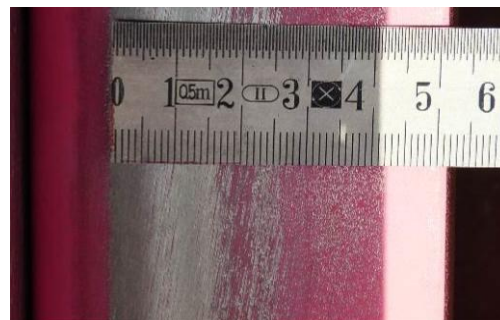
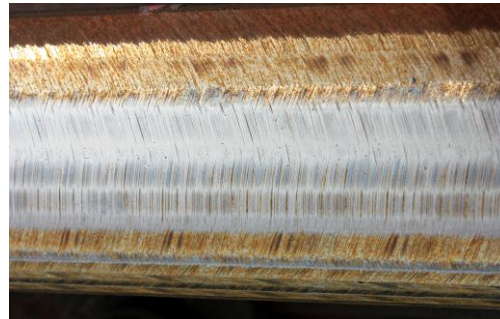
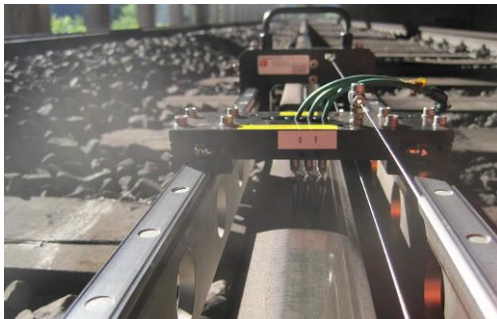


Bericht 04-03-01054 Rev. 0.00

Bundesamt für Umwelt (BAFU) - Synthesebericht Schienenpflege

Projekt-Nr.: 15.075.00



Zusammenfassung der akustischen Untersuchungen zu verschiedenen Schienenpflegeverfahren

	Name	Datum	
Erstellt	R. Sieglitz	20.07.2015	
Geprüft	P. Huber	04.08.2015	
Freigegeben	J. Minx	04.08.2015	

Verteiler

Firma / Abteilung / Name	Bemerkungen
BAFU / Sektion Eisenbahnlärm / Jean-Daniel Liengme PROSE AG / Archiv	

Dieses Dokument gibt Kenntnis von Gegenständen, an denen die PROSE AG, 8400 Winterthur (Schweiz), Eigentumsrechte hat. Weder Erhalt noch Besitz dieses Dokuments verleihen oder übertragen das Recht, seinen Inhalt als Ganzes, einen Teil davon, eine darin enthaltene Information, oder irgendwelche Gegenstände oder Vorrichtungen zu kopieren oder bekannt zu machen oder irgendwelche Methoden oder Prozesse anzuwenden, ausser nach schriftlicher Genehmigung durch die PROSE AG, 8400 Winterthur (Schweiz) oder schriftlicher Vereinbarung mit dieser Firma.

Dieses Schreiben wurde maschinell erstellt und ist ohne Unterschrift gültig.

Revisionsindex

	Erstellt	Geprüft	Freigegeben	Datum
04-03-01054	R. Sieglitz	P. Huber	J. Minx	04.08.2015
Rev.				
Rev.				
Rev.				
Rev.				
Rev.				

Modifikationen

Revision	Beschreibung

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Ausgangslage, Ziel und Umfang dieses Berichtes	7
3	Kurzbeschreibung der untersuchten Schienenpflegeverfahren	8
4	Zeitliche Entwicklung der Schienenrauheit	10
5	Vergleich der Änderung Schienenrauheit mit der Änderung Vorbeifahrpegel	13
6	Vor- und Nachteile der angewendeten Schienenpflegeverfahren aus akustischer Sicht	15
7	Empfehlungen aus akustischer Sicht	19
8	Literatur	20

1 Zusammenfassung

Dieser Bericht fasst die Erkenntnisse aus den folgenden in der Vergangenheit durchgeführten akustischen Untersuchungen zu Schienenpflegeverfahren zusammen:

- Konventionelles Schleifen (Göschenen) [1]
- Konventionelles + Akustisches Schleifen (Kerzers) [1]
- Konventionelles + Akustisches + Rutschersteinschleifen (Kerzers) [1]
- High Speed Grinding (Celle) [2]
- Schienenfräsen (Thun) [3]
- Schienenfräsen (Lengnau) [4]

Der Bericht geht auf die Eigenschaften der verschiedenen untersuchten Schleifverfahren ein und beschreibt Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Detailliert betrachtet werden die zeitliche Entwicklung der Schienenrauheit sowie der Zusammenhang zwischen der durch die Bearbeitung „hinterlassenen“ Schienenrauheit und der sich ergebenden Vorbeifahrpegel. Die untersuchten Schienenpflegeverfahren werden anhand der Schienenrauheiten und sich ergebenden Vorbeifahrpegel akustisch bewertet, Vor- und Nachteile werden aufgezeigt. Tabelle 1-1 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Parameter der untersuchten Schienenpflegeverfahren und stellt diese gegenüber.

Aus akustischer Sicht wird es als lohnend angesehen, entstandene tonal wirksame Schleifriefen mit einem geeigneten Verfahren zu entfernen. Basierend auf den untersuchten Verfahren wird ein Versuch angeregt, bei dem nach einem konventionellen Schleifvorgang ein High Speed Grinding durchgeführt wird. Akustisches und Rutschersteinschleifen zeigten nicht die erwarteten akustischen Vorteile.

Weiterhin wird angeregt, wenn möglich die Vorschubgeschwindigkeit beim Schienenschleifen so anzupassen, dass ein den Streckenabschnitt mit typischer Geschwindigkeit passierender Zug keine Resonanzen im Gleis anregt.

Tabelle 1-1: Gegenüberstellung der wichtigsten Parameter der untersuchten Schienenpflegeverfahren

	Konventionelles Schleifen	...zzgl. akustischem Schleifen	...zzgl. Rutschersteinschleifen	High Speed Grinding	Schienenfräsen
Eigenschaften der untersuchten Schienenpflegeverfahren					
Primäre Ziele	Reprofilierung Schienenkopf, Behebung von Schienendefekten	Akustisch optimierte Fahrfläche	Akustisch optimierte Fahrfläche	Entfernen von Anrissen im Schienenkopf	Reprofilierung Schienenkopf, Behebung von grösseren Schienendefekten
Materialabtrag	Ca. 0,2 bis 2 mm	Ca. 0,5 mm	< 0,1 mm	Ca. 0,1 mm	Ca. 0,5 bis 3 mm
Bearbeitungsart	Schleifen	Schleifen	Schleifen	Schleifen	Fräsen
Bearbeitungsrichtung	Quer	Quer	Längs	Diagonal	Längs
Bearbeitungsgeschwindigkeit	Ca. 3-5 km/h	Ca. 3 km/h	Ca. 3 km/h	Ca. 80 km/h	< 1 km/h
Untersuchungszeitraum	780'000 / 1'860'000 Achsüberfahrten	780'000 Achsüberfahrten	780'000 Achsüberfahrten	320'000 Achsüberfahrten	1'350'000 Achsüberfahrten

	Konventionelles Schleifen	...zzgl. akustischem Schleifen	...zzgl. Rutschersteinschleifen	High Speed Grinding	Schienenfräsen
Zeitliche Entwicklung der Schienenrauheit					
Niveau der kurzwelligen Schienenrauheit nach der Bearbeitung	Mittel	Niedrig	Niedrig	Mittel, aber diagonal zur Fahrtrichtung verlaufend	Mittel
Niveau der kurzwelligen Schienenrauheit nach der Bearbeitung	Mittel	Niedrig	Niedrig	Mittel, aber diagonal zur Fahrtrichtung verlaufend	Mittel
Zeitliche Entwicklung der kurzwelligen Schienenrauheit nach der Bearbeitung	Kontinuierliche Glättung	Kontinuierliche Glättung	Kontinuierliche Glättung	Kontinuierliche Glättung	Kontinuierliche Glättung
Niveau der langwelligen Schienenrauheit nach der Bearbeitung	Mittel bis niedrig	Mittel bis niedrig	Mittel bis niedrig	Mittel bis niedrig	Hoch
Zeitliche Entwicklung der langwelligen Schienenrauheit nach der Bearbeitung	Falls durch die Bearbeitung eine Glättung eintrat, findet recht zeitnah wieder ein Anstieg auf das Ausgangsniveau statt	Falls durch die Bearbeitung eine Glättung eintrat, findet recht zeitnah wieder ein Anstieg auf das Ausgangsniveau statt	Falls durch die Bearbeitung eine Glättung eintrat, findet recht zeitnah wieder ein Anstieg auf das Ausgangsniveau statt	Falls durch die Bearbeitung eine Glättung eintrat, findet recht zeitnah wieder ein Anstieg auf das Ausgangsniveau statt	Keine Entwicklung erkennbar, Schienenfahrfläche bleibt rauer als im Ausgangszustand
Niveau der quer zur Fahrtrichtung verlaufenden Schleifriefen nach der Bearbeitung	Hoch	Mittel	Mittel	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden
Zusammenhang zwischen einer Änderung der akustischen Schienenrauheit und der einhergehenden Änderung des Vorbeifahrpegels					
Änderung der akustischen Schienenrauheit um ...	1 dB	1 dB	1 dB	7,5 dB	Nicht untersucht
...bewirkte Änderung des Vorbeifahrpegels um...	0,7 dB	0,7 dB	0,7 dB	0,7 bis 1,6 dB	Nicht untersucht
Akustische Eigenschaften der untersuchten Schienenpflegeverfahren					
Niveau der Vorbeifahrpegel direkt nach der Schienenbearbeitung ggü. durchschnittlicher Rauheit	Erhöht	Erhöht	Erhöht	Erhöht	Erhöht
Niveau der Vorbeifahrpegel nach kurzer Einfahrzeit ggü. durchschnittlicher Rauheit	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Tonale Anteile direkt nach der Schienenbearbeitung	Vorhanden	Vorhanden	Vorhanden	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden
Tonale Anteile nach kurzer Einfahrzeit	Vorhanden	Vorhanden	Vorhanden	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden

2 Ausgangslage, Ziel und Umfang dieses Berichtes

Die PROSE AG hat in den vergangenen Jahren im Rahmen des Gesamtprojektes Schienenpflege im Auftrag des BAFU / BAV verschiedene akustische Untersuchungen von Schienenpflegeverfahren durchgeführt. Die Projekte bestanden aus theoretischen Untersuchungen, Literaturrecherchen, Schallemissions- und Rauheitsmessungen vor Ort, Auswertungen der Messergebnisse sowie weitergehenden Berechnungen. Durchführung und Ergebnisse der jeweiligen Projekte wurden in entsprechenden Projektberichten dokumentiert. Es steht somit ein umfangreicher und sehr detaillierter Wissensstand zur Verfügung, der aber auf verschiedene Schriftstücke verteilt ist.

Ziel dieses Projektes ist es, die gesammelten Erkenntnisse strukturiert in einem Bericht zusammenzufassen. Hierbei steht weniger die Dokumentation der einzelnen Untersuchungen im Vordergrund, sondern es werden viel mehr die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen einander gegenübergestellt. Die Erkenntnisse werden zusammengefasst und für Fachinteressierte verständlich beschrieben.

Dieser Bericht behandelt die folgenden Untersuchungen:

- Konventionelles Schleifen (Göschenen) [1]
- Konventionelles + Akustisches Schleifen (Kerzers) [1]
- Konventionelles + Akustisches + Rutschersteinschleifen (Kerzers) [1]
- High Speed Grinding (Celle) [2]
- Schienenfräsen (Thun) [3]
- Schienenfräsen (Lengnau) [4]

Nicht Gegenstand dieses Berichtes sind Details zu den durchgeführten Messungen, wie z. B. Abläufe, Berechnungsverfahren oder Protokolle, sowie Details und Gleichungen des entwickelten Modells zur zeitlichen Entwicklung der Schienenrauheit.

3 Kurzbeschreibung der untersuchten Schienenpflegeverfahren

Konventionelles Schleifen

Beim konventionellen Schienenschleifen befährt ein Fahrzeug mit um die Vertikalachse rotierenden Schleifscheiben den zu schleifenden Gleisabschnitt. Die Fahrgeschwindigkeit ist langsam und beträgt etwa 3 bis 5 km/h. Die Rotationsgeschwindigkeit der Schleifscheiben betrug bei den durchgeführten Untersuchungen ca. 3'500 U/min. Das Schleifverfahren ist für einen hohen Materialabtrag von 0,2 bis 2 mm geeignet und wird daher zur Reprofilierung des Schienenkopfes und zur Behebung von Schienendefekten eingesetzt. Die rotierende Bewegung der Schleifscheiben hinterlässt akustisch relevante Querriefen auf der Fahrfläche, bei Fahrzeugüberfahrt entsteht zumindest in den ersten Tagen nach dem Schleifen ein tonhaltiges Geräusch.

Untersuchungszeitraum: 780'000 Achsüberfahrten an Schiene ohne Schienenkopfhärtung,
1'860'000 Achsüberfahrten an Schiene mit Schienenkopfhärtung

Akustisches Schleifen

Das akustische Schleifen kann separat erfolgen oder nachgelagert zu einem anderen Bearbeitungsverfahren. Die Bearbeitungstechnologie ist die gleiche wie beim konventionellen Schleifen, jedoch mit einer langsamen Vorschubgeschwindigkeit von etwa 3 km/h und einem reduzierten Anpressdruck. Das akustische Schleifen wird angewendet, um die Schienenfahrfläche nach einer erfolgten Schienenbearbeitung zu glätten und somit einen durch die Schienenbearbeitung hervorgerufenen Anstieg der Vorbeifahrpegel zu reduzieren. Der Materialabtrag beträgt etwa 0,5 mm.

Untersuchungszeitraum: 780'000 Achsüberfahrten an Schiene ohne Schienenkopfhärtung,
akustisches Schleifen wurde nachgelagert zu konventionellem Schleifen angewendet

Rutschersteinschleifen

Das Rutschersteinschleifen wird ebenfalls für die akustische Optimierung der Fahrfläche verwendet. Die Rutschersteine werden in Fahrtrichtung über den Schienenkopf gezogen. Da keine rotierende Bewegung stattfindet, werden auch keine periodischen Querriefen erzeugt, die tonale Anteile im Vorbeifahrgeräusch hervorrufen. Das Rutschersteinschleifen findet in der Regel nachgelagert zum konventionellen oder akustischen Schleifen statt, so dass es die dabei entstanden Schleifriefen reduziert. Der Materialabtrag beträgt weniger als 0,1 mm.

Untersuchungszeitraum: 780'000 Achsüberfahrten an Schiene ohne Schienenkopfhärtung,
Rutschersteinschleifen wurde nachgelagert zu konventionellem und akustischem Schleifen durchgeführt

High Speed Grinding

Das High Speed Grinding wird mit hoher Fahrgeschwindigkeit von üblicherweise 80 km/h durchgeführt. Die Schleifaggregate bestehen aus Rollen, die schräg zur Fahrtrichtung angeordnet an die Schienen gepresst werden. Durch die Vorwärtsbewegung des Schleifzuges rollen die Schleifrollen auf der Schiene entlang, wobei auf Grund ihrer Schrägstellung Schlupf entsteht. Dieser Schlupf erzeugt die nötige Schleifwirkung, das entstehende Schliffbild weist Schleifriefen auf, die diagonal zur Fahrtrichtung verlaufen. Das Verfahren ist für einen geringen Materialabtrag von etwa 0,1 mm gedacht, es können auftretende Risse durch Rollkontaktermüdung und die verhärtete Schienenoberfläche entfernt werden. Typischerweise weist das High Speed Grinding kurze Bearbeitungszyklen von ca. 4 Monaten auf. Eine Reprofilierung ist nicht möglich. Die diagonal verlaufenden Schleifriefen wirken sich gegenüber quer verlaufenden Schleifriefen akustisch gering aus, da diese Rad und Schiene weniger zum Schwingen anregen und somit nach dem Schleifen nur eine sehr geringe Pegelerhöhung auftritt.

Untersuchungszeitraum: 320'000 Achsüberfahrten an Schiene ohne Schienenkopfhärtung

Schienenfräsen

Beim Schienenfräsen wird mit einem Schneidrad, rotierend um die Horizontalachse quer zur Schienenlängsrichtung, in einem Bearbeitungsdurchgang das ideale Schienenkopfprofil wieder hergestellt. Nachfolgend sorgt ein Schleifrad, um dieselbe Achse rotierend, für einen Feinschliff mit Riefen in Längsrichtung. Das Verfahren eignet sich für grosse Schienenschäden und stark deformierte Schienenköpfe. Der Materialabtrag liegt bei 0,5 bis 3 mm. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit liegt unter 1 km/h.

Untersuchungszeitraum: 1'350'000 Achsüberfahrten an Schiene ohne Schienenkopfhärtung

Vergleich der untersuchten Verfahren

Tabelle 3-1 fasst die wichtigsten in diesem Kapitel genannten Fakten zusammen und stellt diese für die untersuchten Schienenpflegeverfahren gegenüber.

Tabelle 3-1: Gegenüberstellung der wichtigsten Eigenschaften der untersuchten Schienenpflegeverfahren

	Konventionelles Schleifen	...zzgl. akustischem Schleifen	...zzgl. Rutschersteinschleifen	High Speed Grinding	Schienenfräsen
Primäre Ziele	Reprofilierung Schienenkopf, Behebung von Schienendefekten	Akustisch optimierte Fahrfläche	Akustisch optimierte Fahrfläche	Entfernen von Anrissen im Schienenkopf	Reprofilierung Schienenkopf, Behebung von grösseren Schienendefekten
Materialabtrag	Ca. 0,2 bis 2 mm	Ca. 0,5 mm	< 0,1 mm	Ca. 0,1 mm	Ca. 0,5 bis 3 mm
Bearbeitungsart	Schleifen	Schleifen	Schleifen	Schleifen	Fräsen
Bearbeitungsrichtung	Quer	Quer	Längs	Diagonal	Längs
Bearbeitungsgeschwindigkeit	Ca. 3-5 km/h	Ca. 3 km/h	Ca. 3 km/h	Ca. 80 km/h	< 1 km/h
Untersuchungszeitraum	780'000 / 1'860'000 Achsüberfahrten	780'000 Achsüberfahrten	780'000 Achsüberfahrten	320'000 Achsüberfahrten	1'350'000 Achsüberfahrten

4 Zeitliche Entwicklung der Schienenrauheit

Unterscheidung zwischen kurzweiliger und langweiliger Schienenrauheit

Die Entwicklung der Rauheit einer Schiene im Laufe der Zeit hängt von der betrachteten Wellenlänge ab. Im Bereich kurzer Wellenlängen hat die Schienenrauheit bei den durchgeführten Untersuchungen ein anderes Verhalten gezeigt als im Bereich längerer Wellenlängen. Die Grenze zwischen kurz- und langweiligem Bereich ist dabei nicht klar zu definieren, als Richtwert für die Grenze kann der Bereich zwischen 0.5 und 5 cm angegeben werden.

Entwicklung der kurzweiligen Schienenrauheit

Die kurzweilige Schienenrauheit verhält sich üblicherweise ähnlich den in Abbildung 4-1 kurz-gestrichelt dargestellten Kurven (gelb, braun). Nach einer Schienenbearbeitung ist die Schienenrauheit im kurzweiligen Bereich deutlich erhöht, wobei die Erhöhung der Rauheit auf den Bearbeitungsprozess zurückzuführen ist. Bei Überfahrt eines Rades wird die Schiene in einem gewissen Mass plastisch verformt, wodurch kurzweilige Unregelmässigkeiten geglättet werden. Beschleunigend wirken zum einen eine hohe Anzahl die Schiene passierender Züge resp. Achsen, zum anderen spielt aber auch die Radlast selbst eine Rolle: Die Verformung der Kontaktfläche der Schiene hängt vom Druck (Radlast bezogen auf die Radaufstandsfläche) ab, die das Rad auf sie ausübt. Eine gleichbleibende Radaufstandsfläche angenommen wird eine Schiene also umso mehr geglättet, je höher die Radlast des sie passierenden Fahrzeuges ist. Während der Untersuchungszeiträume der verschiedenen Schleifverfahren konnte stets eine in der Tendenz kontinuierliche Abnahme der kurzweiligen Schienenrauheit beobachtet werden. Die Amplituden gingen dabei häufig auf ihr Ausgangsniveau von vor der Schienenbearbeitung zurück. Ein erneuter Anstieg der Amplituden in diesem Wellenlängenbereich konnte nicht beobachtet werden und es wurden auch keine physikalischen Effekte bekannt, die diesen erwarten liessen. Kopfgehärtete Schienen verzögern den Glättungsvorgang erheblich.

Entwicklung der langweiligen Schienenrauheit

Die langweilige Schienenrauheit verhält sich beim Konventionellen Schleifen (auch bei zzgl. Akustischen Schleifen und zzgl. Rutschersteinschleifen) sowie beim High Speed Grinding üblicherweise ähnlich der in Abbildung 4-1 blau dargestellten Kurve. Nach einer Schienenbearbeitung befindet sich die Schienenrauheit im langweiligen Bereich auf Höhe ihres Niveaus vor der Bearbeitung oder leicht darunter. Manchmal ist eine gewisse Zeit lang noch eine weitere Abnahme der langweilige Schienenrauheit zu beobachten, der Grund hierfür ist nicht bekannt. Ab einem bestimmten Zeitpunkt steigt die langweilige Schienenrauheit jedoch wieder auf das Niveau von vor der Schienenbearbeitung an. Das Ausgangsniveau wird dabei relativ zügig erreicht, eine weitere Zu- oder Abnahme der langweiligen Schienenrauheit wurde in keinem der Versuche beobachtet. Die Gründe für den Anstieg auf das Ausgangsniveau wurden nicht untersucht. Es wird aber angenommen, dass die langweilige Schienenrauheit eine Kombination aus Gleislagefehlern und einer

Überlagerung von Riffeln verschiedener Wellenlängen ist. Kopfgehärtete Schienen verzögern auch hier den gesamten Entwicklungsprozess der Schienenrauheit erheblich.

Bei den beiden Untersuchungen an gefrästen Schienen wurden andere Beobachtungen gemacht: Die langwellige Schienenrauheit war nach dem Fräsen sehr hoch (siehe grüne Linie in Abbildung 4-1) und lag deutlich über dem Ausgangsniveau von vor dem Fräsen. Im Laufe der Untersuchungszeit wurde auch keine Veränderung beobachtet, das langwellige Schienenrauheitsniveau lag auch bei Abschluss der Untersuchungen über dem Ausgangsniveau. Erfahrungen zum Verhalten kopfgehärteter Schienen nach einem Fräsvorgang bestehen nicht.

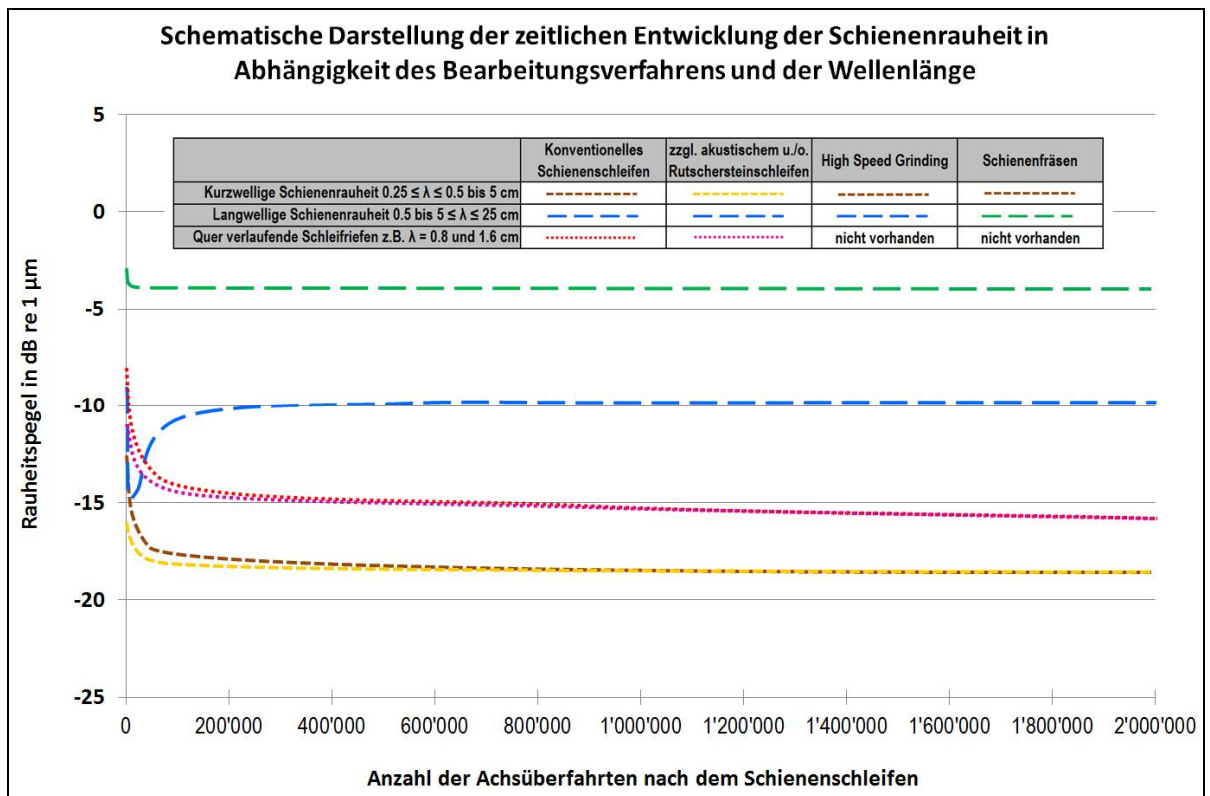


Abbildung 4-1: Schematische Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Schienenrauheit in Abhängigkeit des Bearbeitungsverfahrens und der Wellenlänge

Besonderheit Schleifriefen

Eine Besonderheit stellen die Schleifriefen dar, die beim konventionellen und akustischen Schleifen erzeugt werden (siehe Kapitel 3). In den entsprechenden Wellenlängen weist die Schiene dann nach deren Bearbeitung gegenüber dem sonstigen Rauheitsniveau eine nochmals deutlich erhöhte Rauheit auf, siehe rote und pinke Kurve in Abbildung 4-1. Da sich die Schleifriefen üblicherweise im kurzwelligen Bereich befinden, verhalten sich diese im Laufe der Zeit aber vergleichbar mit der kurzwelligen Schienenrauheit; ihre Amplitude nimmt also kontinuierlich ab.

Vergleich der untersuchten Verfahren

Tabelle 4-1 fasst die wichtigsten in diesem Kapitel genannten Fakten zusammen und stellt diese für die untersuchten Schienenpflegeverfahren gegenüber.

Tabelle 4-1: Gegenüberstellung der tendenziellen zeitlichen Entwicklung der Schienenrauheit in Abhängigkeit der untersuchten Schienenpflegeverfahren

	Konventionelles Schleifen	...zzgl. akustischem Schleifen	...zzgl. Rutschersteinschleifen	High Speed Grinding	Schienenfräsen
Niveau der kurzwelligen Schienenrauheit nach der Bearbeitung	Mittel	Niedrig	Niedrig	Mittel, aber diagonal zur Fahrtrichtung verlaufend	Mittel
Zeitliche Entwicklung der kurzwelligen Schienenrauheit nach der Bearbeitung	Kontinuierliche Glättung	Kontinuierliche Glättung	Kontinuierliche Glättung	Kontinuierliche Glättung	Kontinuierliche Glättung
Niveau der langwelligen Schienenrauheit nach der Bearbeitung	Mittel bis niedrig	Mittel bis niedrig	Mittel bis niedrig	Mittel bis niedrig	Hoch
Zeitliche Entwicklung der langwelligen Schienenrauheit nach der Bearbeitung	Falls durch die Bearbeitung eine Glättung eintrat, findet recht zeitnah wieder ein Anstieg auf das Ausgangsniveau statt	Falls durch die Bearbeitung eine Glättung eintrat, findet recht zeitnah wieder ein Anstieg auf das Ausgangsniveau statt	Falls durch die Bearbeitung eine Glättung eintrat, findet recht zeitnah wieder ein Anstieg auf das Ausgangsniveau statt	Falls durch die Bearbeitung eine Glättung eintrat, findet recht zeitnah wieder ein Anstieg auf das Ausgangsniveau statt	Keine Entwicklung erkennbar, Schienenfahrfläche bleibt rauer als im Ausgangszustand
Niveau der quer zur Fahrtrichtung verlaufenden Schleifriefen nach der Bearbeitung	Hoch	Mittel	Mittel	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden
Zeitliche Entwicklung der quer zur Fahrtrichtung verlaufenden Schleifriefen nach der Bearbeitung	Langsame aber kontinuierliche Glättung auf Ausgangsniveau der kurzwelligen Schienenrauheit	Langsame aber kontinuierliche Glättung auf Ausgangsniveau der kurzwelligen Schienenrauheit	Langsame aber kontinuierliche Glättung auf Ausgangsniveau der kurzwelligen Schienenrauheit	-	-

5 Vergleich der Änderung Schienenrauheit mit der Änderung Vorbeifahrpegel

Klassischer Zusammenhang zwischen Schienenrauheit und Vorbeifahrpegel

Das Vorbeifahrgeräusch eines Zuges setzt sich zusammen aus Traktionsgeräuschen, dem Rollgeräusch und aerodynamischen Geräuschen. Im Geschwindigkeitsbereich zwischen ca. 60 und 250 km/h wird das Vorbeifahrgeräusch in der Regel vom Rollgeräusch dominiert. Dieses entsteht, weil die akustische Summenrauheit (Definition gem. [7]) von Radlaufläche und Schienenfahrfläche sowohl das Fahrzeug als auch das Gleis in Schwingungen versetzen, die dann als Schall abgestrahlt werden. Je nachdem, ob die Rad- oder die Schienenrauheit in einer bestimmten Situation dominiert, bestimmt entweder die eine oder die andere das Roll- und somit das Vorbeifahrgeräusch. Beim Einsatz von K-Sohlen- und scheibengebremsten Fahrzeugen mit sehr glatten Radlauflächen wird das Vorbeifahrgeräusch demnach massgeblich von der Schienenrauheit bestimmt. Gemäss sonRAIL-Berechnung bewirkt die Änderung der Schienenrauheit um 1 dB eine Änderung des Vorbeifahrpegels um etwa 0,7 dB.

Grenzen des klassischen Zusammenhangs

Im Falle des Vergleichs zweier Schienenbearbeitungsverfahren gilt dieser Zusammenhang allerdings nur, wenn die durch die Bearbeitung hervorgerufenen Riefen quer zur Fahrtrichtung verlaufen. Das Rad läuft dann mit seiner etwa fingernagelgrossen Aufstandsfläche gegen die Kante der Riefe und regt das Rad-Schiene-System entsprechend zu Schwingungen an. Verlaufen die Schleifriefen nun aber nicht quer zur Fahrtrichtung, sondern beispielsweise diagonal zu ihr, so kann das Rad die Riefen durch die Breite seiner Aufstandsfläche überbrücken. Der harte Anlauf des Rades gegen die Kante einer Schleifriefe wird vermieden, die entstehenden Schwingungen im Rad-Schiene-System sind stark reduziert, der abgestrahlte Schall ebenfalls. Entsprechend der Bearbeitungsrichtung der verschiedenen Schienenbearbeitungsverfahren ergeben sich also unterschiedliche Zusammenhänge zwischen der gemessenen Schienenrauheit und des erzeugten Vorbeifahrpegels:

Konventionelles Schienenschleifen, ggf. mit nachgelagertem akustischen und Rutschersteinschleifen

Beim konventionellen Schienenschleifen werden Riefen quer zur Fahrtrichtung erzeugt. Es gilt der oben genannte Zusammenhang von 0,7 dB Änderung des Vorbeifahrpegels auf 1 dB Änderung der Schienenrauheit. Da nachgelagertes akustisches Schleifen und ggf. noch Rutschersteinschleifen die Riefen des konventionellen Schleifens jedoch nur mindern und kein eigenes Schliffbild erzeugen, besteht der direkte Zusammenhang zwischen akustischem Rauheits- und Schalldruckpegel auch hier noch.

High Speed Grinding

Durch das High Speed Grinding mit diagonal verlaufenden Schleifriefen steigt die akustische Schienenrauheit gemäss direkter Messung um etwa 7,5 dB [2] an, wohingegen die Vorbeifahrpegel scheibengebremster Fahrzeuge nur um 0,7 bis 1,6 dB ansteigen, siehe

Abbildung 5-1 [2]. Bei Graugussklotz-gebremsten Güterzügen bleibt der Vorbeifahrpegel sogar unverändert, da hier die hohen Radrauheiten die Veränderung der Schienenrauheit maskieren und somit die Geräuscentstehung dominieren.

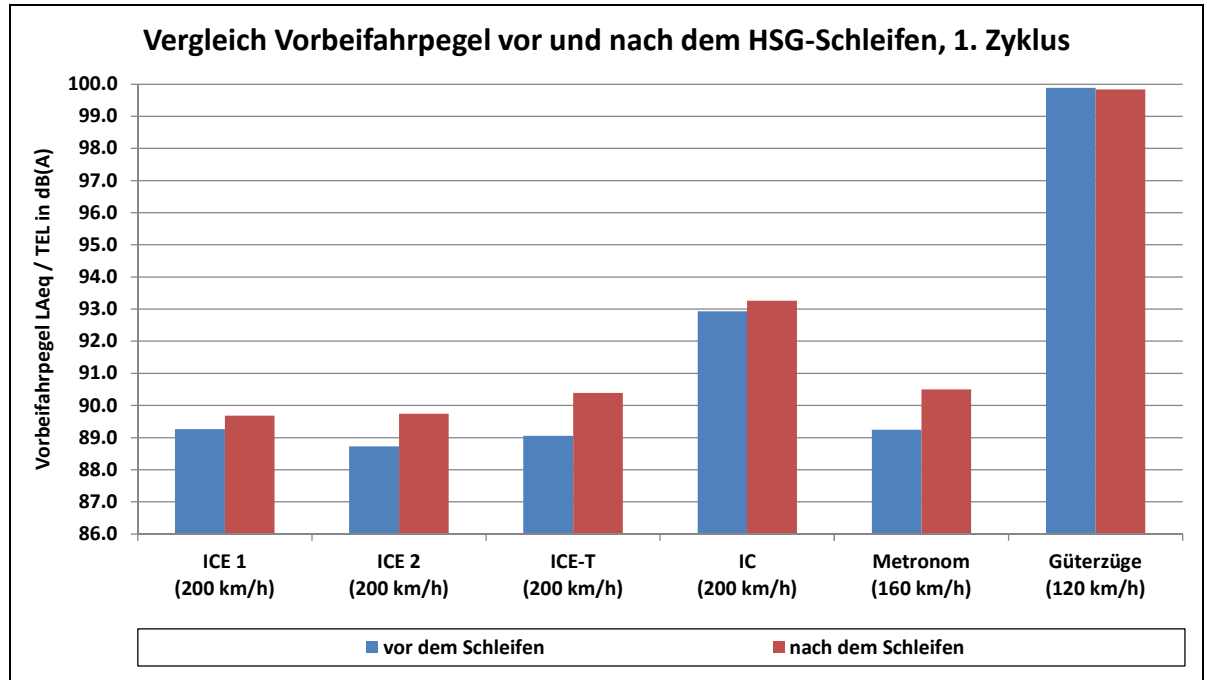


Abbildung 5-1: Vergleich der Vorbeifahrpegel vor und nach dem High Speed Grinding

Schienenfräsen

Die Fahrfläche der Teststrecke für das Schienenfräsen war vor der Bearbeitung durch quer verlaufende Schleifriefen geprägt, welche durch den Fräsvorgang geglättet wurden. Die entsprechende Abnahme der Vorbeifahrpegel bestätigt auch hier den Zusammenhang zur Änderung einer von quer verlaufenden Riefen geprägten Schienenrauheit. Da die Schienen nach dem Fräsen glatter waren als vorher, konnte keine Untersuchung zur Höhe einer möglichen fräsbedingten Pegelerhöhung basierend auf einem glatten Ausgangsniveau gemacht werden.

Vergleich der untersuchten Verfahren

Tabelle 5-1 listet die Zusammenhänge zwischen einer Änderung der akustischen Schienenrauheit und der einhergehenden Änderung des Vorbeifahrpegels auf und stellt diese für die untersuchten Schienenpflegeverfahren gegenüber. Es ist zu beachten, dass die hier gemachten Angaben aus jeweils nur einer Untersuchung stammen und nur für scheibengebremste Fahrzeuge in einem mittleren Geschwindigkeitsbereich gelten.

Tabelle 5-1: Zusammenhang zwischen einer Änderung der akustischen Schienenrauheit und der einhergehenden Änderung des Vorbeifahrpegels

	Konventionelles Schleifen	...zzgl. akustischem Schleifen	...zzgl. Rutschersteinschleifen	High Speed Grinding	Schienenfräsen
Änderung der akustischen Schienenrauheit um ...	1 dB	1 dB	1 dB	7,5 dB	Nicht untersucht
...bewirkte Änderung des Vorbeifahrpegels um...	0,7 dB	0,7 dB	0,7 dB	0,7 bis 1,6 dB	Nicht untersucht

6 Vor- und Nachteile der angewendeten Schienenpflegeverfahren aus akustischer Sicht

Vergleichbarkeit der Messstellen

Die Umgebungen der akustischen Messstellen aller Untersuchungen genügen den Anforderungen an eine Messstelle gemäss TSI Noise [5]. Im Gleisbau bestehen zwischen den einzelnen Messstellen dennoch akustisch relevante Unterschiede, da unterschiedliche Schienen-, Schwellen- und Zwischenlagentypen verbaut wurden. Gemäss [6] betragen diese bei den untersuchten Messstellen im Extremfall (scheibengebremste Fahrzeuge, Messstelle konventionelles Schleifen vs. Schienenfräsen) 3.7 dB. Weiterhin verkehren an den Messstellen unterschiedliche Fahrzeuge, was einen Vergleich der gemessenen Vorbeifahrpegel verunmöglicht und es wurden auch nicht an allen Messstellen die Vorbeifahrpegel gemessen.

Um dennoch Vorbeifahrpegel aller Messstellen zur Verfügung zu haben und eine möglichst gute Vergleichbarkeit sicherzustellen, wurden die gemessenen Schienenrauheiten aller Messstellen in das sonRAIL-Emissionsmodell Version V2.1 [6] geladen und die Vorbeifahrpegel für einen SBB-Standardoberbau berechnet. Die Berechnungen wurden für einen scheibengebremsten Elektrotriebzug bei 120 km/h und einen K-Sohlen-gebremsten Güterwagen bei 80 km/h durchgeführt, um zwei aktuelle schweiztypische Fahrzeugarten betrachten zu können. Für alle Schienenbearbeitungsarten mit Ausnahme des High Speed Grindings wurden die Vorbeifahrpegel direkt mit den gemessenen Schienenrauheiten berechnet. Beim High Speed Grinding konnte dieses Verfahren nicht angewendet werden, da hier kein klassischer Zusammenhang zwischen akustischer Schienenrauheit und Vorbeifahrpegel besteht, siehe Tabelle 5-1. Mit sonRAIL wurde daher nur der Ausgangswert des eingefahrenen Zustandes vor einer weiteren High-Speed-Grinding-Bearbeitung berechnet. Alle folgenden Werte, die die zeitliche Entwicklung des Vorbeifahrpegels charakterisieren, wurden aus dem Ausgangswert und den real gemessenen Deltas im Vorbeifahrpegel bestimmt.

Tabelle 6-1: Detailangaben zur sonRAIL-Emissionsberechnung

Parameter	Scheibengebremsten Elektrotriebzug	K-Sohlen-gebremsten Güterwagen
Fahrzeugtyp	RABe 521-524 (Flirt), 4-teilig	Containertragwagen Sgns 692"
Fahrzeuglänge	74.266 m	19.640 m
Anzahl der Achsen	10	4
Fahrgeschwindigkeit	120 km/h	80 km/h
Schientyp	UIC 60	UIC 60
Schwellentyp	B91 Beton-Monoblock	B91 Beton-Monoblock

Generelle Entwicklung der Vorbeifahrpegel nach der Schienenbearbeitung

Abbildung 6-1 zeigt die Vorbeifahrpegel nach den verschiedenen Schienenbearbeitungen. Es ist zu erkennen, wie sich die Pegel nach der Bearbeitung entwickeln, wobei die Entwicklung nicht in Abhängigkeit der Zeit angegeben ist, sondern in Abhängigkeit der Anzahl der Achsüberfahrten. Dies macht insofern Sinn, da die wesentlichen Veränderungen der Schienenfahrfläche durch fahrzeugmassenbedingte plastische Deformation hervorgerufen werden, siehe Kapitel 4. Weiterhin sind in der Abbildung die Grenzwerte nach TSI Noise [5] für die beiden betrachteten Fahrzeugtypen eingetragen.

Es ist sehr gut zu erkennen, dass sich die Entwicklung der Vorbeifahrpegel stark an die Entwicklung der Schienenrauheit anlehnt, siehe ebenfalls Kapitel 4. Die anfängliche Glättung der Riefen führt in der ersten Zeit nach der Schienenbearbeitung zu einer deutlichen Reduzierung der Vorbeifahrpegel. Ab einem bestimmten Zeitpunkt macht sich dann der Anstieg der langwelligen Rauheit bemerkbar, der Vorbeifahrpegel stagniert oder beginnt wieder leicht anzusteigen. Im Falle von kopfgehärteten Schienen verläuft die Entwicklung der Vorbeifahrpegel entsprechend der verzögerten Entwicklung der Schienenrauheit auch deutlich langsamer.

Es ist zu erkennen, dass der betrachtete Güterwagen trotz seiner deutlich geringeren Fahrgeschwindigkeit einen höheren Vorbeifahrpegel erzeugt, als der Elektrotriebzug. Weiterhin fällt die Reduzierung des Vorbeifahrpegels bei dem Güterwagen geringer aus als bei dem Elektrotriebzug, was bedeutet, dass der Vorbeifahrpegel des Güterwagens ab einem bestimmten Wert nicht mehr von der Schienenrauheit dominiert wird. Eine sehr glatte Schiene ist demnach bei besonders leisen Fahrzeugen umso wichtiger, um deren Potential voll ausschöpfen zu können. Bei lauterer Fahrzeugen wie herkömmlichen Güterwagen ist mit einer besonders glatten Schiene keine weitere Pegelreduzierung zu erreichen. Hier sind neben der bereits berücksichtigten K-Sohle weitere Massnahmen am Fahrzeug nötig. Generell ist zu erkennen, dass die Vorbeifahrpegel bereits kurze Zeit nach der Schienenbearbeitung wieder unterhalb der TSI-Grenzwerte liegen.

Vergleich der Vorbeifahrpegel in Abhängigkeit des Schienenpflegeverfahrens

Die verschieden bearbeiteten Messstellen weisen nach der Bearbeitung erstaunlich ähnliche Vorbeifahrpegel auf. Direkt nach der Bearbeitung gibt es noch deutliche Unterschiede, nach bereits 50'000 Achsüberfahrten haben sich die Vorbeifahrpegel ausser bei den kopfgehärteten Schienen jedoch alle bis auf etwa 1 dB einander angenähert. Auf Grund dieses sehr geringen Abstandes und der immer vorhandenen Unsicherheiten bei Messungen/Prognosen soll an dieser Stelle keines der Verfahren als einem anderen überlegen eingestuft werden. Was jedoch überrascht ist das Abschneiden des akustischen Schleifens und des Rutschersteinschleifens: Die beabsichtigten akustischen Vorteile der beiden Verfahren sind nur innerhalb der ersten etwa 50'000 Achsüberfahrten zu beobachten und die Pegelminderung gegenüber der konventionell geschliffenen Strecke beträgt auch nur maximal 1,5 dB. Zur Veranschaulichung sei erwähnt, dass 50'000 Achsüberfahrten auf einer Strecke mit gemischtem Zugverkehr bei durchschnittlich 2 Zügen pro Stunde nach bereits etwa 10 Tagen erreicht sind. Der Effekt, den eine nachgelagerte akustische Bearbeitung eines Gleises hat, ist also sehr gering und nach sehr kurzer Zeit auch vollständig verschwunden. Auch die Reduzierung der Tonhaltigkeit konnte messtechnisch nicht festgestellt werden, siehe nächster Textabschnitt.

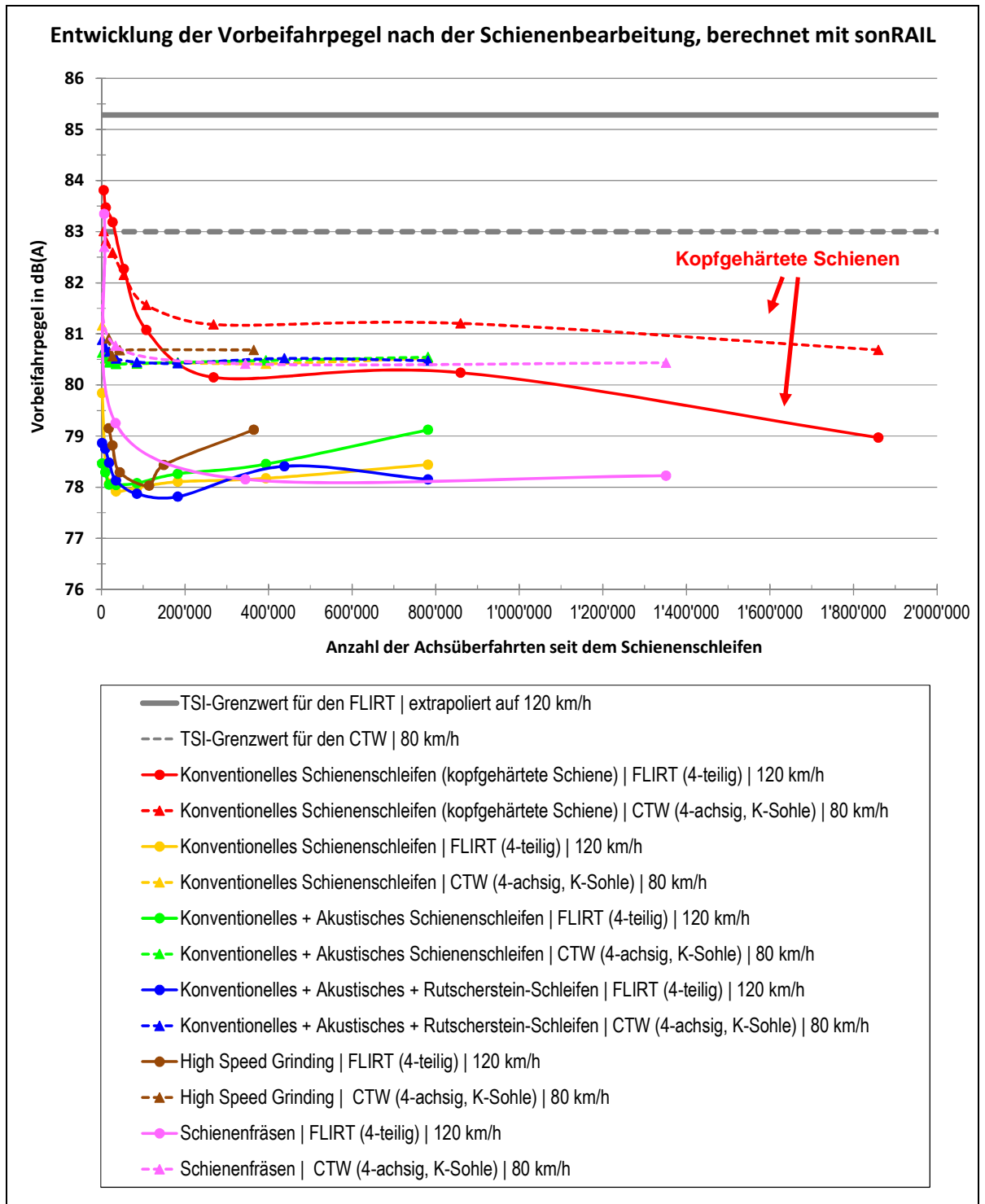


Abbildung 6-1: Entwicklung der Vorbeifahrpegel nach der Schienenbearbeitung

Tonhaltigkeit der Vorbeifahrpegel

Als tonhaltig bezeichnet man Geräusche, bei denen bestimmte Frequenzen oder Frequenzbänder deutlich lauter sind als das übrige Geräusch. Tonhaltige Geräusche empfindet der Mensch als besonders störend und auch als lauter, als diese eigentlich sind. Alle Schienenbearbeitungsverfahren, die regelmässige Querriefen auf der Fahrfläche hinterlassen, erzeugen tonhaltige Vorbeifahrpegel. Da in den durchgeführten Untersuchungen der betroffenen Bearbeitungsverfahren die Schienenrauheit den

Vorbeifahrpegel dominiert (siehe Kapitel 5), können direkt Rückschlüsse von der Schienenrauheit auf die Tonhaltigkeit der Vorbeifahrpegel gezogen werden.

Nach dem konventionellen Schienenschleifen wurden auf den untersuchten Streckenabschnitten stets tonhaltige Vorbeifahrgeräusche erzeugt, unabhängig einer eventuellen Nachbearbeitung durch akustisches Schleifen oder noch nachgelagertem Rutschersteinschleifen. Selbst in der Höhe der tonalen Anteile sind keine Unterschiede festzustellen. Die Tonhaltigkeit blieb bei allen drei Schleifvarianten auch nach einer gewissen Einfahrzeit erhalten und war sogar bei Abschluss der Untersuchungen noch vorhanden. Einzig an der Messstelle mit den kopfgehärteten Schienen konnte zum Ende der Untersuchung eine Reduzierung der tonhaltigen Anteile festgestellt werden. Dies wird auf die sehr hohe Zugdichte zurückgeführt, siehe Anzahl der Achsüberfahrten in Abbildung 6-1. Es ist davon auszugehen, dass die Tonhaltigkeit im Laufe einer langen Zeit auch bei den anderen untersuchten Schleifverfahren abnehmen würde, weil die verantwortlichen Riefen geglättet werden.

Vergleich der untersuchten Verfahren

Tabelle 6-2 fasst die wichtigsten in diesem Kapitel genannten Fakten zusammen und stellt diese für die untersuchten Schienenpflegeverfahren gegenüber.

Tabelle 6-2: Gegenüberstellung der wichtigsten akustischen Eigenschaften der untersuchten Schienenpflegeverfahren

	Konventionelles Schleifen	...zzgl. akustischem Schleifen	...zzgl. Rutschersteinschleifen	High Speed Grinding	Schienenfräsen
Niveau der Vorbeifahrpegel direkt nach der Schienenbearbeitung ggü. durchschnittlicher Rauheit	Erhöht	Erhöht	Erhöht	Erhöht	Erhöht
Niveau der Vorbeifahrpegel nach kurzer Einfahrzeit ggü. durchschnittlicher Rauheit	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Tonale Anteile direkt nach der Schienenbearbeitung	Vorhanden	Vorhanden	Vorhanden	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden
Tonale Anteile nach kurzer Einfahrzeit	Vorhanden	Vorhanden	Vorhanden	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden

7 Empfehlungen aus akustischer Sicht

Die Wahl einer Schienenpflegemassnahme muss in erster Hinsicht entsprechend des gewünschten Effekts gewählt werden. Die verschiedenen Schleif- und Fräsbearbeitungen können nicht nach Belieben eingesetzt werden, sondern jedes Verfahren dient bestimmten Zwecken, z.B. der Beseitigung von Schienenfehlern, der Wiederherstellung des Schienenprofils, der Erhöhung der Lebensdauer der Schiene oder der Erzeugung einer akustisch optimierten Fahrfläche.

Sollte sich für den nötigen Einsatzzweck die Wahl zwischen verschiedenen Verfahren stellen, so kann ein Augenmerk auf die akustischen Eigenschaften der erzeugten Fahrfläche gelegt werden. Da alle untersuchten Bearbeitungen in etwa gleich hohe Vorbeifahrpegel erzeugen, ist die Tonhaltigkeit der Vorbeifahrpegel ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal. Hier sind eindeutig die Verfahren im Vorteil, die keine Riefen quer zur Fahrtrichtung erzeugen, also das High Speed Grinding und das Schienenfräsen.

Das Durchführen von nachgelagertem akustischen Schleifen und Rutschersteinschleifen, das ausschliesslich akustischen Zwecken dienen soll, kann anhand der durchgeführten Untersuchung nicht weiterempfohlen werden, da der Effekt gering ist, nur für eine sehr kurze Zeitdauer anhält und dem gegenüber ein erheblicher Aufwand steht.

Als lohnend wird jedoch angesehen, entstandene tonal wirksame Schleifriefen mit einem geeigneten Verfahren zu entfernen. Basierend auf den untersuchten Verfahren wird daher ein Versuch angeregt, bei dem nach einem konventionellen Schleifvorgang ein High Speed Grinding durchgeführt wird.

Weiterhin wird angeregt, wenn möglich die Vorschubgeschwindigkeit beim Schienenschleifen so anzupassen, dass ein den Streckenabschnitt mit typischer Geschwindigkeit passierender Zug keine Resonanzen im Gleis anregt.

8 Literatur

- [1] Huber, P., Czolbe, C., Sieglitz, R.: Schienenschleifen Arbeitspaket AP1 – Stand der Technik über Rauheit und Welligkeit der Schiene, Anforderung an Schienenrauheit, PROSE-Bericht Nr. 04-03-00680 Rev. 4.00, 08.07.2013
- [2] Sieglitz, R., Czolbe, C., Huber, P.: Schienenschleifen Arbeitspaket AP HSG – Rollgeräusch und Schienenrauheit nach Schienenkopfbehandlung durch High Speed Grinding, PROSE-Bericht Nr. 04-03-00733 Rev. 0.00, 17.05.2013
- [3] Steiner, A., Huber, P., Oravec, M.: Schienenrauheitsmessung – Entwicklung beim Schienenfräsen, PROSE-Bericht Nr. 02-03-00161 Rev. 0.00, 11.03.2014
- [4] Steiner, A., Huber, P., Oravec, M.: Schienenfräsen - Lengnau – Schienenrauheits- und Lärmmessungen, PROSE-Bericht Nr. 02-03-00241 Rev. 0.00, 28.11.2014
- [5] TSI CR Noise, Official Journal of the European Union L 99/1 EN 13.4.2011
COMMISSION DECISION of 4 April 2011 concerning the technical specification for interoperability relating to the subsystem ‘rolling stock — noise’ of the transEuropean conventional rail system
(notified under document number C(2011) 658) (2011/229/EU)
- [6] Sehu, Drangu et al.: sonRAIL-Projektdokumentation, 2010
- [7] EN 15610:2009 Messung der Schienenrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräusch