

ÖVG-Weichentagung 2021

Die Weiche als „kritisches Element“
der Eisenbahninfrastruktur



Dienstag, 16. November 2021
Ganztägig im congresspark igls, Innsbruck



ÖSTERREICHISCHE
VERKEHRSWISSENSCHAFTLICHE
GESELLSCHAFT



Vom Biegen und Brechen: Elastizität und Weichen in Theorie und Praxis

Dr. Harald Loy^{1,2}, Dipl.-Ing. Michael Kessler^{1*}, Ing. Andreas Augustin^{1*}
Getzner Werkstoffe GmbH¹, Bludenz/Bürs;
Universität Innsbruck², Intelligente Verkehrssysteme;
Autoren und Vortragende*

1) Einleitung

Die Anforderungen des modernen Oberbaus sind vielfältig und nehmen ständig zu: Steigende Achslasten, längere Züge und höhere Zugfrequenzen führen zu insgesamt immer stärker belasteten Gleisen. Gleichzeitig stehen die Forderungen nach Ausfallsicherheit und ständiger Verfügbarkeit ganz oben auf der Prioritätenliste eines jeden Bahnbetreibers. Der „wartungsfreie Oberbau“ wäre das Optimum, ist aber nicht ohne Weiteres zu realisieren. Über die letzten Jahrzehnte hat sich jedoch eines klar gezeigt: Definierte Elastizität ist ein probates Mittel um sich dieser Wunschvorstellung anzunähern. Der Beitrag beleuchtet die wichtigsten technischen Aspekte elastisch gelagerter Weichen, zeigt das aktuell laufende Shift2Rail Projekt und gibt einen Ausblick auf die Digitalisierung im Gleis mittels Sensorschwellen.

2) Hintergrund und Ziele

Aufgrund ihrer komplexen Geometrien sind der Aufwand und die Instandhaltungskosten für Weichen und Kreuzungen deutlich höher als beim regulären Gleis. Insbesondere führen konstruktionsbedingte Unterschiede in der Bettungssteifigkeit innerhalb einer Weiche selbst zu einer ungleichmäßigen Lastabtragung im Oberbau. Dies führt zu zusätzlichen Belastungen des Fahrweges während der Zugüberfahrt.



Abb. 1: Weichen können durch definiert eingebrachte Elastizitäten verbessert werden

Durch den Einsatz von elastischen Elementen lassen sich deutliche Verbesserungen hinsichtlich der Druckverteilung auf den Oberbau und der Schwingungsdämpfung erzielen [3, 5, 6, 7, 9]. Der Schotter wird weniger belastet und die Stopfintervalle werden verlängert. Auch Schädigungsbilder an den Schwellen, überlastete Spannklemmen, Schlupfwellen und verschlissene Zwischenlagen können vermieden werden. Auf diese Weise werden Lebenszykluskosten (LCC) einer Weiche deutlich reduziert.

Um das System der elastisch gelagerten Weiche im Schotteroberbau auf die nächste Stufe heben zu können, müssen die Anforderungen an die Elastizität und das Verhalten des Oberbaus bei Zugüberfahrt bestmöglich berücksichtigt und diskutiert werden.



Abb. 2: Bedarfsgerechte PUR-Elemente aus Sylomer® und Sylodyn® zur Oberbauoptimierung

Um den gestellten Anforderung gerecht zu werden, wurde ein nichtlineares Berechnungsmodell auf Basis der Finite-Elemente-Methode (FEM) kontinuierlich weiterentwickelt. Getzner Werkstoffe hat mit diesem FEM-Modell die Möglichkeit, in den verschiedenen Bereichen der Weiche elastische Polyurethan-Elemente (PUR) vom Typ Sylomer® oder Sylodyn® zu platzieren, um große Steifigkeitsunterschiede des Systems zu reduzieren.

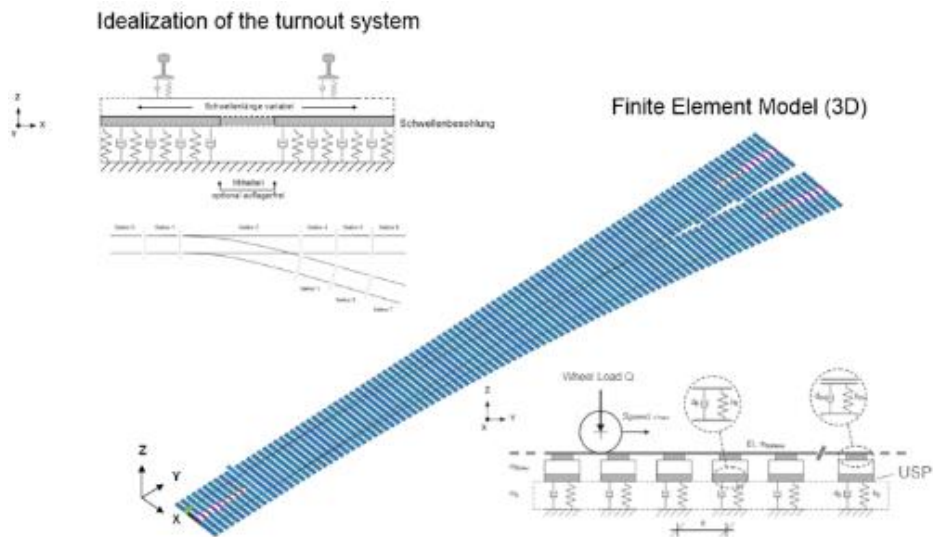


Abb. 3: FEM-Weichenmodell zur Bettungsoptimierung

3) Ansatz und Herangehensweise

In den letzten Jahren wurden die Standardweichen der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) mit ersten Versionen einer maßgeschneiderten Steifigkeitsverteilung speziell entwickelter Sylomer®-Schwellensohlen zum Schutz des Schotters ausgestattet.

Das im Shift2Rail Projekt [2] weiter verbesserte FEM-Modell ermöglicht durch seine Parametrisierung die Berücksichtigung der geometrischen Randbedingungen, der Bodensteifigkeit und der Achslasten. Für nahezu jede Anforderung kann somit eine optimierte Lösung entwickelt werden.

Computersimulationen und validierende In-situ-Untersuchungen zeigen außergewöhnliche Vorteile gegenüber nicht elastisch gelagerter Weichen.

Stützpunktkräfte werden reduziert und Schotterpressungen können deutlich gesenkt werden. In kritischen Bereichen mit hohen Pressungen wurden bei diesem Projekt die Schwellen zusätzlich geometrisch verbreitert, um den Schotterdruck in diesen Zonen weiter zu reduzieren.

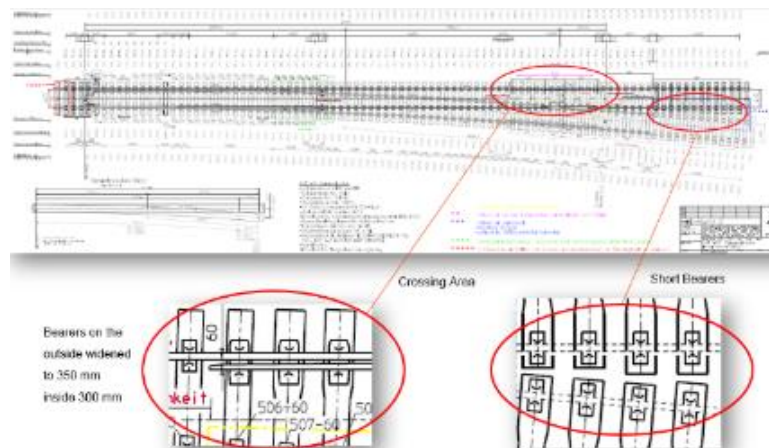


Abb. 4: Konstruktionsoptimierung durch verbreiterte Schwellenenden in kritischen Bereichen

Die Schwellen im Kreuzungsbereich wurden außen auf 350 mm vergrößert (innen beträgt die Trägerbreite noch 300 mm). Die gleiche Verbreiterung wurde auch für die Kurzschwellen nach der letzten durchgehenden Schwelle, hier nur innen, vorgenommen. Die Schwellensohlen wurden entsprechend angepasst. Darüber hinaus wurden insbesondere für den mittleren Kreuzungsbereich (Herzstück) neue Schienenbefestigungssysteme entwickelt, die durch hochelastische Zwischenplatten aus Sylodyn® zu weiteren Verbesserungen innerhalb der Weiche führen sollen.

4) Berechnungsergebnisse und Entwicklungen

Nachfolgende Vergleichssimulationen zeigen zunächst die mittlere Schotterkontaktpressung über den gesamten Weichenbereich, einmal im elastisch ungelagerten Zustand (ohne USP) und einmal mit den implementierten elastischen Verbesserungen (mit USP).

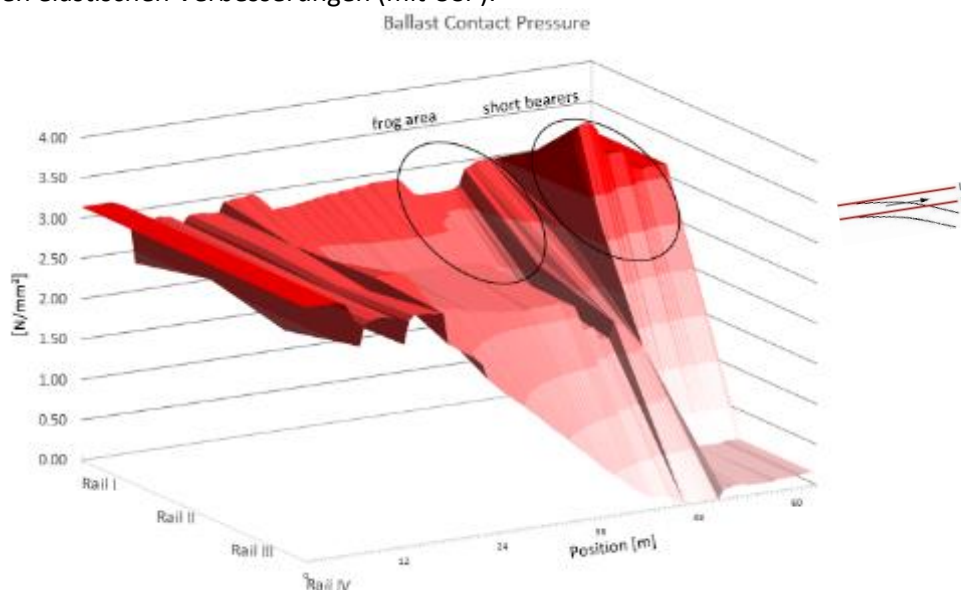


Abb. 5: Schotterkontaktpressung ohne USP (und Standard-Weichenschwellen)

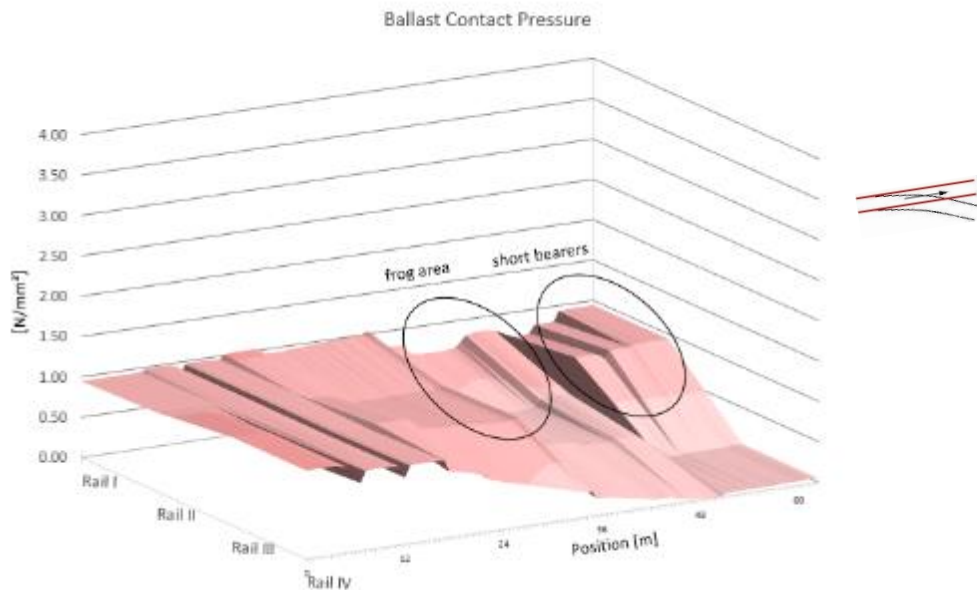


Abb. 6: Schotterkontaktpressung mit USP (und verbreiterten Weichenschwellen)

Um die Lastabtragung auf der Ebene der Schienenbefestigungssysteme weiter zu optimieren, wurde in Zusammenarbeit zwischen Voestalpine vaRS und Getzner Werkstoffe das neue Befestigungssystem vom Typ ERL NG entwickelt [4].

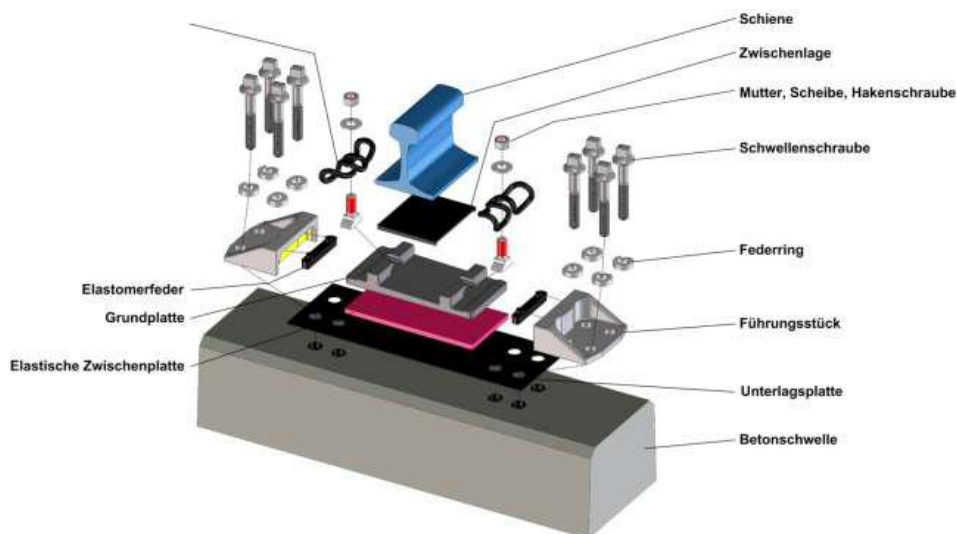


Abb. 7: Schienenbefestigungssystem ERL NG mit hochelastischen Sylodyn®-Zwischenplatten

Das Schienenbefestigungssystem ERL NG mit Rippenplatte und hochelastischer Sylodyn®-Zwischenplatte besteht aus einem innenliegend beweglichen System, sowie den beiden fest montierten Führungsstücken.

Durch diese Führungsstücke werden die Rippenplatte und die hochelastische Sylodyn®-Zwischenplatte längs und seitlich am Träger fixiert. Die Befestigung der Führungsstücke an der Betonschwellen erfolgt durch Federringe, die mit einer Schwellenschraube an die Schwellen geklemmt werden. Als

Verankerung für jede Schraubenachse dient ein eingegossener Dübel im Betonträger. In die Führungsstücke eingelegte Elastomerfedern ermöglichen eine einwandfreie Klemmung am Träger über den gesamten Steifigkeitsbereich der Bodenplatte, sowie eine elastische Abfederung bei abhebenden Kräften, wodurch ein „Schlagen“ des Stützpunktes vermieden wird.

Die elastische Zwischenplatte von Getzner Werkstoffe aus geschäumtem Sylodyn® hat eine variable nominale Nennsteifigkeit von 25 kN/mm unter dem Weichenherz beziehungsweise 60 kN/mm unter den Radlenkerstützpunkten. Die Rippenplatte wird als Lastaufnahme- und Verteilungsmittel über der elastischen Zwischenplatte montiert.

Die Befestigung der Schiene an der Grundplatte erfolgt entweder mit verschraubten Klemmelementen, wie Klemmschelle, Hakenschraube, Mutter und Unterlegscheibe, oder mittels eingestecktem Klemmelement, wie E-Clip, Fast-Clip oder SKL. Der vertikale Relativbewegungsbereich von 1 mm bis 4 mm der Rippenplatte zu den Führungsstücken bzw. zur Schwelle wird entsprechend der Federsteifigkeit der elastischen Sylodyn®-Zwischenplatte vorgegeben.

Eine dünne Unterlagsplatte dient als Ausgleichsschicht für Unebenheiten zur Schwelle und gleichzeitig als elektrischer Isolator zwischen den elektrisch leitfähigen Bauteilen und der Betonunterlage.



Abb. 8: ERL NG mit aufeinander abgestimmten PUR-Elastomeren
(Herzstückbereich - beispielhafte Ausführung mit zwei Schienen und Klemmplatte)

Die offiziellen Zulassungstests wurden an der Technischen Universität München durchgeführt - am Lehrstuhl und Prüfamf für Verkehrswegebau (Straßen-, Eisenbahn- und Flugplatzbau).

Alle Nachweise für die Prüfungen innerhalb der Normenreihe EN 13146 - Prüfverfahren für Schienenbefestigungssysteme - wie Durchschubprüfung, Ermüdungsprüfung, elektrischer Widerstand oder Einwirkung von Umwelteinflüssen wurden erfolgreich bestanden.

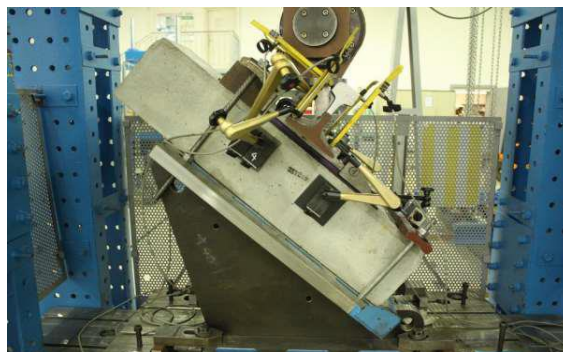


Abb. 9: Stützpunktsystem ERL NG - Testaufbau im Schrägversuch entsprechend der EN 13146-4

5) Umsetzung der Bettungsoptimierung im Weichendemonstrator Shift2Rail

Die neu umgesetzten Entwicklungen sollen die Weichenbettung gegenüber dem heutigen Stand der Technik deutlich verbessern. Nachfolgende Übersicht zeigt den Lageplan mit den unterschiedlichen Elastizitätsbereichen der sogenannten Demonstratorweiche im Shift2Rail Projekt.

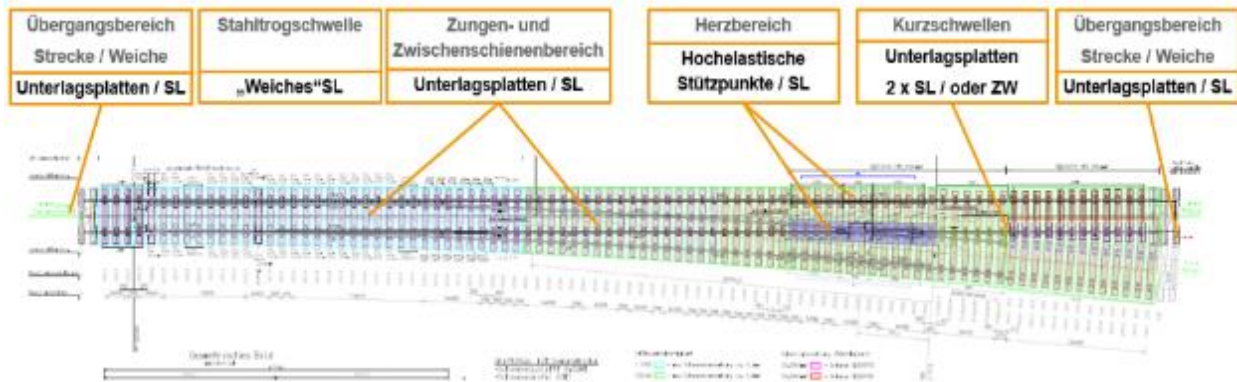


Abb. 10: ÖBB-Weichenplan mit Möglichkeiten zur Bettungsoptimierung (Demonstratorweiche Shift2Rail-Projekt)

Durch die elastischen Elemente sollen folgende Wirkungsweisen erreicht werden:

- **Vergrößerung der Biegelinie** (Lastverteilung auf mehrere Weichenschwellen)
- **Vergrößerung der Schotterkontaktfläche** (reduziert hohe Schotterkontaktpressung)
- **Stabilisierung der obersten Schotterlage** (Verzahnungseffekt im Elastomer)

Dies führt zu folgendem Nutzen:

- **Gleichmäßigere Belastung der Weichenkomponenten**
- **Weniger Schotterzerstörung**
- **Weniger Setzung des Schotteroberbaus**



Abb. 11: Umsetzungsphotos Herzbereich inklusive Radlenker

6) Sensorschwellen Neuentwicklung

Wie trägt der Schotteroberbau die Lasten ab? Diese Fragestellung lässt sich nicht immer leicht beantworten. Hier eröffnen technische Innovationen neue Möglichkeiten. Durch die Ausstattung von Produkten mit Sensoren können Echtzeit-Daten aus dem Feld gemessen, gespeichert und weiterverarbeitet werden. Ein neuentwickeltes Beispiel stellt die Sensorschwelle von Getzner Werkstoffe dar („Getzner Sensor Sleeper“). Sie schafft die Möglichkeit, direkt an der Schwellenunterseite die Kontaktdrücke zum Schotter positionsabhängig zu erfassen. Flächige Sensoren messen die auftretenden Belastungen bei Zugüberfahrt, die in einer Cloud verarbeitet und gespeichert werden können.



Abb. 12: Drucksensoren erfassen positionsabhängig die Lastabtragung im Oberbau

Erste Prototypen wurden erstmals im Netz der ÖBB im Jahr 2017 verbaut. Mehrere Steckenschwellen vom Typ L2 und vom Typ L17 wurden ausgerüstet (teilflächig und vollflächig besohlt) [8]. Nachfolgende Diagramme zeigen mögliche Darstellungsvarianten am Beispiel gemessener Kontaktflächen und Schwellenpressungen.

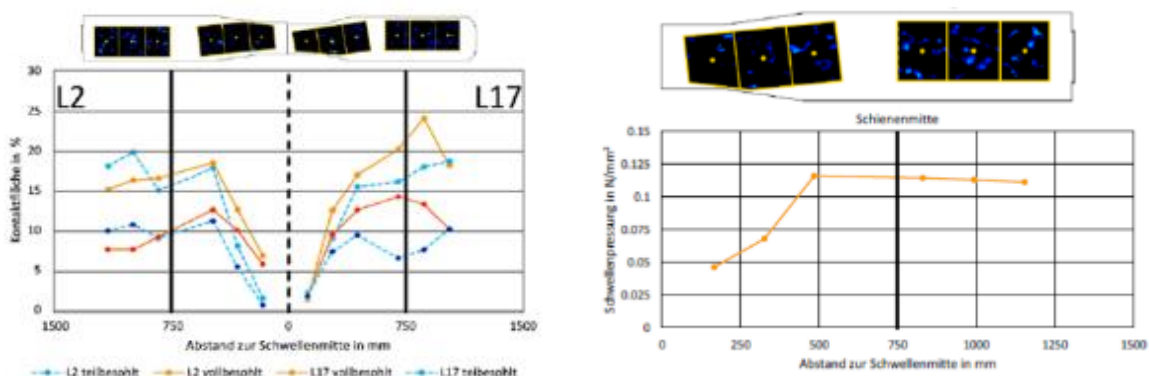


Abb. 13: Gemessene Kontaktflächen (links) und Schotterpressungen (rechts)

Aufgrund der erfolgreichen Erstmessungen wird diese neue Technologie weiterverfolgt werden. Innerhalb des Shift2Rail Projektes bot sich die Möglichkeit einer innovativen Weiterentwicklung und der erstmalige Einsatz in Referenz- und Demonstratorweichen. Aktuell wurden erstmalig insgesamt vier Weichen mit weiterentwickelten Versionen der „Getzner Sensor Sleeper“ ausgestattet.



Abb. 14: Einbauzustand und Messung im Shift2Rail Projekt

Die Messungen werden in den nächsten Jahren kontinuierlich erfolgen, um Langzeiterfahrungen zu sammeln und zur Verfügung zu stellen.

Der mögliche Anwendungszweck kann generell folgendermaßen beschrieben werden:

- **Wirksamkeitsnachweis** (Evaluierung von Oberbaumaßnahmen; Sensoren werden mit Produkt mitgeliefert)
- **Neue Forschungsergebnisse** (zur Verbesserung der Oberbauprodukte Zw, ZWP, Befestigung, Schwelle, Schwellensole u. dgl.)
- **Vorausschauende Instandhaltung** (Predictive Maintenance; Probleme werden behoben bevor sie auftreten)
- **Überwachung des Lastkollektiv** (Wie viele Züge mit welcher Last fahren auf einer Strecke?)
- **Sicherheitsüberwachung** (Überwachung der Schwellenaufgabe im Schotterbett; Hohlagen, Gleisverwerfungen an Hotspots wie Übergängen, starke Setzungen u. dgl.)

Der Datenzugriff kann dabei remote über die Cloud erfolgen, von jedem beliebigen Standort aus. Nachfolgende Darstellung symbolisiert die Messkette:

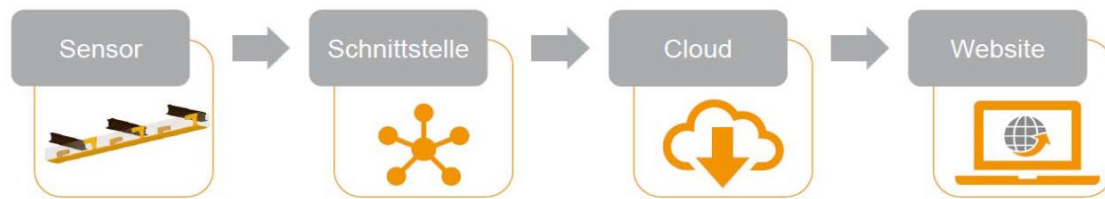


Abb. 15: Messkette für Datenerfassung und Auswertung von jedem beliebigen Standort aus

7) Ausblick - Smart PSS

Product-Service Systems (PSS) sind Marktangebote, die Produkte und Services kombinieren und dem Konsumenten als gebündelte Lösung präsentiert werden (Goedkoop et al., 1999, [1]).

Getzner Werkstoffe hat es sich zur Aufgabe gemacht zukünftig die eigene Kernkompetenz im Bereich der Elastomer-Lösungen mit den neu entwickelten technischen Möglichkeiten der Sensorik zu erweitern, um einen größtmöglichen Kundennutzen zu erzielen – im Gleis und in der Weiche.

Weiterführende Literatur:

[1] Kessler, M.: Smartes Produkt-Service System auf Basis von zelligen Polyurethan-Elastomeren im Eisenbahnoberbau. Masterthesis Universität Lichtenstein, Juli 2021.

[2] European Shift2Rail Project, In2Track2: Enhancing and optimising the switch & crossings and track systems in order to ensure the optimal line usage and capacity - Enhancements to switch and crossing system demonstrated, Deliverable D1.1, 2021.

[3] Loy, H.: Bedding optimisation in turnouts. In: ERR European Railway Review, Volume 13, Issue 6, 2007, p. 80-83.

[4] Marx, M.; Schmock, M.: Technische Beschreibung – Entwicklung System ERL. Dokumenten-Nr.: FE-2020-20-0-TB, Voestalpine, Turnout Technology Germany GmbH, Brandenburg, 2020, p. 1-10.

[5] Loy, H.; Augustin, A.: Pushing the limits of ballasted heavy-haul railway track by means of high strength under-sleeper pads made of a specially developed PUR. In: Rail Engineering International, England, Edition 4, December 2015, p. 3-6.

[6] Quirschmair, M.; Loy, H.: Managing track stiffness in transition zones. In: Railway Gazette International, August 2015, p. 34-37.

[7] Loy, H.; Augustin, A.; Tschann, L.: Reduction of Vibration Emissions and Secondary Airborne Noise with Under-Sleeper Pads, Effectiveness and Experiences. In: Springer Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems, Proceedings of the 12th International Workshop on Railway Noise, Terrigal, Australia, Volume 139, p. 595-605.

[8] Sehner, M.; Heim, M.; Quirchmair, M.; Graß, W.; Loy, H.: Sensorschwellen - Messung der Pressungen unter Spannbetonschwellen L2 und L17, Getzner Werkstoffe Intern, Bericht Nr. 2019-26, Mai 2019.

[9] Loy, H.: Under Sleeper Pads: improving track quality while reducing operational costs. In: ERR European Railway Review, Volume 14, Issue 4, 2008, p. 46-51.

17.09.2021, loy, kes, aug