, die einerseits effektive Überschreitungen der Beurteilungsgrössen vorweisen und deren Datengrundlagen andererseits mit vertretbarem Aufwand seitens der SBB zusammengestellt werden konnten. Es wurden seitens SBB keine neuen Daten erhoben oder modelliert.

²¹ Stand Juli 2020

²² Die SBB hat Daten für 14 Fallbeispiele geliefert. Zusätzlich standen die Daten zu den vier Fallbeispielen aus der Vorstudie zur Verfügung. Da für ein Fallbeispiel im Kanton Luzern die Wirkung der Massnahme nicht vorhanden oder sogar negativ war, wurde durch die SBB und Ecoplan unter Information des Auftraggebers (BAFU) beschlossen, auf die Aufnahme des Fallbeispiels zu verzichten.

²³ Siehe Ecoplan / Gruner / Swiss TPH (2019)

3.1.1 Allgemeine Angaben

Nachfolgende Abbildung zeigt die von der SBB abgefragten allgemeinen Angaben.

Abbildung 3-1: Allgemeine Angaben (von den SBB abgefragte Werte)

Kategorie	Abgefragte Werte
Beschreibung des Fallbeispiels	<ul style="list-style-type: none"> – Gemeinde – Gleistyp / Anzahl der Spuren (Einfach, Doppelspur, Mehrfachgleis) – Mit oder ohne Weichen – Länge des untersuchten Perimeters (in m)
Güterverkehr	<ul style="list-style-type: none"> – Anzahl Züge pro Tag (24h) – Anzahl Züge in der Nacht – Mittlere Durchfahrtsgeschwindigkeit
Personenverkehr	<ul style="list-style-type: none"> – Anzahl Züge pro Tag (24h) – Anzahl Züge in der Nacht – Mittlere Durchfahrtsgeschwindigkeit
Beschreibung der Massnahmen	<ul style="list-style-type: none"> – Typ (inkl. Präzisierung) – Länge untersuchte/realisierte Massnahme²⁴ (evtl. auch Tiefe) – Überprüfungszeitpunkt – Realisierung ja/nein (Zeitpunkt der Realisierung) – Zeitpunkt der Inbetriebnahme
Kosten Pro Massnahme: USP, USM, Bodenschlitz, Andere	<ul style="list-style-type: none"> – Investitionskosten – Lebensdauer – Jährliche Betriebs- und Instandhaltungskosten – Kosten der zusätzlichen Betriebsunterbrüche – Weitere Kostentreiber
Massgebende Beurteilungsperiode	<ul style="list-style-type: none"> – Massgebende Periode für Beurteilung der Massnahme (Tag, Nacht oder Beide)

Hinweis: Die **fett markierten Angaben** werden zur Anwendung der Pilotversion der NKI-Methode zwingend benötigt. Die **fett-kursiven Angaben** sind ebenfalls notwendig, können theoretisch bei Bedarf aber über Annahmen grob geschätzt werden. Die übrigen Angaben dienen der weiteren Charakterisierung der Fallbeispiele.

Neben diesen Angaben wurden auch Informationen zum Perimeter (Karte zur Verortung der Gebäude), zu VIBRA-Berechnungsparametern (falls eingesetzt) und zu aggregierten Werten für die Sicht der belasteten Gebäude auf die Gleisanlage abgefragt.

3.1.2 Gebäudeeinzeldaten

Zusätzlich zu den allgemeinen Angaben wurden auch Gebäudeeinzeldaten abgefragt. Zu jedem erfassten Gebäude wurden nachfolgende Indikatoren erhoben (siehe Abbildung 3-2).

²⁴ Die Länge der untersuchten/realisierten Massnahmen wurde als ein Wert abgefragt. Wurden zwei parallel verlaufende Gleise à 50m mit der Massnahme ausgerüstet, so wäre eine Angabe von 100m (2x50m) korrekt.

Abbildung 3-2: Gebäudeeinzeldaten (von den SBB abgefragte Werte)

Kategorie	Abgefragte Werte
Gebäudeeigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> – GebäudeID (Referenz auf Gebäudeplan) – Adresse – Beschaffenheit der Decke (Beton / Holz) – Sicht auf Gleis (Ja / Nein) – Bau- bzw. Nutzungszone (z.B. Wohn- bzw. Gewerbezone) – Gebäudetyp (z.B. EFH, MFH) – Anzahl Wohneinheiten – Anzahl Beschäftigte
Immission ohne Massnahme	
Erschütterung	<ul style="list-style-type: none"> – Immission (KB_{Ftr} (Nacht)) (<i>ohne Massnahme</i>) – Immission (KB_{Ftr} (Tag)) (<i>ohne Massnahme</i>) – Erhebungsmethode (z.B. Messwert, kalibrierte Prognose oder Prognose ohne Messung)
Abgestrahlter Körperschall	<ul style="list-style-type: none"> – Immission ($LA_{eq,1h}$ (Nacht)) (<i>ohne Massnahme</i>) – Immission ($LA_{eq,16h}$ (Tag)) (<i>ohne Massnahme</i>) – Erhebungsmethode (z.B. Messwert, kalibrierte Prognose oder Prognose ohne Messung)
Immission mit Massnahme²⁵	
Erschütterung	<ul style="list-style-type: none"> – Immission (KB_{Ftr} (Nacht)) (<i>mit Massnahme</i>)
Pro Massnahme: USP, USM, Bodenschlitz, Andere	<ul style="list-style-type: none"> – Immission (KB_{Ftr} (Tag)) (<i>mit Massnahme</i>)
Abgestrahlter Körperschall	<ul style="list-style-type: none"> – Immission ($LA_{eq,1h}$ (Nacht)) (<i>mit Massnahme</i>)
Pro Massnahme: USP, USM, Bodenschlitz, Andere	<ul style="list-style-type: none"> – Immission ($LA_{eq,16h}$ (Tag)) (<i>mit Massnahme</i>)

Hinweise:

- Die **fett markierten Angaben** werden zur Anwendung der Pilotversion der NKI-Methode zwingend benötigt.
- Die **fett-kursiven Angaben** sind ebenfalls notwendig, können theoretisch bei Bedarf aber über Annahmen grob geschätzt werden. Die übrigen Angaben dienen der weiteren Charakterisierung der Fallbeispiele.

3.2 Vollständigkeit der Daten

Wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, wurden die Fallbeispiele pragmatisch ausgewählt. Auftrag der SBB war nicht, neue Daten aufzubereiten, sondern vorhandene Daten zusammenzutragen.

3.2.1 Allgemeine Angaben

Die 17 untersuchten Fallbeispiele sind in der folgenden Abbildung 3-3 charakterisiert. Die Angaben stammen aus den gelieferten allgemeinen Angaben der SBB. Ausnahme bilden der

²⁵ Bei der «Immission mit Massnahme» wurde – im Unterschied zur «Immission ohne Massnahme» darauf verzichtet, die Erhebungsmethode zu erfragen. Die «Immissionen mit Massnahmen» sind das Ergebnis von Modellberechnungen, da im Zeitpunkt der Projektbeurteilung bzw. bei der Erstellung des «Fachberichts Erschütterungen und Körperschall» (ESK-Bericht) die Massnahmen noch nicht realisiert waren und daher auch keine Messung möglich war.

Streckentyp, die Wohneinheiten und die Beschäftigten in den erfassten Gebäuden. Diese wurden durch Ecoplan abgeleitet und ausgewertet.²⁶

Abbildung 3-3: Bezeichnung und Charakteristiken der Fallbeispiele²⁷

Fallbeispiel	Gleistyp	Anzahl sanierte Gleise	Länge untersuchter Perimeter (m)	Länge untersuchter / realisierter Massnahme (m)	Streckentyp	Güterverkehr: Anteil nachts am 24h-Verkehr	Güterverkehr: Anteil tags am 24h-Verkehr	Erfasste Gebäude	Erfasste Wohneinheiten im Perimeter	Erfasste Beschäftigte im Perimeter	Massnahme realisiert? (USM)
SZ-1	DS	2	370	315	HS	24%	31%	27	126	35	Nein
ZH-1	M	2	450	130	HS	1%	1%	22	52	20	Nein
TI-1	M	2	490	270	HS	13%	22%	30	71	4	Nein
TI-2	DS	2	630	630	TS	11%	19%	45	96	13	Ja
TI-3	M	2	1'000	2'270	HS	10%	25%	24	149	366	Ja
VD-1	DS	2	300	-	TS	6%	10%	6	25	59	Nein
TI-4	DS	2	1'580	126	HS	0%	0%	1	1	0	Ja
VD-2	M	1	2'800	550	TS	2%	4%	31	143	364	Ja
FR-1	M	2	1'150	-	HS	6%	4%	2	22	0	Nein
TI-5	E	1	20	18	NS	26%	55%	1	6	0	Nein
TI-6	E	1	15	15	NS	26%	55%	1	1	0	Nein
TI-7	E	1	40	38	NS	26%	55%	1	2	0	Nein
TI-8	E	1	30	28	NS	26%	55%	1	5	1	Ja
BL-1	DS	2	2'659	370	TS	13%	12%	13	24	5	Nein
TI-9	DS	2	700	200	NS	0%	0%	2	3	0	Ja
NE-1	M	2	600	-	HS	6%	19%	13	79	23	Nein
AG-1	DS	2	1'680	480	TS	5%	9%	11	22	3	Ja

Legende: Gleistyp: DS = Doppelspur; M = Mehrspurig; E = Einfach; Streckentyp: TS = Topstrecke, HS = Hauptstrecke, NS = Nebenstrecke

Farblegende: Rote Spalten sind für die Kosten relevant, gelbraune Spalten sind für die Betroffenheit relevant. Graue Längenangaben = Längenangaben aus der Vorstudie

Hinweis: Die Fallbeispiele SZ-1, ZH-1, TI-1 und TI-2 sind aus der Vorstudie²⁸ übernommen

²⁶ Für alle erfassten Gebäude hat Ecoplan mittels einer GIS-Auswertung die Anzahl Wohneinheiten (Quelle: GWR), die Anzahl Beschäftigten (Quelle: STATENT) und die Sicht auf die Gleise (Quelle: visuelle Beurteilung anhand des SwissBuildings3D-Datensatzes) ausgewertet. Die Fallbeispiele aus der Vorstudie wurden bezüglich Wohneinheiten, Beschäftigte und Sicht im Rahmen einer (damaligen) Begehung vor Ort ergänzt. Für alle Fallbeispiele ebenfalls erhoben wurde auf Basis des Datensatzes «Lärmschutzwände» des BAV, ob eine Lärmschutzwand zwischen Gebäude und Gleis vorhanden ist. Diese Angaben wurden jedoch nicht für die Beurteilung der Sicht verwendet, da keine Angaben zur Höhe der Lärmschutzwand vorhanden waren und die Lärmschutzwand auch die Präsenz eines dahinterliegenden Gleises signalisiert. Im Grundsatz wurde daher angenommen, dass die Sicht nur durch andere Gebäude eingeschränkt wird.

²⁷ Wie erwähnt wurden die Fallbeispiele aus Gründen des Datenschutzes anonymisiert (Kanton und Laufnummer) und deren Reihenfolge ergibt sich aus dem Zeitpunkt des Eintreffens der Daten.

²⁸ Ecoplan / Gruner / Swiss TPH (2019)

Die nachfolgende Abbildung 3-4 zeigt eine Übersicht über die Vollständigkeit der allgemeinen Daten. Das Bild lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Beschreibung der Projekte und Massnahmen (inkl. Länge und Typ), die Angaben zum Verkehrsaufkommen und zur Realisierung sind in allen Fallbeispielen vorhanden.
- Die vorhandenen Investitionskosten der Massnahmen beziehen sich alle auf den Massnahmentyp «Unterschottermatte». Zu den übrigen Massnahmentypen und Kosten von Betriebsunterbrüchen liegen keine Angaben vor.
- Für die Massnahme «Unterschottermatte» liegen für sieben Fallbeispiele vollständige allgemeine Angaben vor (in der Abbildung grün markierten Fallbeispiele TI-3, TI-4, VD-2, TI-8, BL-1, TI-9, AG-1). Für die hellgrünen Fallbeispiele (TI-5, TI-6 und TI-7) fehlt die massgebende Beurteilungsperiode (Tag / Nacht).

Abbildung 3-4: Vollständigkeit der allgemeinen Angaben

Fallbeispiel	Beschreibung Projekt & Massnahme, Verkehrsaufkommen, Realisierung	Massgebende Beurteilungsperiode (Tag / Nacht)	Kostenangabe	
			USM	übrige Massnahmen
SZ-1	✓	x	x	x
ZH-1	✓	x	x	x
TI-1	✓	x	x	x
TI-2	✓	x	x	x
TI-3	✓	✓	✓	x
VD-1	✓	✓	x	x
TI-4	✓	✓	✓	x
VD-2	✓	✓	✓	x
FR-1	✓	✓	x	x
TI-5	✓	(x)	✓	x
TI-6	✓	(x)	✓	x
TI-7	✓	(x)	✓	x
TI-8	✓	✓	✓	x
BL-1	✓	✓	✓	x
TI-9	✓	✓	✓	x
NE-1	✓	✓	x	x
AG-1	✓	✓	✓	x

Legende: x = Daten unvollständig; ✓ = Daten vorhanden, dunkelgrün = alle Angaben zur USM vorhanden, hellgrün = Angaben zur USM vorhanden, aber massgebende Periode unklar

3.2.2 Gebäudeeinzeldaten

Die folgende Abbildung fasst die Vollständigkeit der Gebäudeeinzeldaten (relevante Variablen) zusammen.²⁹ Nicht abgebildet sind die Sicht aufs Gleis und die Anzahl Wohneinheiten / Beschäftigte. Diese wurden im Rahmen einer GIS-Analyse einheitlich durch EcoPlan erhoben und sind vollständig.

Abbildung 3-5: Vollständigkeit der Gebäudeeinzeldaten

Fallbeispiel	Massgebende Periode	Immission ohne Massnahme für massgebende Periode		Immission mit Massnahme USM für massgebende Periode		Immission mit Massnahme Übrige (USP, Spundwand etc.)	Beschaffenheit der Gebäudedecken
		ES	KS	ES	KS	ES / KS	
SZ-1	Nacht	✓ (Nacht)	✓ (Nacht)	X	X	X	✓
ZH-1	Nacht	✓ (Nacht)	✓ (Nacht)	X	X	X	✓
TI-1	Nacht	✓ (Nacht)	✓ (Nacht)	X	X	X	✓
TI-2	Nacht	✓ (Nacht)	✓ (Nacht)	X	X	X	✓
TI-3	Beide	(✓) ³⁰	(✓)	✓	✓	X	✓
VD-1	Beide	✓	✓	X	X	X	✓
TI-4	Beide	✓	✓	✓	✓	X	✓
VD-2	Beide	(✓)	(✓)	✓	✓	X	✓
FR-1	Tag	✓	✓	X	X	X	✓
TI-5	Nacht	✓ (Nacht)	✓ (Nacht)	✓	✓	X	✓
TI-6	Nacht	✓ (Nacht)	✓ (Nacht)	✓	✓	X	✓
TI-7	Nacht	✓ (Nacht)	✓ (Nacht)	✓	✓	X	✓
TI-8	Nacht	✓	✓	✓	✓	X	✓
BL-1	Beide	✓	✓	X	X	X	X
TI-9	Tag	✓	✓	✓	✓	X	✓
NE-1	Beide	✓	✓	X	X	X	✓
AG-1	Beide	✓	✓	✓	✓	X	✓

Legende: X = Daten unvollständig/nicht vorhanden; ✓ = Daten vorhanden für massgebende Perioden, gelbbraun = Die massgebende Periode wurde auf Basis der vorhandenen Immissionsangaben bestimmt, violett = Angaben der SBB zur massgebenden Periode vorhanden

ES = Erschütterung; KS = Abgestrahlter Körperschall

²⁹ Damit ein Fallbeispiel bezüglich Angaben zu den Immissionen mit und ohne Massnahmen als vollständig gilt, muss es Daten für die jeweils massgebenden Beurteilungsperiode (Tag / Nacht) enthalten. Ist somit als massgebende Periode «Beide» angegeben, werden die Immissionen sowohl für die Nacht als auch für den Tag benötigt. Für einige Fallbeispiele wurde die massgebende Periode auf Basis der gelieferten Immissionsdaten festgelegt (vgl. gelbbraune Zellen).

³⁰ Die Klammer bedeutet, dass die benötigten Angaben nur für einen Teil der Gebäude vorhanden sind.

Bezüglich Vollständigkeit der Einzeldaten lassen sich aus der Abbildung folgende Schlüsse ziehen:

- **Immission ohne Massnahmen:** Unvollständige Daten zu Immissionen Erschütterung und abgestrahlter Körperschall *ohne Massnahme*: TI-3³¹ und VD-2³²
- **Beschaffenheit der Decken:** Unvollständige Angaben im Fallbeispiel BL-1
- **Immissionen mit Massnahme:** Diese Angaben liegen generell nur für die Massnahme Unterschottermatte (USM) vor. Keine Daten zu Immissionen Erschütterung und abgestrahlter Körperschall *mit Massnahme* Unterschottermatte: BL-1, NE-1, FR-1 und VD-1 sowie die vier Fallbeispiele aus der Vorstudie (TI-1, ZH-1, TI-2 und SZ-1)

3.3 Auswirkungen der Datenqualität auf die Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit

Fehlende oder verzerrte Daten spielen nur eine Rolle, falls sie den Ausgang der Beurteilung und damit den Prozess zur Festlegung eines minimal erforderlichen NKI (NKI-Schwellenwert) zu stark beeinflussen. Um die Bedeutung der Datenqualität einschätzen zu können, haben wir folgende Analyse durchgeführt (vgl. Anhang A):

- Ergänzung unvollständiger Kosten- und Wirkungsangaben (soweit möglich) mittels Annahmen und Vergleich der geschätzten Kosten und Wirkungen mit den vorhandenen Angaben der SBB
- Berechnung des Nutzwert-Kosten-Index (NKI) für die 17 Fallbeispiele in zwei Szenarien:
 - Verwendung der Daten der SBB, ergänzt mit den geschätzten Kosten und Wirkungen
 - Alleinige Verwendung geschätzter Kosten und Wirkungen (Verzicht auf Daten SBB)
- Untersuchung, wie sich die obigen Szenarien bei Annahme eines hypothetischen NKI-Schwellenwerts auf die Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit der Fallbeispiele auswirkt

Die Analyse zeigt folgende Erkenntnisse:

- Die angenommenen **Kostenparameter** für Unterschottermatten aus der Vorstudie liegen meist deutlich höher als die Kostenangaben der SBB.
- Bei der Unterschottermatte weichen die verwendeten pauschalen **Wirkungsparameter** teilweise stark von den SBB-Angaben ab. Die in der Vorstudie angenommene negative Wirkung einer Unterschottermatte bei Gebäuden mit Betondecken wird mit den vorhandenen Daten z.B. nicht immer gestützt.

Die Berechnung des Nutzwert-Kosten-Indexes (NKI) auf Basis der beiden obigen Datenszenarien zeigt, dass die NKI in den beiden Szenarien teils stark voneinander abweichen. Die

³¹ Gemäss Angabe der SBB ist bei gewissen Gebäuden die Immission ohne USM nicht vorhersehbar, da unter den bestehenden Gleisen bereits eine USM eingelegt wurde.

³² Beim Fallbeispiel VD-2 fehlen teilweise die Immissionen ohne Massnahme. Die Gebäude mit fehlenden Werten befinden sich alle in einer Gewerbezone.

Datenqualität in den Fallbeispielen spielt daher eine wichtige Rolle, wenn auf Basis dieser Beispiele ein minimal erforderlicher NKI-Schwellenwert festgelegt werden soll, ab dessen Erreichen Massnahmen als verhältnismässig gelten. Je nachdem, welche Datengrundlagen verwendet werden, wird die Festlegung des minimal erforderlichen NKI-Schwellenwerts unterschiedlich ausfallen und in der Folge die wirtschaftliche Verhältnismässigkeit von Massnahmen in den vorhandenen Fallbeispielen und künftig auch in der praktischen Anwendung anders beurteilt.

3.4 Beurteilung

3.4.1 Beurteilung Repräsentativität

Die Fallbeispiele bilden mit Ausnahme des Massnahmentyps einen grossen Teil der Ausprägungen ab, die für die wichtigen Variablen grundsätzlich in Frage kommen:

- **Erfasste Gebäude / Wohneinheiten / Beschäftigte:** Die Varianz in der Anzahl erfasster Gebäude ist in den Fallbeispielen gross und reicht von 1 bis 45 Gebäude. Damit einhergehend variiert die Anzahl Wohneinheiten (zwischen 1 und 149) und die Anzahl Beschäftigte (zwischen 0 bis 366) stark.
- **Streckentyp:** Unter den Fallbeispielen können rund 60% dem Streckentyp «Hauptstrecken» zugeordnet werden. Top- und Nebenstrecken machen jeweils einen Drittel der restlichen Beispiele aus. Die Anzahl der Züge im Perimeter unterscheiden sich demnach stark unter den Fallbeispielen.
- **Gleistyp:** Bezüglich Gleistyp decken die Fallbeispiele alle Ausprägungen ab (Einfachspur: 4, Doppelspur: 7, Mehrfachgleise: 6). Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass die vier Fallbeispiele mit Einfachspur alle im Kanton Tessin angesiedelt sind und alle sehr kleinräumig sind.
- **Länge der Massnahme / Perimeter:** Die Fallbeispiele decken bezüglich Länge der Massnahmen und des Perimeters ein breites Spektrum von 15 m bis 2'800 m ab.
- **Massgebende Beurteilungsperiode:** Von den 17 Fallbeispielen wurden bei 7 Fallbeispielen beide Perioden (Tag und Nacht) als massgebend angenommen. Bei 8 Fallbeispielen war die Nacht die massgebende Periode. Nur bei 2 Fallbeispielen war allein der Tag die massgebende Periode. In der Tendenz liegen damit für den Tag eher zu wenig Fallbeispiele vor.
- **Investitionsentscheid:** Bei knapp 60% der Fallbeispiele wurde in der Praxis ein positiver Investitionsentscheid gefällt, sprich eine Massnahme wurde beschlossen oder realisiert. Bei 40% der Fallbeispiele wurde ein negativer Investitionsentscheid getroffen. Das Verhältnis ist somit in etwa ausgewogen.
- **Massnahmentyp:** In allen Fallbeispielen bezog sich die Prüfung auf die Unterschottermatte als Massnahme. Andere Massnahmentypen (weiche Schwellenbesohlung, Bodenschlitz, Spundwand usw.) sind mit den Fallbeispielen nicht abgedeckt.

Mit den verfügbaren 17 Fallbeispielen ist für einen grossen Teil der relevanten Variablen ausreichend Varianz gegeben. Um aus einer engen «statistischen» Sicht als repräsentativ zu gelten, müsste aber eine deutlich höhere Zahl an Fallbeispielen vorliegen, um auch alle relevanten Kombinationen der verschiedenen Ausprägungen ausreichend abdecken zu können. Eine solche strenge Repräsentativität dürfte aber kaum mit vernünftigem Aufwand erreichbar sein.

Mit den vorliegenden Fallbeispielen dürfte es nach unserer Einschätzung möglich sein, für die Massnahme «Unterschottermatte» den Prozess zur weiteren Verfeinerung der Methode voranzutreiben. Für die anderen Massnahmentypen fehlen hingegen sowohl realisierte oder geprüfte Fallbeispiele als auch die benötigten Wirkungs- und Kostendaten. Zudem liegt beispielsweise für die weiche Schwellenbesohlung noch keine generelle Zulassung des BAV vor.³³

3.4.2 Beurteilung Vollständigkeit

Neben der Repräsentativität der Fallbeispiele ist auch deren Vollständigkeit, bzw. die Vollständigkeit der Daten im Einzelnen notwendig. Liegen keine einheitlichen und vollständigen Daten vor, muss auf teilweise pauschale Annahmen zurückgegriffen werden. Weil unklar ist, ob und inwiefern diese Annahmen systematisch verzerrt sind, ist die Vergleichbarkeit zwischen den Fallbeispielen beeinträchtigt.

Für die Anwendung der Methode fehlen in den vorliegenden Fallbeispielen verschiedene wichtige Daten.

- **Wirkungsabschätzungen:** Damit die Wirkung einer Massnahme abgeschätzt werden kann sind die Immissionen (mit und ohne Massnahme) zentral. Bei den **Immissionen ohne Massnahme** sind die Angaben bei zwei Fallbeispielen (TI-3³⁴ und VD-2s³⁵) nicht vollständig. Bei den Fallbeispielen BL-1, NE-1 und VD-1 fehlen teilweise die **Immissionen mit Massnahme (USM)**. Für robuste Ergebnisse der Nutzwert-Kosten-Analyse sind vollständige Immissionsangaben unerlässlich. Die von uns angenommenen Wirkungsparameter für die Anwendung der Beurteilungsmethodik auf die Fallbeispiele (vgl. Abschnitt 3.3) weichen teilweise von der angegebenen Wirkung seitens der SBB ab.
- **Kostenangaben:** Bei sieben Fallbeispielen (VD-1, FR-1, NE-1 sowie den vier Fallbeispielen aus der Vorstudie) fehlen teilweise die Kostenangaben für die Unterschottermatten. Bei der Analyse der Kosten hat sich gezeigt, dass die in der Vorstudie hergeleiteten Kostenparameter teilweise stark von den SBB-Kostenangaben abweichen.
- **Massgebende Beurteilungsperiode (Tag/Nacht):** Die massgebende Periode ist nicht bei allen Fallbeispielen klar (TI-5, TI-6 und TI-7). Dies führt zu Unklarheiten hinsichtlich der Frage, ob die Tag- oder Nachtangaben für die Methode angewendet werden sollen. Für eine nächste Projektphase muss geklärt werden, welche Perioden einbezogen werden (Tag, Nacht, beide oder nur massgebende).

³³ Vgl. dazu auch die Ausführungen in Fussnote 9.

³⁴ Siehe Fussnote 31.

³⁵ Siehe Fussnote 32.

- **Beschäftigte, Wohneinheiten/Bevölkerung und Sicht:** Diese Angaben wurden für den vorliegenden Bericht von Ecoplan nach einheitlicher GIS-gestützter Methode erhoben. In der Praxis empfiehlt sich, diese Angaben im Rahmen einer Begehung vor Ort zu validieren. In diesem Stadium der Methodenentwicklung sind die Angaben unseres Erachtens von ausreichender Qualität.
- **Erfasste Gebäude im Perimeter:** Bei Betrachtung der erfassten Gebäude im Perimeter ist für Aussenstehende schwierig beurteilbar, ob alle relevanten Gebäude erfasst sind (siehe nachfolgender Exkurs). Damit die Nutzwert-Kosten-Analyse vergleichbare Ergebnisse liefert, müssen alle Gebäude, die von wahrnehmbaren Immissionen betroffen sind und von einer Massnahme profitieren könnten, erfasst werden. Dies unabhängig von den festgelegten Anhaltswerten für Erschütterung bzw. Richtwerten für Körperschall.

Exkurs: Erfasste Gebäude im Perimeter

Im Fallbeispiel FR-1 fließen zwei Gebäude in die Nutzwert-Kosten-Analyse mit ein. Auf untenstehender Abbildung ist dies einerseits das Gebäude unterhalb der Geleise mit den eingezeichneten blauen und gelben Messpunkten, sowie das neue, noch nicht erstellte Gebäude oberhalb der Geleise in blau gestrichelter Form.

Wie erwähnt, ist für aussenstehende schwierig beurteilbar, ob alle relevanten Gebäude erfasst sind. In der nachfolgenden Abbildung haben wir zusätzlich jene Gebäude eingekreist, bei welchen wir vermuten, dass auch sie von Immissionen betroffen sein könnten, die über der Wahrnehmungsgrenze liegen und daher von allfälligen Massnahmen profitieren würden. Für die Korrektheit der Nutzwert-Kosten-Analyse müssten alle Gebäude mit Arbeitsplätzen oder Wohnungen aufgenommen werden, die von einer Massnahme profitieren können.

Abbildung 3-6: Situationsplan der Messpunkte im Fallbeispiel FR-1



Quelle: Zugestellter EKS-Bericht der SBB

4 Fazit und Empfehlungen

Wie einleitend zum Bericht erläutert wird, müsste in einem nächsten Bearbeitungsschritt die Gewichtung der einzelnen Nutzenindikatoren (Betroffenheit, Wirkung, Sonderfaktoren) geklärt werden sowie ein minimal erforderlicher NKI-Schwellenwert festgelegt werden, ab dem eine Massnahme als wirtschaftlich verhältnismässig zu betrachten ist. Vor diesem Hintergrund stellen sich folgende Fragen:

- Sind die Fallbeispiele geeignet, um einem NKI-Schwellenwert festlegen zu können?
- Lassen sich die Datenanforderungen der vorgeschlagenen Beurteilungsmethodik im Vollzug erfüllen?

4.1.1 Eignung der Fallbeispiele

Für die Beurteilung der Eignung der vorhandenen Fallbeispiele ist die Repräsentativität und Vollständigkeit der Daten zentral. Diese sind wie folgt zu beurteilen:

- **Repräsentativität:** Für die Massnahme «Unterschottermatte» sind die vorhandenen Fallbeispiele genügend repräsentativ. Innerhalb des Samples ist die Varianz der relevanten Variablen weitgehend gegeben. Eine «statistische» Repräsentativität (repräsentative Abdeckung von relevanten Kombinationen der Variablen³⁶) könnte hingegen nur mit einer deutlich höheren Anzahl an Fallbeispielen erreicht werden.
- **Vollständigkeit:** Die Ansprüche bezüglich Vollständigkeit und Einheitlichkeit der Daten sind noch nicht gänzlich erfüllt. Damit die Fallbeispiele untereinander verglichen werden können und die Beurteilungsmethode angewendet und auf Basis der Fallbeispiele ein minimal erforderlicher NKI-Schwellenwert festgelegt werden kann, müssten alle Daten mit einer einheitlichen Methodik erfasst und vollständig vorhanden sein. Insbesondere Immissionen mit und ohne Massnahme sowie Kostenangaben müssen in jedem Fallbeispiel vorhanden sein.
- **Ableiten eines NKI-Schwellenwerts aus den Fallbeispielen:** Eine Herleitung des NKI-Schwellenwertes auf Basis von Fallbeispielen erachten wir grundsätzlich als machbar. Wie in Anhang A (Kapitel 5.3) erläutert, ist in einer politischen Interessenabwägung festzulegen, bei welchem NKI eine Massnahme als wirtschaftlich verhältnismässig bzw. nicht verhältnismässig zu taxieren ist. Die NKI-Werte aus den einzelnen Fallbeispiele dienen dabei als Referenzwerte, um den NKI-Schwellenwert «justieren» zu können. Ein analoges Vorgehen wurde gewählt, um festlegen zu können, bei welchem Nutzenpunkte-Kosten-Verhältnis die behindertengerechte Anpassung einer Bushaltestelle als verhältnismässig bzw. nicht verhältnismässig zu beurteilen ist.³⁷

³⁶ Abdeckung aller relevanten kombinierten Ausprägungen der Variablen: z.B. Kombinationen von Gleistyp und Länge der Massnahme oder von Länge der Massnahme und Anzahl Gebäude (Gebäudedichte).

³⁷ Ecoplan / B+S (2016)

4.1.2 Datenanforderungen im Vollzug bzw. Praktikabilität im Einzelfall

Die vorgeschlagene Beurteilungsmethode erfordert im Einzelfall die Aufbereitung der in Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2 zusammengestellten Daten. Es handelt sich hierbei in Bezug auf Immissionen, Wirkung und Kosten der Massnahmen grösstenteils um Daten, die auch bei einem Antrag auf Erleichterung bereitgestellt werden müssen.³⁸ Die zusätzlich erforderlichen Daten pro Gebäude (Beschaffenheit der Decke, Sicht auf Gleis, Anzahl Wohneinheiten, Anzahl Beschäftigte) sowie die Angaben zur Anzahl Zugsdurchfahrten im Personen- und Güterverkehr (Tag / Nacht) können bei der Erstellung des erforderlichen «Fachberichts Erschütterungen und Körperschall» zeitgleich mit wenig Mehraufwand erhoben werden.

4.1.3 Empfehlungen im Hinblick auf die nächsten Projektphase

In der nächsten Projektphase sollen die ausstehenden Fragen bezüglich der Gewichtung der Nutzenindikatoren und des minimal erforderlichen Nutzwert-Kosten-Indexes (NKI-Schwellenwert) geklärt werden. Als Grundlage dafür empfehlen wir folgende Massnahmen:

- **A: Erfassung der Kosten- und Wirkungsdaten nach einheitlicher Methode:**
 - **Kostendaten:** Für alle Fallbeispiele und Massnahmen sollte eine validierte Angabe zu den Investitionskosten – nach einheitlicher Methodik – vorliegen. Dadurch kann auf die grobe Schätzung der Kosten verzichtet werden und allfällige systematische Verzerrungen, entstanden durch den Einsatz unterschiedlicher Methoden, können eliminiert werden.
 - **Wirkungsdaten:** Für jedes Fallbeispiel braucht es Angaben zur Immission, sowohl mit als auch ohne Massnahme. Diese Werte sollten mit einer einheitlichen Methode ermittelt (z.B. VIBRA), und für jede massgebende Periode (Tag, Nacht oder Beide) ausgewiesen werden. Damit die Vergleichbarkeit der Fallbeispiele untereinander gegeben ist, sollten auch für nicht realisierte Massnahmen mindestens Prognosen zur Wirkung der Massnahmen (modellierte Immissionswerte mit Massnahme) ausgewiesen werden. Dadurch kann auf die grobe Schätzung der Wirkung verzichtet werden und allfällige systematische Verzerrungen, entstanden durch den Einsatz unterschiedlicher Methoden, können eliminiert werden.
- **B: Verfeinerung der pauschalen Wirkungs- und Kostenparameter:** Falls eine solche Vervollständigung der Kosten- und Wirkungsdaten nicht möglich ist, muss geklärt werden, wodurch sich allfällige Unterschiede in den Kosten- und Wirkungsannahmen im Vergleich zu den SBB-Daten erklären lassen.³⁹ Auf dieser Basis sind die pauschalen Kosten- und Wirkungsparameter zu verfeinern (vgl. hierzu auch den nachfolgenden Exkurs zum

³⁸ Vgl. hierzu BAFU, Bundesamt für Umwelt / BAV, Bundesamt für Verkehr (2022), Kapitel 5.14. Ein gewisser Mehraufwand kann sich ergeben, weil künftig nicht nur die Immissionen für Gebäude mit Überschreitung der Anhalts- bzw. Richtwerte ermittelt werden müssen, sondern die Ermittlung für alle Gebäude im Projektperimeter erfolgen muss, deren Immissionsbelastung durch Erschütterung oder abgestrahlten Körperschall über der Wahrnehmungsgrenze liegt.

³⁹ Gemäss Angaben SBB werden die Kostenannahmen in regelmässigen Abständen überprüft und bei Vorliegen relevanter Veränderungen angepasst. Eine solche Anpassung hat bei der SBB Ende 2019 stattgefunden, was möglicherweise einen Teil der Kostendifferenzen im Vergleich zu den Kostenangaben für die Fallbeispiele aus früheren Jahren erklärt.

Handlungsbedarf bei der NKI-Methode). Ist eine solche Verfeinerung nicht möglich, muss auf die allfällige systematische Verzerrung bei der Festlegung des minimal notwendigen NKI-Schwellenwerts sowie der Gewichtung der Nutzenindikatoren qualitativ Rücksicht genommen werden.

- **C: Erhebung zusätzlicher Fallbeispiele:** Um die Repräsentativität zu steigern, sollten nach Möglichkeit noch mehr Fallbeispiele erhoben werden. Bereits eine kleine Zahl an zusätzlichen Fallbeispielen (auch für nicht realisierte Massnahmen) könnte eine deutliche Verbesserung bringen. Bei der Erhebung neuer Fallbeispiele ist darauf zu achten, dass a) der Perimeter der erfassten Gebäude möglichst einheitlich definiert wird, unabhängig von geltenden Anhalts- bzw. Richtwerten und b) die Kosten- und Wirkungsdaten vollständig vorhanden sind.⁴⁰

Exkurs: Möglicher Handlungsbedarf NKI-Methode

Bei der Anwendung der Methode auf die Fallbeispiele (vgl. Anhang A) hat sich folgender möglicher Handlungsbedarf hinsichtlich der Methode gezeigt:

- Die **Wirkung der Massnahmentypen** wurde in der Vorstudie über grob geschätzte pauschale Abminderungsfaktoren hergeleitet, differenziert nach Deckenmaterial der Gebäude. Beim Vergleich zur gemessenen und modellierten Wirkung (bei USM) haben sich teilweise Abweichungen gezeigt. Die Datengrundlagen und Methoden zur vereinfachten Ermittlung der Wirkung müssen weiter verbessert werden, um die Vergleichbarkeit mit qualifizierten Ingenieurs-Schätzungen sicherstellen zu können. Denkbar ist z.B. eine Verfeinerung der pauschalen Abminderungsfaktoren nach weiteren Eigenschaften der Gebäude und/oder der Bodenverhältnisse. Eine andere Möglichkeit ist die zwingende Ermittlung von projektspezifischen Wirkungen, was aber deutlich aufwändiger ist.
- Die **Investitionskosten** wurden in der Vorstudie auf Basis von Kostensätzen für vier Massnahmentypen grob geschätzt und anhand der angenommenen Lebensdauer auf jährliche Beträge umgelegt. Sofern keine Angaben von der SBB vorlagen, wurden im vorliegenden Bericht diese Annahmen verwendet. Der Hauptkostentreiber ist dabei die Länge der Massnahme und ob gleichzeitig eine Unterbausanierung vorgenommen wird. Auch die **Mehrkosten der Streckenunterbrüche** wurden nur grob anhand von einfachen Eigenschaften der Situationen geschätzt. Die geschätzten Kosten für die Massnahme USM unterscheiden sich teilweise stark von den angegebenen Investitionskosten der SBB. Die Datengrundlagen zur pauschalen Schätzung der Kostenkomponenten (Investitions- und Streckenunterbruchskosten) müssen weiter verbessert werden.
- In der Vorstudie wurden die Immissionen anhand eines Pegels in der Nacht beurteilt. In den Fallbeispielen ist die **massgebende Beurteilungsperiode** unterschiedlich: Teilweise sind die Anhalts- oder Richtwerte nachts überschritten, teilweise tags und in einzelnen

⁴⁰ Die Methode beruht auf der Annahme, dass der Betrachtungsperimeter so gewählt wird, dass alle von wahrnehmbaren Immissionen betroffenen und von einer Massnahme profitierenden Gebäude in die Beurteilung einbezogen werden. Sie macht dabei den Einbezug eines Gebäudes nicht von den geltenden Anhalts- bzw. Richtwerte abhängig, sondern allein von einer vorhandenen, wahrnehmbaren Immission.

Fallbeispielen in beiden Zeitperioden.

Aufgrund dieser Erkenntnis stellt sich erstens die Frage, ob generell sowohl die Tag- wie auch die Nachtperiode in die Bewertung einfließen sollen oder dies nur dann erfolgen soll, wenn in beiden Perioden die Anhalts- oder Richtwerte überschritten werden. Für die generelle Berücksichtigung beider Tagesperioden – losgelöst von der massgebenden Beurteilungsperiode – spricht der Umstand, dass eine ergriffene Massnahme sowohl am Tag wie auch in der Nacht Wirkung zeigt. Dementsprechend wären die Wirkungen an beiden Tagesperioden zu berücksichtigen, damit der Nutzen möglichst umfassend in die Beurteilung der Verhältnismässigkeit einfließen kann. Klar ist, dass eine Berücksichtigung unterschiedlicher bzw. mehrerer Perioden auch die Anforderungen an die Datengrundlagen erhöht. Zweitens muss geklärt werden, ob die ermittelten Tages- und Nachtnutzen gleich oder – weil die Immissionen insbesondere in der Nacht einen Einfluss auf die Gesundheit der betroffenen Personen haben – unterschiedlich zu gewichten sind.

Im gewählten Lösungsansatz in Anhang A wurde je ein NKI für die Tag- und die Nachtperiode berechnet. Waren beide Perioden massgebend, so wurde ein gewichteter Wert aus den NKI für Tag und Nacht gebildet.

- In der Vorstudie wurden die verwendeten Kosten- und Nutzenindikatoren auf eine einheitliche Streckenlänge von 100 m normiert. Im Hinblick auf die Interpretierbarkeit und Anwendbarkeit der Methode empfehlen wir, auf diese **Normierung der Indikatoren** in Zukunft **zu verzichten**. Mit der gewählten Transformationsfunktion und der Berücksichtigung der Streckenlänge als Hauptkostentreiber kann der Gleichbehandlung kleiner und grosser Massnahmen ausreichend Rechnung getragen werden.

5 Anhang A – Auswirkungen der Datenqualität auf die Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit

Nachfolgend wird die Anwendung der Methode (gemäss Kapitel 2) auf die Fallbeispiele (gemäss Kapitel 3) beschrieben. Auf dieser Grundlage wird anschliessend untersucht, welchen Einfluss fehlende oder verzerrte Daten auf die Festlegung eines NKI-Schwellenwerts zur Bestimmung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit nehmen können.

Der Anhang ist wie folgt aufgebaut:

- **Ergänzung der Datengrundlagen:** Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Methode sind vollständige Daten zu den beurteilten Massnahmen. Wie in Kapitel 3 gezeigt, fehlen einige relevante Grundlagen, insbesondere Kostenschätzungen und Wirkungskennzahlen zu den Massnahmen weiche Schwellenbesohlung (A), Bodenschlitz (C) und Spundwand (D). Aber auch zur Unterschottermatte (USM, Massnahme B) fehlen zum Teil Kosten- und Wirkungsangaben. In der Pilotversion der Beurteilungsmethode wurde ein pragmatisches Verfahren zur groben Abschätzung der Kosten und der Wirkung der Massnahmen entworfen. Dieses Verfahren wird im Grundsatz auch im hier vorliegenden Anhang A verwendet, um in den 17 Fallbeispielen die vorhandenen Datenlücken so weit wie möglich schliessen zu können und so die Fallbeispiele für die Anwendung der Beurteilungsmethodik nutzen zu können.
- **Berechnung des NKI:** Anschliessend wird für jedes Fallbeispiel der Nutzwert-Kosten-Index (NKI) berechnet. Dies geschieht für zwei Szenarien:
 - Verwendung der Daten SBB, ergänzt mit Annahmen zu Kosten und Wirkung
 - Alleinige Verwendung von pauschalen Annahmen zu Kosten und Wirkung (Verzicht auf Nutzung der SBB-Daten)
- **Auswirkungen der Datenqualität auf die Festlegung des NKI-Schwellenwerts:** Mittels eines Vergleichs der zwei Datenszenarien wird die Bedeutung der Datenqualität für die Festlegung eines minimal notwendigen NKI-Schwellenwerts untersucht.

5.1 Ergänzung der Datengrundlagen

Um die Methode auf Fallbeispiele anwenden zu können – auch ohne vollständig vorliegende Projektdaten – wurden im Rahmen der Vorstudie Kennzahlen zur Abschätzung der Wirkung einer Massnahme sowie zur Abschätzung der Kosten erhoben und in einer Schätzmethode umgesetzt:

- Die **Wirkung** der Massnahmen wird nach Massnahmentyp (USP, USM, Bodenschlitz, Spundwand) sowie nach Beschaffenheit der betroffenen Gebäude (Holz- oder Betondecke) differenziert. Die pauschalen Annahmen zur so differenzierten Wirkung wurden in der Vorstudie aus Daten der Schienenverkehrsunternehmen (BLS, SBB) hergeleitet.
- Die **Investitionskosten** werden auf Basis des Massnahmentyps (siehe oben) und der Dimensionierung (je nach Massnahmentyp: Länge, Tiefe, ein- oder zweiseitig) ermittelt. Die

jährlichen Kosten berücksichtigen auch die unterschiedliche Lebensdauer (je nach Massnahmentyp).⁴¹

- Die **Kosten der Betriebsunterbrüche** werden auf Basis von Angaben zum Streckentyp (Topstrecke bis Nebenstrecke) und Gleistyp (Einzelspur, Doppelspur, Mehrfachgleis) geschätzt. Auch hier erfolgt eine Umrechnung auf jährliche Kosten, auf Basis der unterschiedlichen Lebensdauern der Massnahmentypen.

Die Methode ermöglicht eine grobe Abschätzung dieser Komponenten, musste bei der Entwicklung aber den Anspruch an «Normkosten» oder «Normwirkungen» (noch) nicht erfüllen.

5.1.1 Kosten

a) Investitionskosten

Wie in Kapitel 3 gezeigt lagen für 10 Fallbeispiele bereits Kostenschätzungen zur Unterschottermatte vor. In den restlichen 7 Fallbeispielen wurden die Kosten für Unterschottermatten über die Kostenkenngrössen (gemäss Vorstudie) geschätzt.

Für die 10 vorliegenden Kostenschätzungen zeigte sich, dass die Kostenkenngrössen aus der Vorstudie für die Unterschottermatte grosse Unterschiede zu den Kostenschätzungen der SBB ergeben. Die berechneten Kostenkenngrössen lagen um mindestens den Faktor 2.6 höher. Mögliche Gründe für die Unterschiede könnten sein:

- Für Unterschottermatten und weiche Schwellenbesohlung wurden bei Doppelspurstrecken jeweils zwei voll zu sanierende Hauptgleise angenommen. Auch für die Bahnhofsvorfelder (Mehrfach) gehen wir von zwei voll zu sanierenden Gleisen aus (die am meisten befahrenen Gleise). Explizite Angaben zur angestrebten Zahl der sanierten Gleise im Falle von Doppelspurstrecken oder Mehrfachgleisen waren nur für einzelne Fallbeispiele vorhanden (z.B. VD-2).
- Bei der Unterschottermatte wurde bei den Kostenkenngrössen aus der Vorstudie von Kosten mit zusätzlichem Einbau der Heissmischtragschicht (inkl. verdichten und abwalzen des Unterbaus) ausgegangen. Ohne Einbau dieser Schicht würden die Kosten tiefer liegen.

Möglicher Handlungsbedarf:

Es ist zu prüfen, wie sich die teilweise grossen Unterschiede zwischen grober Kostenschätzung und projektspezifischen Kosten ergeben. Je nach Ergebnis der Prüfung muss allenfalls die Methode zur Kostenabschätzung angepasst werden oder es müssen projektspezifische Kostenschätzungen erstellt werden.

Für Spundwand und Bodenschlitz musste eine Annahme getroffen werden, ob auf beiden Seiten der Gleisanlage eine Massnahme vorgesehen ist oder nur auf einer Seite. Für die

⁴¹ Wie in Fussnote 10 erläutert, sind bei der weichen USP die Kosten für seitliche Halterungen (noch) nicht enthalten.

Kostenschätzung wurde vereinfachend angenommen, dass jeweils auf einer Seite die Massnahme auf der vollen Länge realisiert wird, auf der anderen Seite aber nur auf der halben Länge. Dadurch ergeben sich um 50% höhere Kosten als bei vollständiger einseitiger Realisierung. Ob in der Realität auf einer oder auf beiden Seiten eine Massnahme geprüft werden muss, muss projekt- bzw. massnahmenspezifisch auf Basis der im Perimeter vorhandenen Gebäude und deren Belastung entschieden werden.

Möglicher Handlungsbedarf

Allenfalls ist bei Spundwand und Bodenschlitzen in der Praxis eine separate Beurteilung jeder Gleisseite notwendig, damit der kausale Zusammenhang zwischen Massnahme und Wirkung deutlich wird.

Die folgende Abbildung zeigt die resultierenden Investitionskosten nach Fallbeispiel und Massnahme. Zusätzlich ist auch die zur Schätzung verwendete Länge der Massnahme sowie die angenommene Lebensdauer der Massnahmen angegeben. Die farbliche Hinterlegung zeigt, ob es sich um projektspezifische Kostenangaben der SBB handelt oder um Schätzungen mit Hilfe der Kostenkenngrössen aus der Vorstudie.

Abbildung 5-1: Lebensdauer, Länge und Investitionskosten (in CHF) der Massnahmen

Fallbeispiel	Massgebende Länge (m)	USM	weiche Schwellenbesohlung	Bodenschlitz	Spundwand
<i>Lebensdauer (J)</i>		30	20	80	80
SZ-1	315	913'500	53'550	1'006'740	1'294'650
ZH-1	130	377'000	22'100	415'480	534'300
TI-1	270	783'000	45'900	862'920	1'109'700
TI-2	630	1'827'000	107'100	2'013'480	2'589'300
TI-3	1'000	1'135'000	170'000	2'446'000	3'135'000
VD-1	300	870'000	51'000	733'800	940'500
TI-4	63	63'000	10'710	154'098	197'505
VD-2	550	170'000	46'750	1'345'300	1'724'250
FR-1	1'150	3'335'000	195'500	2'812'900	3'605'250
TI-5	18	9'000	1'530	44'028	56'430
TI-6	15	7'500	1'275	36'690	47'025
TI-7	38	19'000	3'230	92'948	119'130
TI-8	28	14'000	2'380	68'488	87'780
BL-1	185	536'000	31'450	452'510	579'975
TI-9	100	100'000	17'000	244'600	313'500
NE-1	600	1'740'000	102'000	1'467'600	1'881'000
AG-1	240	384'000	40'800	587'040	752'400

Farben: **Violett** = Projektspezifische Kostenangaben SBB, **Rot** = Kostenkenngrössen aus der Vorstudie

Hinweis: Die Lebensdauer der Massnahmen wurden aus der Vorstudie übernommen.

Die in der Abbildung (zweite Spalte) angegebene, massgebende **Länge** wurde aus den Angaben «Länge untersuchter/realisierter Massnahme (m)» (A), der Anzahl sanierter Gleise (B) und «Länge untersuchter Perimeter (m)» (C) wie folgt hergeleitet:

- Ist keine Angabe zur Länge der Massnahme (A) vorhanden, wird die Angabe zur Länge des untersuchten Perimeters (C) verwendet.
- Sofern eine Angabe zur Länge der Massnahme (A) vorhanden ist, wird dieser Wert durch die Anzahl der sanierten Gleise (B) dividiert. Ist der resultierende Wert grösser als die Angabe zum untersuchten Perimeter (C), wird C als massgebende Länge verwendet.

Die **Lebensdauer** (zweite Zeile der Abbildung) bezieht sich auf die Dauer der anhaltenden Reduktionswirkung der Massnahme. Die Lebensdauer der Massnahmen wurden aus der Vorstudie übernommen und es handelt sich demnach nicht um an die Fallbeispiele angepasste Werte, sondern um pauschale Annahmen pro Massnahmentyp, deren Werte für die künftig anzuwendende Methode noch präzisiert werden müssen, so dass sie von den Beteiligten

akzeptiert werden können. Die Lebensdauern variieren mit dem Hersteller des Materials sowie mit der Nutzungsintensität der Gleisabschnitte. Auch kann die Lebensdauer künstlich durch den Gleiserneuerungszyklus verkürzt oder verlängert werden.

Die folgende Abbildung zeigt die resultierenden jährlichen Beträge, die in die Berechnung des NKI einfließen. Zur Berechnung der jährlich gleichbleibenden Kosten (Annuität) verwenden wir einen Diskontierungszinssatz von 2.0% und die oben angegebene Lebensdauer.

Abbildung 5-2: Zins- und Amortisationskosten pro Jahr (Annuität) der Fallbeispiele (in CHF)

Fallbeispiel	USM	weiche Schwellenbesohlung	Bodenschlitz	Spundwand
SZ-1	41'000	3'000	25'000	33'000
ZH-1	17'000	1'000	10'000	13'000
TI-1	35'000	3'000	22'000	28'000
TI-2	82'000	7'000	51'000	65'000
TI-3	50'700	10'400	61'500	78'900
VD-1	38'800	3'100	18'500	23'700
TI-4	2'800	700	3'900	5'000
VD-2	7'600	2'900	33'800	43'400
FR-1	148'900	12'000	70'800	90'700
TI-5	400	100	1'100	1'400
TI-6	300	100	900	1'200
TI-7	800	200	2'300	3'000
TI-8	600	100	1'700	2'200
BL-1	23'900	1'900	11'400	14'600
TI-9	4'500	1'000	6'200	7'900
NE-1	77'700	6'200	36'900	47'300
AG-1	17'100	2'500	14'800	18'900

Farben: **Violett** = Basis bilden projektspezifische Kostenschätzungen der SBB

b) Kosten von Betriebsunterbrüchen

Die Methode sieht vor, neben Investitionskosten auch die Kosten von Betriebsunterbrüchen einzubeziehen. Diese mussten mit dem in der Vorstudie beschriebenen Vorgehen grob abgeschätzt werden. Die Methode erfordert dazu folgende Annahmen pro Fallbeispiel:

- Länge des betroffenen Gleisabschnitts
- Gleistyp (Einspurig, Doppelspur, Mehrfachgleis)
- Streckentyp (Topstrecke, Hauptstrecke, Nebenstrecke etc.)

- Zeitperiode der Sanierung (Tag/Wochenende oder Nacht)

Angaben zur Länge und zum Gleistyp waren für alle Fallbeispiele vorhanden.⁴² Der Streckentyp wurde auf Basis der Angaben zu den Anzahl Zügen pro Tag (Personen- und Güterverkehr) hergeleitet. Für die zugrunde gelegte Zeitperiode wurde durchgehend Tag/Wochenende angenommen.

Die folgende Abbildung zeigt die resultierenden Kosten von Betriebsunterbrüchen nach Fallbeispiel und Massnahmentyp.

Abbildung 5-3: Grob geschätzte Kosten von Betriebsunterbrüchen pro Jahr (Annuität) der Fallbeispiele (in CHF)

Fallbeispiel	USM	weiche Schwellenbesohlung	Bodenschlitz	Spundwand
SZ-1	12'810	230	100	50
ZH-1	680	60	30	-
TI-1	1'360	60	30	30
TI-2	29'670	400	170	110
TI-3	5'090	290	120	70
VD-1	14'150	270	110	60
TI-4	2'550	-	-	-
VD-2	1'620	70	80	30
FR-1	5'850	350	140	70
TI-5	140	-	-	-
TI-6	140	-	-	-
TI-7	320	-	-	-
TI-8	250	-	-	-
BL-1	8'740	130	60	-
TI-9	860	20	10	-
NE-1	3'050	180	70	50
AG-1	11'300	130	60	60

Hinweis: Es handelt sich um grob geschätzte Werte, welche nicht direkt auf Kostangaben der SBB beruhen.

⁴² Wobei wir an dieser Stelle nochmals darauf hinweisen, dass die Längenangaben schwer zu interpretieren sind.

5.1.2 Betroffenheit

Die Betroffenheit (Belastung) im Ausgangsniveau, also ohne Massnahme, stellt das erzielbare Nutzenpotenzial einer Massnahme dar. Es ergibt sich aus den betroffenen Personen verknüpft mit deren jeweiligen Belastung durch Erschütterungen oder abgestrahlten Körperschall.

Die Ergänzung von Daten zur Immission in der Ausgangslage ist ohne die Durchführung von projekt- und massnahmenspezifischen Messungen oder Modellierungen der Immissionen für die massgebende Beurteilungsperiode (Tag/Nacht) nicht möglich. Bei der Berechnung des NKI werden deshalb Gebäude ohne Angaben zur Immission ohne Massnahme nicht berücksichtigt.

Von den SBB wurden (soweit vorhanden) auch Angaben zur Immission am Tag und zur Wirkung der Massnahmen am Tag bereitgestellt. Dies liegt daran, dass teilweise Projekte aufgrund von Überschreitungen der Anhalts- bzw. Richtwerte am Tag oder am Tag und in der Nacht geprüft werden.

Die Beurteilungsmethode sollte in der Lage sein, eine Massnahme unabhängig von der massgebenden Periode beurteilen zu können. Dies erfordert eine Weiterentwicklung der in der Pilotversion vorgeschlagenen Methode. Damals wurde davon ausgegangen, dass Erschütterungen und abgestrahlter Körperschall insbesondere in der Nacht einen Einfluss auf die Gesundheit der betroffenen Personen haben. Die relevanten Indikatoren (Betroffenheit bzw. Immissionen im Ausgangsniveau, Anteil Schienengüterverkehr) wurden in der Pilotversion entsprechend über die Nachtperiode definiert (Immissionen nachts, Anteil Schienengüterverkehr nachts).

Möglicher Handlungsbedarf

Um das Konzept der zwei Perioden (Tag/Nacht) in der Methode abbilden zu können sind zunächst folgende Fragen zu klären:

- Ist der NKI standardmässig für beide Perioden zu berechnen, um möglichst alle Wirkungen (am Tag und in der Nacht), unabhängig von geltenden Anhalts- oder Richtwerten zu erfassen?
- Sind beide Perioden zu verwenden, wie wird dann der gesamte NKI gebildet? (spezifische Gewichtung Tag-Nacht, nur massgebende Periode mit Überschreitung der Anhalts- bzw. Richtwerte oder Maximum der beiden Einzelwerte)
- Sind zu Berechnung des NKI für die Tagperiode auch die Sonderfaktoren anzupassen (z.B. Anteil Güterverkehr tags am 24h-Verkehr für die Tagperiode statt Anteil nachts)?
- Welche Auswirkungen haben die Antworten auf die obigen Fragen auf die Datenerhebung und den Datenbedarf?

Um für den vorliegenden Bericht das Konzept der massgebenden Periode berücksichtigen zu können, wurde die Pilotversion der Methode provisorisch wie folgt angepasst:

- Es wird jeweils ein separater NKI für die Tag- und die Nachtperiode berechnet. Die Nachtperiode wird wie in der Pilotversion berechnet. Für die Tagperiode werden die Immissionen und Güterverkehrsanteile tags (statt nachts) zur Berechnung verwendet.
- Ist nur die Nachtperiode massgebend, so wird direkt der NKI der Nachtperiode verwendet. Ist nur die Tagperiode massgebend, so wird direkt der NKI der Tagperiode verwendet.
- Sind in einem Fallbeispiel beide Perioden massgebend, werden die NKI der beiden Perioden gewichtet und aufsummiert. Der NKI nachts wird mit 60% gewichtet und der NKI tags mit 40%. Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, dass insbesondere nachts die gesundheitlichen Folgen von Erschütterung und abgestrahltem Körperschall gut dokumentiert sind (Aufwachreaktionen etc.).

5.1.3 Wirkung

Die Wirkung einer Massnahme (im engeren Sinn) stellt die physikalisch messbare Reduktion der Immission (im Vergleich zum Ausgangsniveau) dar. In der Pilotversion wird die Immissionsreduktion pro Gebäude mit den darin vorhandenen Personen und Arbeitsplätzen gewichtet.

a) Immissionen mit und ohne Massnahme für massgebende Zeitperiode

Sofern nicht direkt Angaben zur Wirkung einer Massnahme vorhanden sind (Abnahme der Immission), muss die Wirkung als Differenz der Immission vor und nach der Realisierung einer Massnahme bestimmt werden. Diese Angaben müssen sowohl für die Erschütterung als auch für abgestrahlten Körperschall vorhanden sein und jeweils für die massgebende Zeitperiode (Tag, Nacht oder Beide) vorliegen.

Liegen also weder zur Wirkung (direkt) noch zur Ausgangssituation entsprechende Angaben vor, so kann auch die Wirkung nicht ermittelt werden. Entsprechende Fallbeispiele werden in den Ergebnissen mit einem «-» ausgewiesen.

b) Berechnung einer pauschalen Wirkung

In einzelnen Fallbeispielen lagen keine Angaben zur Immission mit Massnahme in den massgebenden Perioden vor (z.B. TI-5, TI-6 oder TI-7). Um die Methode anwenden zu können, wurden fehlende Werte zur Wirkung der Massnahmen Unterschootermatte, weiche Schwellenbesohlung und Spundwand durch das in der Vorstudie vorgeschlagene Vorgehen geschätzt.⁴³ Es wurden folgende Annahmen zur pauschalen Wirkung nach Deckenmaterial und Massnahme getroffen.

⁴³ Für Bodenschlitze lagen zum Zeitpunkt der Erstellung der Vorstudie zu wenig Erfahrungswerte zur Wirkung vor, weshalb auf die Abschätzung einer pauschalen Wirkung verzichtet wurde.

Abbildung 5-4: Annahmen zur Wirkung der Massnahmen (Abminderungsfaktoren)

Abminderung nach Deckenmaterial	Erschütterung				Abgestrahlter Körperschall			
	A Schwellenbesohlung	B Unterschottermatte	C Bodenschlitz	D Spundwand	A Schwellenbesohlung	B Unterschottermatte	C Bodenschlitz	D Spundwand
Holz [-,dB]	1.26	1.16	1.22	1.32	8.3	9.1	9.7	k.A.*
Beton [-,dB]	1.07	0.966	1.76	1.64	8.1	8.9	9.5	k.A.*

* Für die Spundwand liegt bisher kein Abminderungsfaktor für abgestrahlten Körperschall vor.

Farbgebung: Grün = positive Wirkung, Gelb = Geringe positive Wirkung, Rot = negative Wirkung

Quelle: Berechnungen durch ExpertConsult (M. Ringger)

Möglicher Handlungsbedarf

Die von der SBB zur Verfügung gestellten Messwerte oder Prognosen zur Wirkung der Unterschottermatte unterscheiden sich teilweise stark von den – als pauschale Annahmen – deklarierten Wirkungen in der Vorstudie.

Insbesondere beim Fallbeispiel TI-3 wirkt sich die Verwendung von pauschalen Annahmen zur Wirkung einer USM stark auf die Bewertung aus. Grund dafür ist, dass die pauschale Annahme im Falle einer Betondecke von einer negativen Wirkung ausgeht.⁴⁴ Die Daten der SBB zeigen aber auch bei Gebäuden mit Betondecke fast durchgehend eine positive Wirkung.

Die durchschnittliche Wirkung der Unterschottermatte in den Fallbeispielen (gemäss Daten SBB) liegt für Erschütterungen bei einem Faktor von 1.22 für Betondecken und 1.01 bei Holzdecken. Die pauschale Wirkungsannahme aus der Vorstudie geht für Betondecken vom Faktor 0.966 und für Holzdecken vom Faktor 1.16 aus.⁴⁵

c) Perimeter / erfasste Gebäude

Im Fallbeispiel TI-5 ist nur ein Gebäude erfasst, mit einer Betondecke. Gemäss Definition der Abminderungsfaktoren für Erschütterungen ist bei dieser Deckenart mit einer negativen Wirkung der Unterschottermatte zu rechnen. Die Gesamtwirkung der Massnahme ist aus diesem

⁴⁴ Die Annahme einer negativen Wirkung der USM bei Betondeckung basiert auf dem Kenntnisstand der Vorstudie Ecoplan / Gruner / Swiss TPH (2019). Gemäss neuen Erkenntnissen der SBB muss die USM bei Betondecken nicht in jedem Fall zu einer negativen Wirkung führen.

⁴⁵ Für abgestrahlten Körperschall verhält es sich tendenziell umgekehrt. Für Betondecken resultiert gemäss Daten SBB im Durchschnitt eine Abnahme der Immission um 8.5 dB, gemäss pauschalen Annahmen in der Vorstudie nimmt die Immission um 8.9 dB ab. Bei Holzdecken liegt der Durchschnitt gemäss SBB-Daten bei 8.5 dB, gemäss pauschalen Annahmen liegt der Wert bei 9.1 dB. Die Unterschiede sind aber im Vergleich zu den Differenzen bei den Erschütterungen gering.

Grund negativ. Weil die Wirkung in Bezug auf den abgestrahlten Körperschall aber positiv ist, wird dennoch ein positiver NKI berechnet.

Auch für weitere Fallbeispiele ist im Perimeter lediglich ein einzelnes Gebäude (oder teilweise 2 Gebäude) erfasst. Ob allenfalls weitere Gebäude von den Massnahmen profitieren könnten (bzw. von Immissionen betroffen sind, die über der Wahrnehmungsgrenze liegen), lässt sich auf Basis der Daten nicht feststellen und müsste unter Berücksichtigung der Lage vor Ort beurteilt werden. Um in der Praxis eine adäquate Anwendung der Methodik sicherzustellen, sind bei der Erfassung der Gebäude folgende Grundregeln einzuhalten:

- In der Tendenz sollten eher mehr Gebäude als notwendig im Perimeter erfasst werden.
- Es sind auch Gebäude zu erfassen, die unterhalb der Anhalts- bzw. Richtwerte belastet sind, aber über der Wahrnehmungsgrenze liegen und somit potenziell ebenfalls von einer Massnahme profitieren können.
- Es sind sowohl Gebäude zu erfassen, die Wohnungen enthalten, als auch jene, die nur Arbeitsplätze beherbergen.

Teilweise ist die Zahl der Gebäude pro Fallbeispiele sehr klein und es ist unklar, welches Vorgehen zur Auswahl der zu erfassenden Gebäude gewählt wurde.

Möglicher Handlungsbedarf

Präzisierung der Wahl des Betrachtungsperimeters bzw. der Auswahl der im Betrachtungsperimeter zu erfassenden Gebäude. Wichtig im Hinblick auf die Festlegung der weiteren Parameter der NKI-Methode ist die Anwendung eines einheitlichen Vorgehens.

5.1.4 Sonderfaktoren

Die Sonderfaktoren bilden Eigenschaften der Belastungssituation ab, die sich auf die Belästigung durch Erschütterung / abgestrahlter Körperschall auswirken, ohne dass sich dies in der gemessenen Höhe der Immission zeigt. Die folgende Abbildung zeigt die ermittelten Sonderfaktoren.

Abbildung 5-5: Sonderfaktoren: Anteil Gebäude mit Sicht aufs Gleis und Anteil Güterverkehr nachts

Fallbeispiel	Anzahl Gebäude erfasst	Anteil erfasster Gebäude mit Sicht auf Gleis (ES >0)	Anteil erfasster Gebäude mit Sicht auf Gleis (KS > 0)	Anteil Güterverkehr nachts am 24h-Verkehr	Anzahl bindende Sonderfaktoren
Schwelle		35%	35%	20%	
SZ-1	27	22%	22%	31%	1
ZH-1	22	27%	27%	1%	0
TI-1	30	87%	87%	22%	3
TI-2	45	80%	80%	19%	2
TI-3	24	88%	88%	25%	3
VD-1	6	83%	83%	10%	2
TI-4	1	100%	100%	0%	2
VD-2	31	74%	74%	4%	2
FR-1	2	50%	50%	4%	2
TI-5	1	0%	0%	55%	1
TI-6	1	100%	100%	55%	3
TI-7	1	100%	100%	55%	3
TI-8	1	100%	100%	55%	3
BL-1	13	92%	92%	12%	2
TI-9	2	100%	100%	0%	2
NE-1	13	85%	85%	19%	2
AG-1	11	100%	100%	9%	2

ES = Erschütterung; KS = Abgestrahlter Körperschall

Die beiden Indikatoren zur Erfassung der Sicht auf das Gleis weisen in allen Fallbeispielen identische Werte auf. Dies zeigt, dass in der Regel Gebäude mit einer Belastung durch Erschütterungen auch von abgestrahltem Körperschall betroffen sind bzw. dass die beiden Effekte miteinander gekoppelt sind. Unterschiedliche Werte wären insbesondere zu erwarten, wenn pro Effekt nur jene Gebäude gezählt würden, die oberhalb eines je nach Effekt differenzierten Wahrnehmungsgrenze (>0) liegen. In diesem Fall wäre davon auszugehen, dass sich die beiden Indikatoren auch je nach Zeitperiode (Tag/Nacht) unterscheiden würden.

5.2 Ergebnisse NKI

Nachfolgend wurde der NKI für die Fallbeispiele in zwei Szenarien berechnet:

- Verwendung der Daten SBB, ergänzt mit grober Schätzung der Kosten und Wirkung
- Alleinige Verwendung der grob geschätzten Kosten und Wirkung

Weil nur bei der Unterschottermatte (USM) überhaupt Daten der SBB vorhanden sind und deshalb nur dort Unterschiede in den Annahmen möglich sind, konzentrieren wir uns auf diesen Massnahmentyp.⁴⁶

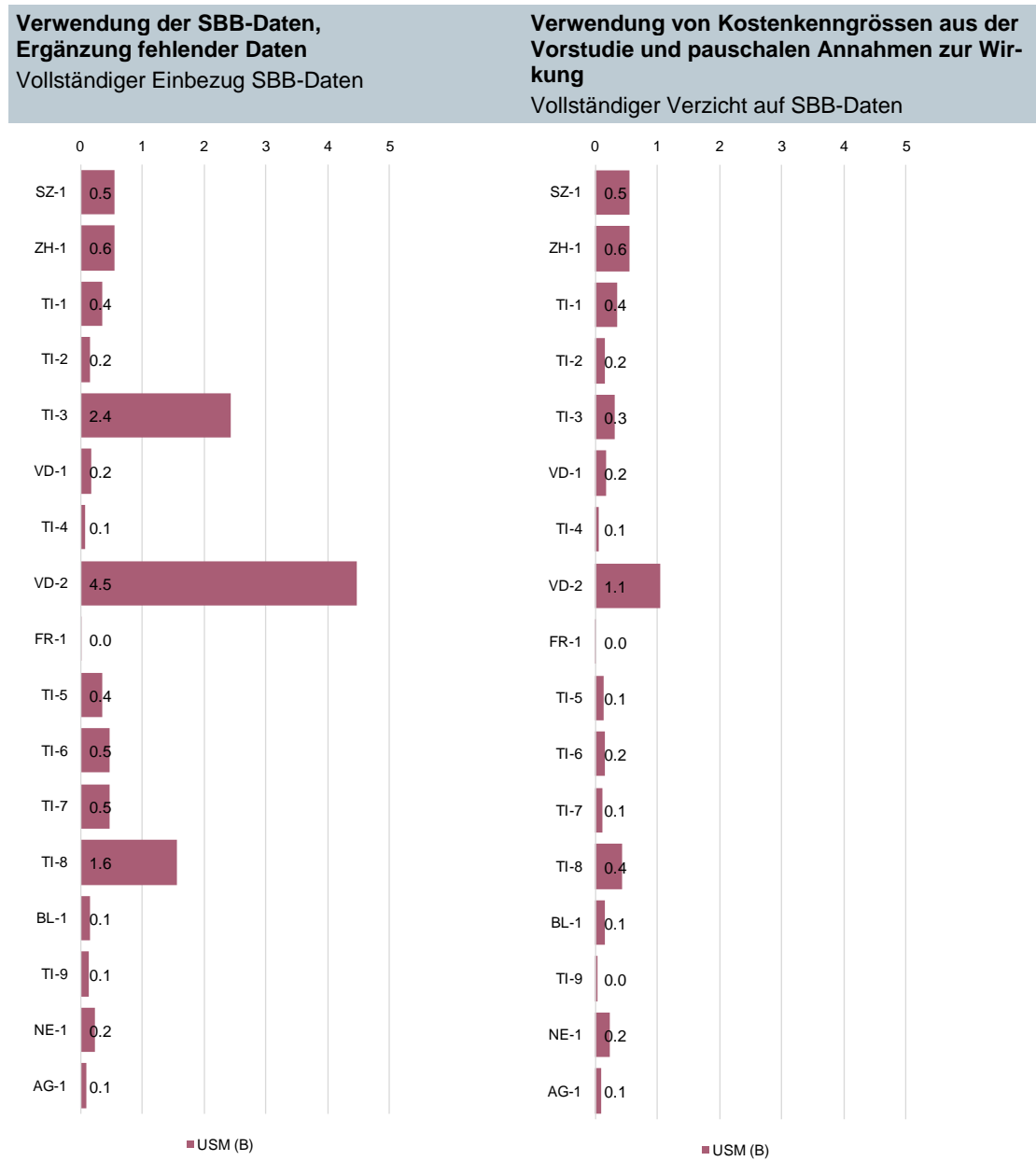
Die folgende Abbildung 5-6 zeigt den NKI in beiden Szenarien für die Unterschottermatte im direkten Vergleich. Die Ergebnisse werden für die jeweils massgebende Periode (Tag, Nacht oder Beide) ausgewiesen. Links ist der NKI bei Verwendung der ergänzten SBB-Daten abgebildet, rechts im Vergleich dazu das Ergebnis, falls nur Kostenkenngrössen aus der Vorstudie und pauschale Annahmen zur Wirkung verwendet werden (also die Daten der SBB zu Kosten und Wirkung weggelassen werden).

Es wird direkt sichtbar, dass die auf der linken Seite mit einem hohen NKI bewerteten Fallbeispiele TI-3, VD-2 und TI-8 durch Verzicht auf die SBB-Daten deutlich kleinere Werte erhalten. Auch in den Fallbeispielen TI-5, TI-6 und TI-7 nimmt der NKI deutlich ab. Bei all diesen handelt es sich um Fallbeispiele mit vollständigen Kosten- und Wirkungsdaten der SBB. Der NKI nimmt bei diesen Fallbeispielen um den Faktor 2 bis 8 ab.

Hierbei stellt sich die Frage, wie stark dies die Festlegung eines Schwellenwerts für den NKI beeinflusst. Nach unserer Einschätzung ist für die Konsistenz der auf Basis der Daten getroffenen Entscheide sowohl der absolute Wert des NKI als auch die Reihenfolge der Fallbeispiele relevant. Auf diesen Punkt wird im anschliessenden Abschnitt 5.3 eingegangen.

⁴⁶ Bei Betrachtung aller Massnahmentypen fallen folgende Punkte auf: Die Massnahme weiche Schwellenbesohlung (A) schneidet in allen Fallbeispielen mit dem höchsten NKI ab. Dies liegt insbesondere an den im Vergleich zu anderen Massnahmentypen geringen Kosten. Dabei ist zu erwähnen, dass diese Kosten nur grob geschätzt wurden und dazu keine Kostenangaben der SBB vorlagen. Für die Spundwand wurden wegen fehlender Angaben zur Wirkung keine Ergebnisse berechnet.

Abbildung 5-6: Vergleich des NKI für die massgebende Periode (Tag, Nacht oder Beide)
 Massnahme Unterschottermatte



Hinweis: Die Ergebnisse der Fallbeispiele SZ-1, ZH-1, TI-1 und TI-2 sind nicht mehr direkt mit den Werten aus der Vorstudie vergleichbar, da andere Längenangaben verwendet wurden und auf eine Normierung verzichtet wurde.

5.3 Auswirkung der Datenqualität auf die Festlegung eines Schwellenwerts für den NKI

Exkurs: Grundsätzliche Erwägungen zur Festlegung eines NKI-Schwellenwerts

Der Schwellenwert für den NKI zur Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit muss im Rahmen einer politischen Interessenabwägung festgelegt werden. Dabei wird es nicht darum gehen, den Schwellenwert für den NKI einfach so zu wählen, dass man bei Anwendung der Beurteilungsmethodik mit dem festgelegte NKI-Schwellenwert in möglichst vielen Fällen zu einem gleichen Investitionsentscheid wie die SBB kommt. Vielmehr muss in der Arbeitsgruppe eine Einschätzung dazu erarbeitet werden, bei welchem minimalen NKI-Schwellenwert man noch von einer Verhältnismässigkeit der Investition sprechen kann. Die Arbeitsgruppe muss also losgelöst von den SBB-Entscheiden einen minimal erforderlichen NKI-Schwellenwert festlegen.

Der in diesem Bericht erwähnten NKI-Schwellenwert ist vor diesem Hintergrund als hypothetischer Schwellenwert zu verstehen. Er dient lediglich dazu, die von den Datengrundlagen und vom Schwellenwert abhängige Dynamik der getroffenen Entscheide zur wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit aufzeigen zu können.

Nachfolgend haben wir für die Unterschottermatte auf Basis der oben berechneten NKI für die beiden Szenarien untersucht, wie sich die Verwendung von Daten aus unterschiedlichen Quellen auf den Prozess zur Festlegung eines minimal notwendigen NKI-Schwellenwerts auswirken kann.

Die folgende Abbildung 5-7 zeigt die Rangfolge der Fallbeispiele und die jeweiligen NKI für beide Szenarien:

- Links sind Reihenfolge und NKI bei Verwendung der SBB-Daten abgebildet.
- Rechts sind Reihenfolge und NKI bei Verzicht auf SBB-Daten abgebildet.

Zur Illustration der Bedeutung dieser Veränderungen für die Festlegung des NKI-Schwellenwerts haben wir einen *hypothetischen* Schwellenwert von 0.35⁴⁷ angenommen. Dies entspricht dem Median der NKI unter Verwendung der SBB-Daten (entspricht dem NKI des Fallbeispiels TI-5). In der Abbildung rot markiert sind jene Fallbeispiele, die unterhalb dieses Werts liegen. Grüne Fallbeispiele liegen oberhalb dieses Werts.

Je nach verwendetem Datenset ergeben sich grössere Veränderungen in der Reihenfolge: Bei vollständigem Verzicht auf die Daten der SBB verlieren die Fallbeispiele TI-3, TI-5, TI-7 und TI-6 drei oder mehr Ränge. TI-8 und TI-9 verlieren ein bis zwei Ranglistenplätze. Es handelt sich dabei um Fallbeispiele, bei denen vollständige SBB-Daten vorliegen.

⁴⁷ Dieser *hypothetische* Schwellenwert dient wie erwähnt zu **rein illustrativen** Zwecken. Für die definitive Festlegung bedarf es einer politischen Interessenabwägung, die in einer nächsten Projektphase zu erfolgen hat (vgl. dazu auch den einleitenden Exkurs zu diesem Kapitel).

Bei Anwendung des gleichen (auf Basis der SBB-Werte festgelegten) hypothetischen NKI-Schwellenwerts unter Verzicht auf die SBB-Daten würden deshalb neu die vier Fallbeispiele TI-3, TI-6, TI-7 und TI-5 nicht mehr als wirtschaftlich verhältnismässig gelten. Diese vier Fallbeispiele sind auf der linken Seite der Tabelle **fett markiert** (über dem schwarzen Strich) und auf der rechten Seite in **roter Schrift** hervorgehoben (unter dem schwarzen Strich).

Abbildung 5-7: Veränderung der Rangfolge und wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit zwischen den beiden Szenarien (bei einem hypothetischen NKI-Schwellenwert von 0.35)

Verwendung Daten SBB ergänzt mit groben Schätzungen		Alleinige Verwendung der groben Schätzungen (ohne Daten SBB)	
Fallbeispiel	NKI	Fallbeispiel	NKI
VD-2	4.48	VD-2	1.05
TI-3	2.42	ZH-1	0.55
TI-8	1.56	SZ-1	0.54
ZH-1	0.55	TI-8	0.44
SZ-1	0.54	TI-1	0.35
TI-6	0.48	TI-3	0.32
TI-7	0.48	NE-1	0.23
TI-1	0.35	VD-1	0.18
TI-5	0.35	TI-2	0.15
NE-1	0.23	TI-6	0.15
VD-1	0.18	BL-1	0.15
TI-2	0.15	TI-5	0.14
BL-1	0.15	TI-7	0.12
TI-9	0.13	AG-1	0.09
AG-1	0.10	TI-4	0.05
TI-4	0.08	TI-9	0.03
FR-1	0.02	FR-1	0.02

Legende: grün = wirtschaftlich verhältnismässig bei Annahme des hypothetischen NKI-Schwellenwerts von 0.35; rot = nicht wirtschaftlich verhältnismässig
rote Schrift = Veränderung der Beurteilung durch Verwendung anderer Daten

Dieses Beispiel zeigt auf, dass durch einen Verzicht auf die Daten der SBB und alleinige Abstützung auf pauschale Annahmen die Rangfolge der Fallbeispiele und auch die Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit – bei gegebenem hypothetischem NKI-Schwellenwert – beeinflusst werden kann.⁴⁸ Dies zeigt, wie wichtig eine einheitliche Datenqualität ist, um den NKI-Schwellenwert festlegen zu können.

⁴⁸ Auch bei Einschlagen des umgekehrten Wegs (Festlegung NKI-Schwellenwert auf Basis der groben Schätzungen, Verwendung von SBB-Daten bei der Anwendung der Methode) würde die Veränderung in umgekehrter Richtung eintreten.

Vor der Festlegung des minimal notwendigen NKI-Schwellenwerts ist aus diesem Grund genauer zu untersuchen, woher die Unterschiede zwischen den SBB-Daten und den pauschalen Kosten- und Wirkungsparametern kommen und wie diese verringert werden können. Auf jeden Fall muss sichergestellt werden, dass sämtliche Kosten- und Wirkungsdaten in einheitlicher Qualität vorliegen.

Literaturverzeichnis

BAFU, Bundesamt für Umwelt / BAV, Bundesamt für Verkehr (2022): Checkliste Umwelt für Eisenbahnanlagen.

BUWAL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1999): Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen.

Ecoplan / B+S, Hindernisfreie (2016): Hindernisfreie Bushaltestellen: Grundlagen zur Erarbeitung der Arbeitshilfe zur behindertengerechten Anpassung von Bushaltestellen im Kanton Bern. S. 90.

Ecoplan / Gruner / Swiss TPH (2019): Wirtschaftliche Verhältnismässigkeit von baulichen Massnahmen gegen Erschütterung und abgestrahlten Körperschall im Schienenverkehr (im Auftrag des BAFU).

Ecoplan / Sinus (2018): Index zur wirtschaftlichen Tragbarkeit (WTI) von Lärmschutzmassnahmen: Sensitivitätsanalyse und Empfehlungen zur Revision.