



© Deutsche Bahn AG / Volker Emsenleben

Elastizität in Weichen der nächsten Generation

Elasticity in next-generation turnouts

Laborgroßversuche zur Untersuchung der Beanspruchung eines unsanierten Unterbaus durch Holz- und Betonschwellen

Large-scale Laboratory Tests for the Investigation of the Loading of Non-rehabilitated Substructure by Wooden and Concrete Sleepers



Neue Fahrzeuge für die «Zacke» in Stuttgart – Technische Lösungen für eine innerstädtische Zahnradbahn – Teil 2

New Vehicles for the “Zacke” Railway Line in Stuttgart – Technical Solutions for an Inner-City Rack Railway – Part 2



© Stadler Rail AG

Zum Verhalten von Einzelfehlern der Gleislage

On the Behaviour of Single Failures of Track Geometry

Frühzeitige Detektion von punktuellen Instabilitäten an Bahnkörpern in konventioneller Schotterbauweise

Early Detection of Local Instabilities on Ballasted Railway Tracks

Elastizität in Weichen der nächsten Generation

Elasticity in next-generation turnouts

Dr. Harald Loy, Innsbruck (Österreich), Dipl.-Ing. Michael Kessler, MBA, Ing. Andreas Augustin, Dipl.-Ing. Michael Sehner, Dipl.-Ing. Martin Quirchmair, Bürs (Österreich)

Zusammenfassung

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.

Abstract

The requirements of the modern superstructure are diverse and constantly increasing: At the same time the demands in terms of failsafe performance and constant availability are right on top of the list of priorities for every operating company. The “maintenance-free superstructure” would be ideal, but is for sure not easily realised. However, one thing from the evidence of recent decades is demonstrated: defined elasticity seems to be a tried and tested way of bringing this ideal scenario within touching distance. This article highlights the most important features of elasticity in turnouts, introduces the ongoing Shift-2Rail project and provides a preview of track digitalisation using sensor sleepers from Getzner.

1 Einleitung 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.

Durch den Einsatz von elastischen Elementen lassen sich deutliche Verbesserungen hinsichtlich der Lastverteilung auf den Oberbau und der Schwingungsdämpfung erzielen (Bild 1). Der Schotter

wird weniger beansprucht und die Stopfintervalle werden verlängert. Auch Schädigungsbilder an den Schwellen, überlastete Spannklemmen, Schlupfwellen und verschlissene Zwischenlagen können vermieden werden. Auf diese Weise werden die Lebenszykluskosten (LCC) einer Weiche deutlich reduziert [3, 5, 6, 7, 9].

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 (Bild 2).

Um den gestellten Anforderung gerecht zu werden, wurde ein nichtlineares Berechnungsmodell auf Basis der Finite-

Elemente-Methode (FEM) entwickelt (Bild 3). 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.

2 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 als auch der

spezifischen Weichenbauteile ausgestattet.

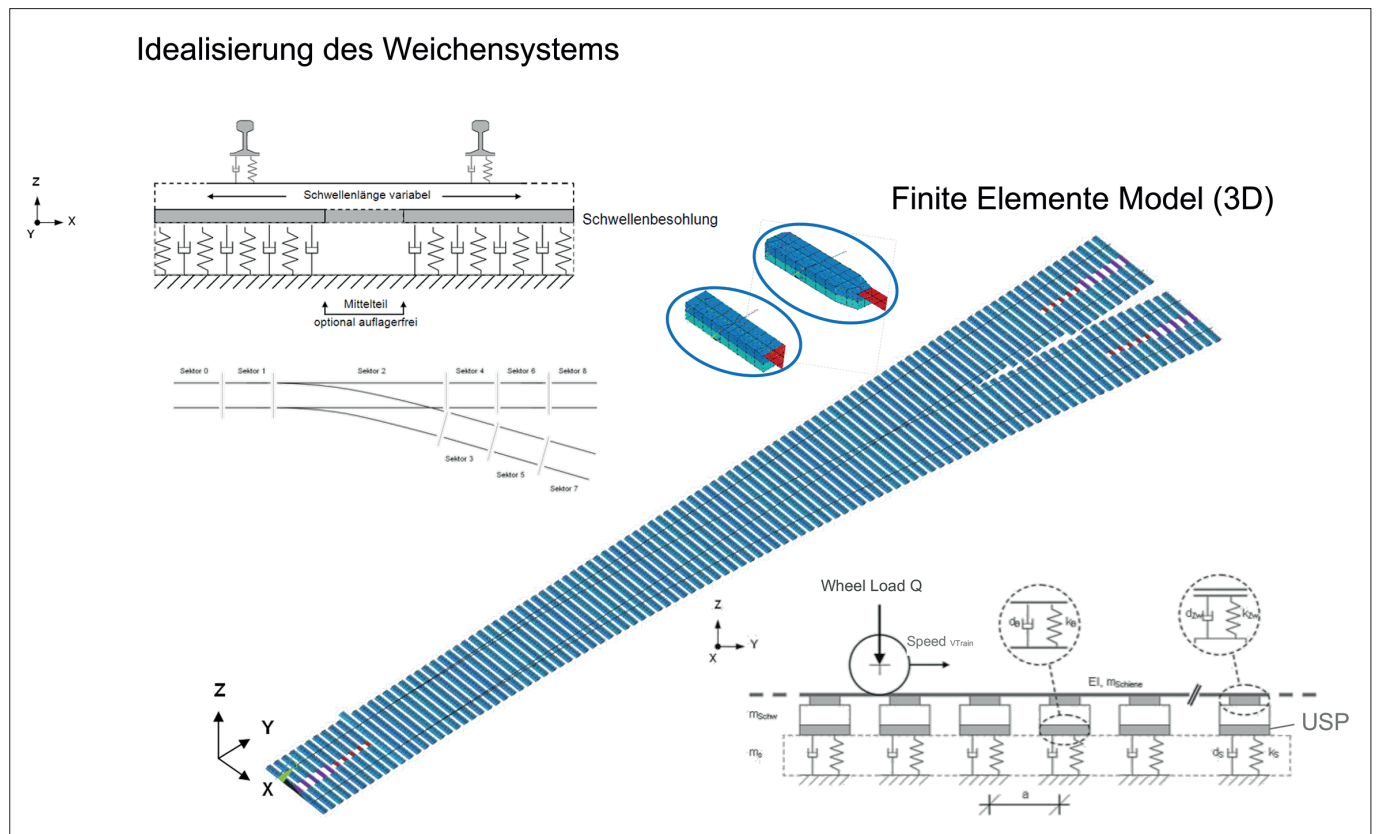
Das im Shift2Rail Projekt [2] weiter verbesserte FEM-Modell ermöglicht durch seine Parametrisierung die Berücksichtigung der geometrischen Randbedingungen, der Bodensteifigkeit und der Achslasten. Für nahezu jede Anforderung kann somit eine optimierte Lösung entwickelt werden.



■ Bild 1: Weichen können durch definiert eingebrachte Elastizitäten verbessert werden



■ Bild 2: Bedarfsgerechte PUR-Elemente aus Sylomer® und Sylodyn® zur Oberbauoptimierung



■ Bild 3: FEM-Weichenmodell zur Bettungsoptimierung

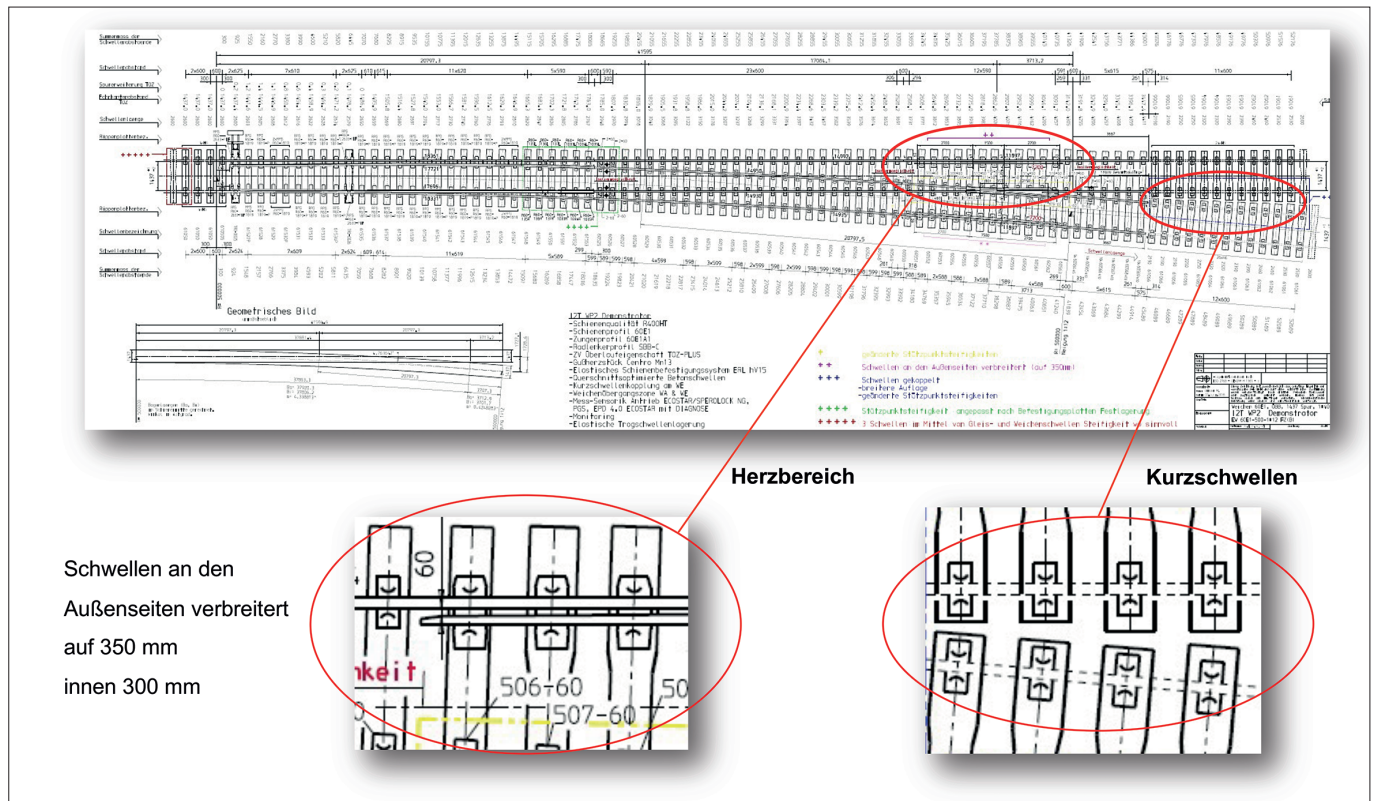


Bild 4: Konstruktionsoptimierung durch verbreiterte Schwellenenden in kritischen Bereichen

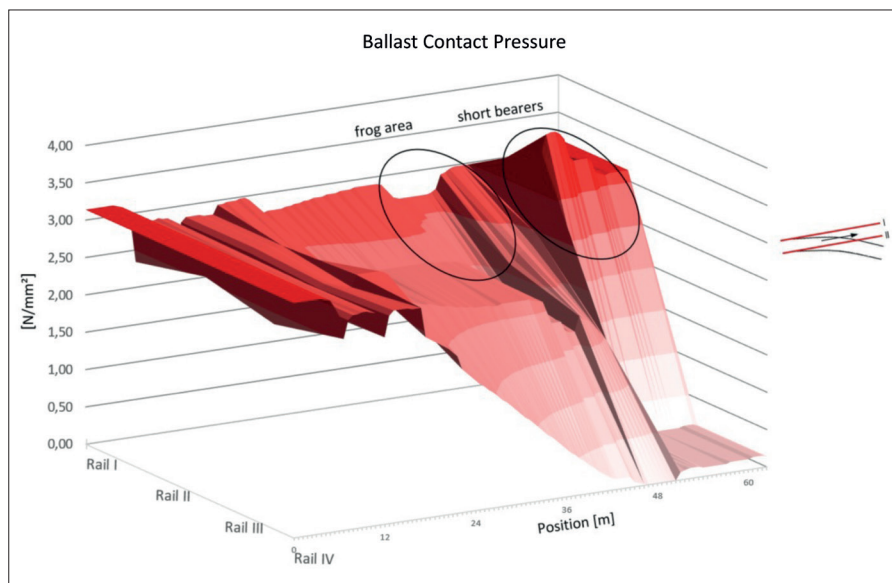


Bild 5: Schotterkontaktspannung ohne USP (und Standard-Weichenschwellen)

Computersimulationen und validierende In-situ-Untersuchungen zeigen außergewöhnliche Vorteile gegenüber nicht elastisch gelagerter Weichen. Stützpunktkräfte werden reduziert und Schotterpressungen können deutlich verringert werden. In kritischen Bereichen mit hohen Pressungen wurden bei diesem Projekt die Schwellen zusätzlich geometrisch verbreitert, um die Schotterbeanspruchung in diesen Zonen weiter zu vermindern.

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 im Hinblick auf die Reduktion der Lasten innerhalb der Weiche führen sollen (Bild 4).

3 Berechnungsergebnisse und Entwicklungen

Durchgeführte Vergleichssimulationen zeigen zunächst die mittlere Schotterkontaktspannung über den gesamten Weichenbereich, einmal im elastisch ungelagerten Zustand (ohne USP) und einmal mit den implementierten elastischen Verbesserungen (mit USP), Bild 5 und Bild 6. 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.

Das Schienenbefestigungssystem ERL NG mit Rippenplatte und hochelastischer Sylodyn®-Zwischenplatte besteht aus einem innenliegend beweglichen System, sowie den beiden fest montierten Führungsstücken (Bild 7).

Durch diese Führungsstücke werden die Rippenplatte und die hochelastische Sylodyn®-Zwischenplatte longitudinal und lateral formschlüssig zur Schwelle

fixiert. Die kraftschlüssige Befestigung der Führungsstücke an der Betonschwelle erfolgt durch Federringe, die mit Schwellenschrauben an die Schwelle geklemmt werden. Als Verankerung für jede Schraubenachse dient ein eingegossener Dübel in der Betonschwelle. In die Führungsstücke eingesetzte Elastomerfedern ermöglichen eine einwandfreie Klemmung am Träger über den gesamten Steifigkeitsbereich, sowie eine elastische Abfederung bei abhebenden Kräften, wodurch ein „Schlagen“ des Stützpunktes vermieden wird [4].

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 (Bild 8) dient als Ausgleichsschicht für Unebenheiten zur Schwelle und gleichzeitig als elektrischer Isolator zwischen den elektrisch leitfähigen Bauteilen und der Betonschwelle.

Die offiziellen Zulassungstests wurden an der Technischen Universität München

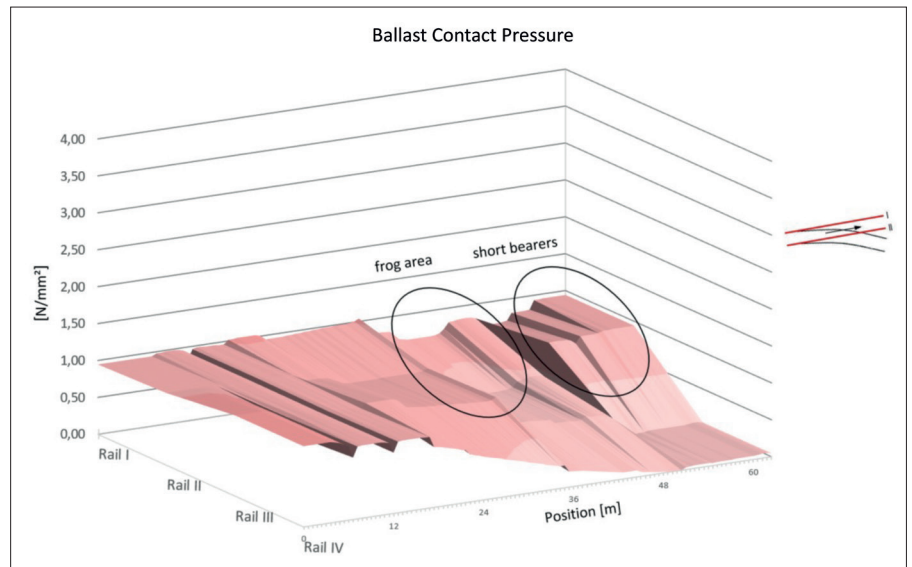


Bild 6: Schotterkontaktpressure mit USP (und verbreiterten Weichenschwellen)

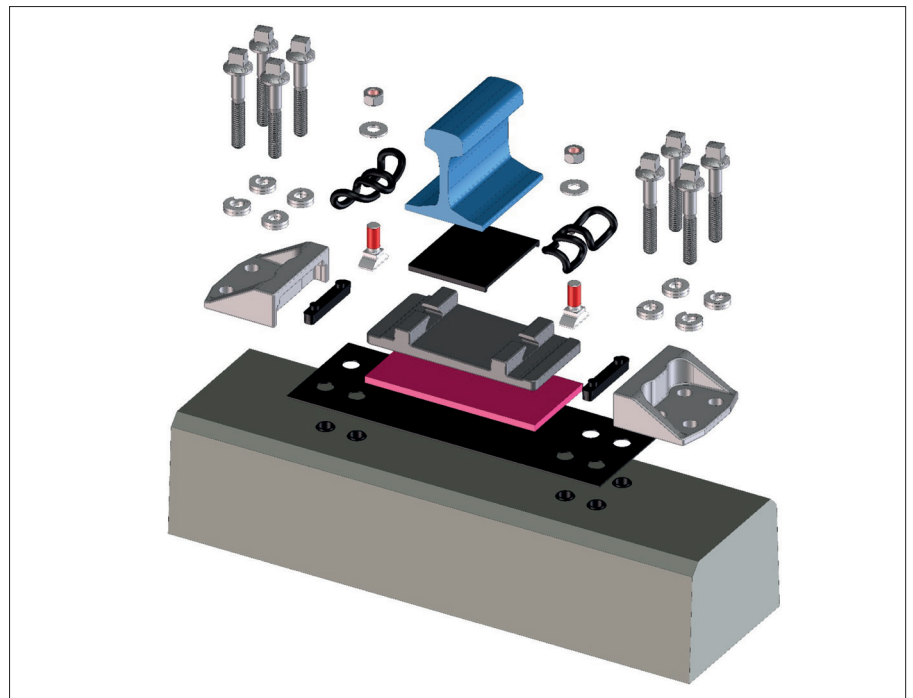


Bild 7: Schienenbefestigungssystem ERL NG [4] mit hochelastischen Sylodyn®-Zwischenplatten

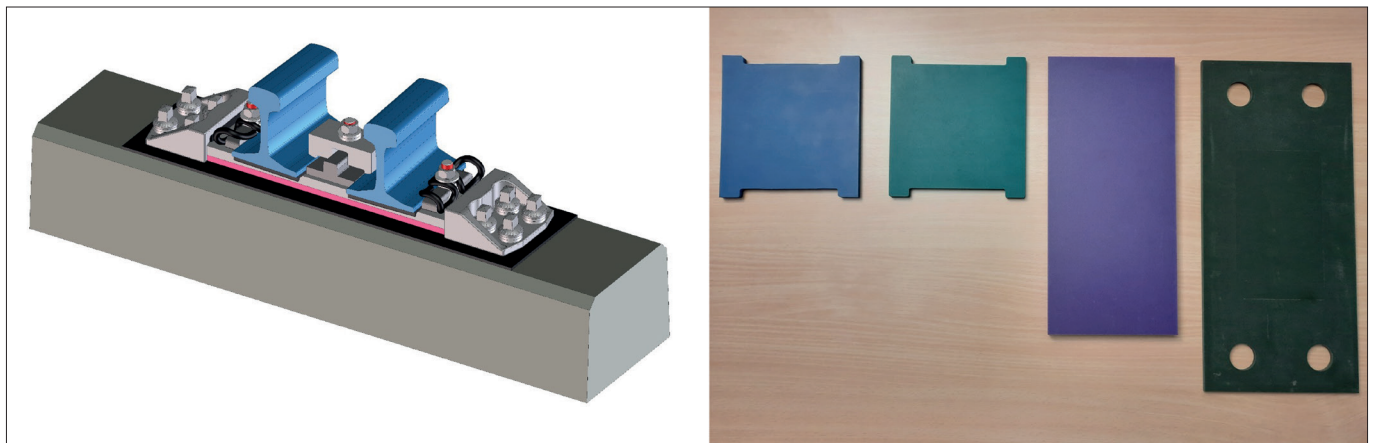


Bild 8: ERL NG [4] mit aufeinander abgestimmten PUR-Elastomeren (Herzstückbereich – beispielhafte Ausführung mit zwei Schienen und Klemmplatte)

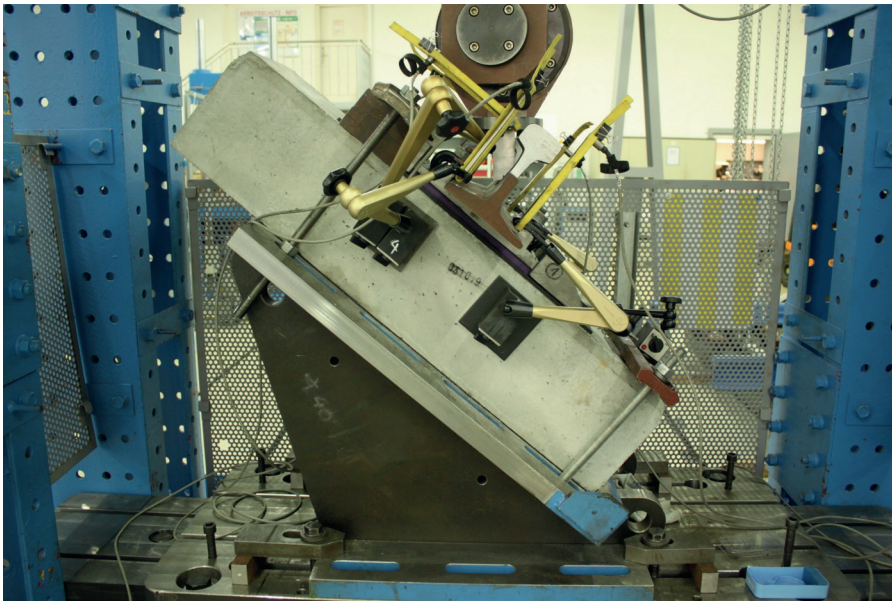


Bild 9: Stützpunktsystem ERL NG – Testaufbau im Schrägversuch entsprechend der EN 13146-4 [4]

durchgeführt – am Lehrstuhl und Prüfamts für Verkehrswegebau (Straßen-, Eisenbahn- und Flugplatzbau).

Alle Nachweise für die erforderlichen Prüfungen innerhalb der Normenreihe EN 13146 – Prüfverfahren für Schienenbefestigungssysteme – wie Durchschubprüfung, Ermüdungsprüfung, elektrischer Widerstand oder Einwirkung von Umwelteinflüssen wurden erfolgreich bestanden (Bild 9).

4 Umsetzung der Bettungsoptimierung im Weichen-demonstrator Shift2Rail

Die neu umgesetzten Entwicklungen sollen die Weichenbettung gegenüber dem heutigen Stand der Technik deutlich verbessern. Die Übersicht in Bild 10 zeigt

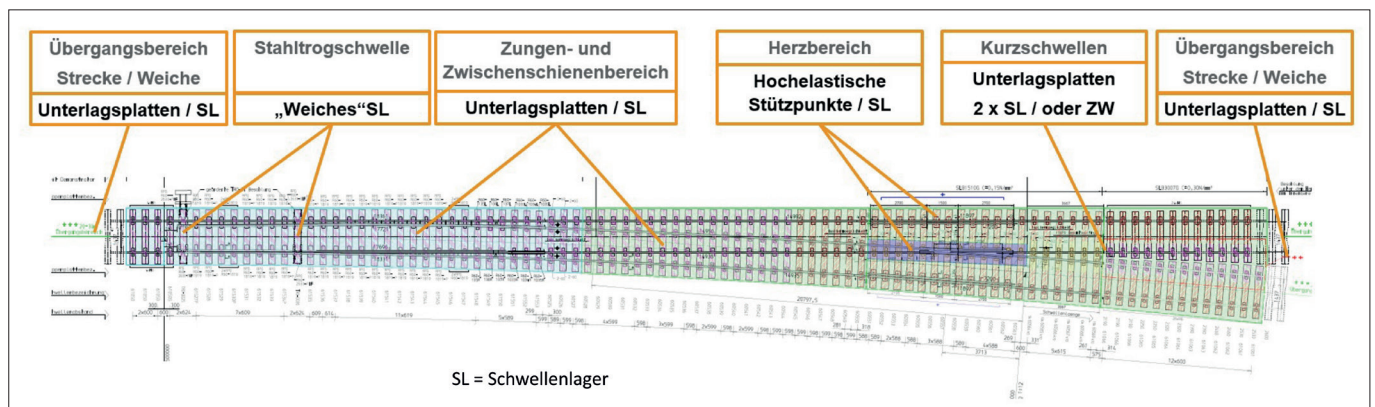


Bild 10: ÖBB-Weichenplan mit Möglichkeiten zur Bettungsoptimierung (Demonstratorweiche Shift2Rail-Projekt)

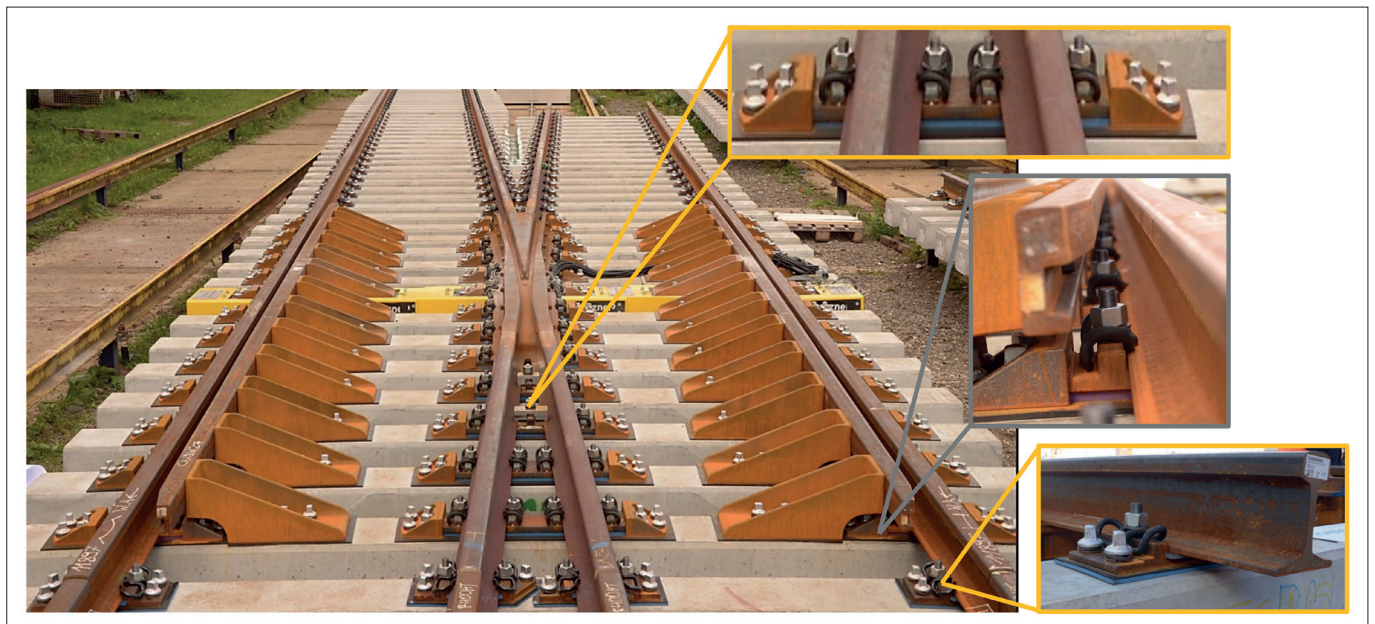


Bild 11: Umsetzungsfotos Herzbereich inklusive Radlenker

den Lageplan mit den unterschiedlichen Elastizitätsbereichen der sogenannten Demonstratorweiche im Shift2Rail Projekt (Bild 10, Bild 11).

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 folgenden Vorteilen:

- Gleichmäßigere Belastung der Weichenkomponenten
- Weniger Schotterzerstörung
- Weniger Setzung des Schotteroberbaus
- Höhere laterale Stabilität der Weichenschwellen

5 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

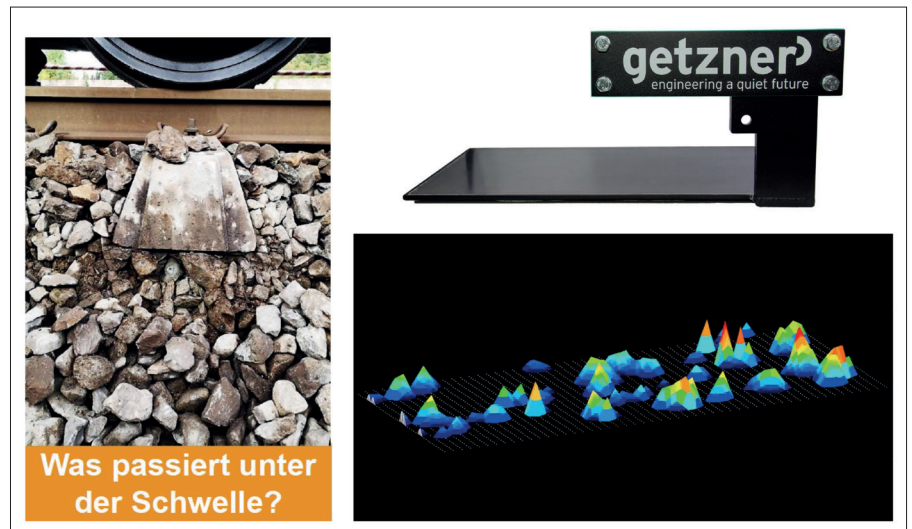


Bild 12: Drucksensoren erfassen positionsabhängig die Lastabtragung im Oberbau

positionsabhängig zu erfassen. Flächige Sensoren messen die auftretenden Belastungen bei Zugüberfahrt, die in einer Cloud verarbeitet und gespeichert werden können (Bild 12).

Erste Prototypen wurden erstmals im Netz der ÖBB im Jahr 2017 verbaut. Mehrere Streckenschwellen vom Typ L2 und vom Typ L17 wurden ausgerüstet (teilflächig und vollflächig besohlt) [8]. Die Diagramme in Bild 13 zeigen mögliche Darstellungsvarianten am Beispiel gemessener Kontaktflächen und Schwellenpressungen.

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 erst-

malig insgesamt vier Weichen mit weiterentwickelten Versionen der „Getzner Sensor Sleeper“ ausgestattet. (Bild 14)

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 dem 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)

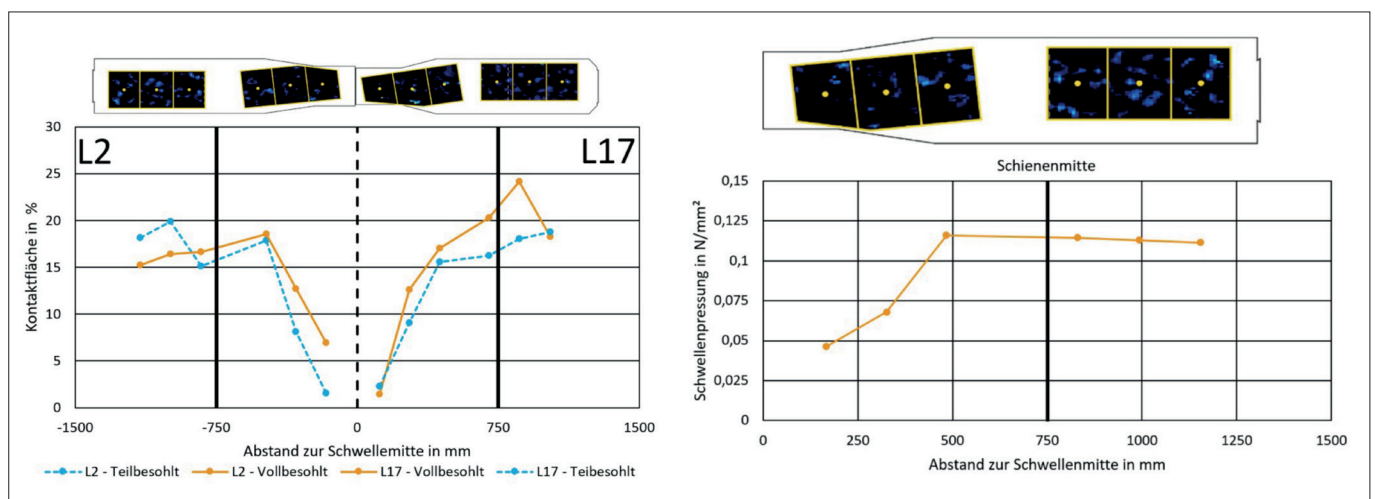


Bild 13: Gemessene Kontaktflächen (links) und Schotterpressungen (rechts) [8]



Bild 14: Einbauzustand und Messung im Shift2Rail Projekt

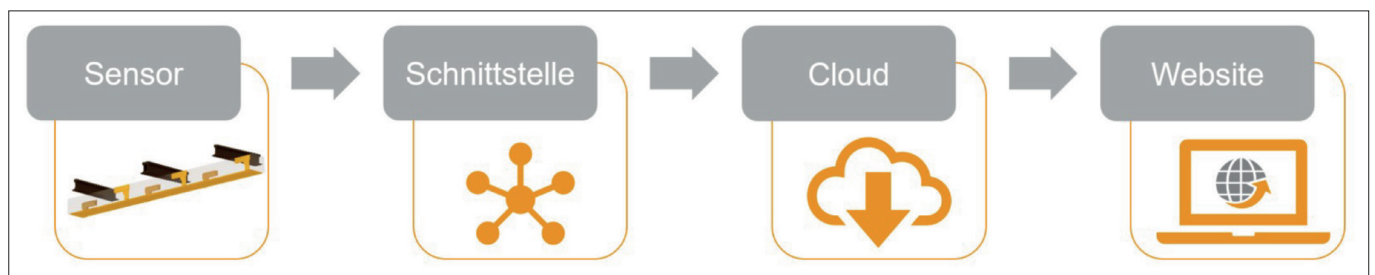


Bild 15: Messkette für Datenerfassung und Auswertung von jedem beliebigen Standort aus

- Überwachung des Lastkollektiv (Wie viele Züge mit welcher Last fahren auf einer Strecke?)
- Sicherheitsüberwachung (Überwachung der Schwellenaufgabe im Schotterbett; Hohllagen, Gleisverwerfungen an Hotspots wie Übergängen, starke Setzungen u. dgl.)

Der Datenzugriff kann dabei remote über die Cloud erfolgen, von jedem beliebigen Standort aus. Die Übersicht in Bild 15 symbolisiert die Messkette.

binieren 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.

#801_A2

6 Ausblick – Smart PSS

Product-Service Systems (PSS) sind Marktangebote, die Produkte und Services kom-

(Bildnachweis: 1 bis 15, Verfasser bzw. gemäß Bildunterschrift)

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, In 2Track2 : 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, S. 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.; Quirschmair, M.; Graß, W.; Loy, H.: Sensorschwellen – Messung der Pressungen unter Spannbeton-schwellen 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.



Dr. Harald Loy (47). Bauingenieurstudium an der Technischen Universität München, später Promotion an der Universität Innsbruck mit Auszeichnung. Ab 2000 Technischer Berater in München. Seit 2005 Entwicklungsingenieur bei Getz-

ner Werkstoffe GmbH im Bereich Forschung & Entwicklung. Von 2007 bis 2011 parallele Anstellung als Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Universität Innsbruck und derzeit Postdoc am Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme. Schwerpunkte in den Bereichen Simulation, Laborprüftechnik und In-Situ-Messungen. 2014 Nominierung für den Staatspreis für Innovation, Übernahme der Verantwortung als Leiter Team Systementwicklung. Seit 2018 Head of R&D Railway Division. Anschriften: Getzner Werkstoffe GmbH, Herre-nau 5, 6706 Bürs, Österreich | Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, Intelligente Verkehrssysteme, Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck, Österreich.

E-Mail: harald.loy@getzner.com



Dipl.-Ing. Michael Kessler, MBA (34). Studium der Kunststofftechnik an der Montanuniversität Leoben. MBA für Technologie und Innovation an der Universität Liechtenstein. Ab 2014 Entwicklungsingenieur bei Getzner Werkstoff-

fe GmbH in Bürs. 2018 Produktionsleiter bei Getzner USA, Inc. in Decatur, Illinois. Von 2018 bis 2020 Verfahrenstechniker im Bereich Produktion Engineering bei Getzner Werkstoffe in Bürs mit Fokus auf die Herstellung von Elastomerprodukten für Bahn. Seit 2021 Produktmanager für Schwellenlager in der Railway Division.

Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herre-nau 5, 6706 Bürs, Österreich.

E-Mail: michael.kessler@getzner.com



Ing. Andreas Augustin (45). Besuch der Höheren Technischen Bundeslehranstalt für Maschinenbau und Automatisierungstechnik in Bregenz. Später berufsbe-gleitender Studiengang der Integrierten Produktent-

wicklung IPD an der Fachhochschule Dornbirn. Seit 1997 Tätigkeit als Konstrukteur im Maschinenbau. Ab 2000 Qualitätsingenieur in Forschung & Entwicklung. Nachfolgend verschiedene Führungspositionen im Qualitätswesen, der Entwicklung und der Geschäftsleitung bei der Getzner Werkstoffe GmbH. Seit 2018 in der Unternehmensentwicklung.

Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herre-nau 5, 6780 Bürs, Österreich.

E-Mail: andreas.augustin@getzner.com



Dipl.-Ing. Michael Sehner (32). Physikstudium an der Universität Innsbruck mit Master in Experimentalphysik im Feld der Quantenoptik. Seit 2016 arbeitet er als Entwicklungsingenieur bei der Getzner Werkstoffe GmbH, seit 2018 an der Sensor-

schwellentechnologie. Derzeit ist er verantwortlicher Ingenieur für die Weiterentwicklung der Sensorschwelle im Rahmen der Produktdigitalisierung bei Getzner Werkstoffe.

Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herre-nau 5, 6706 Bürs, Österreich

E-Mail: michael.sehner@getzner.com

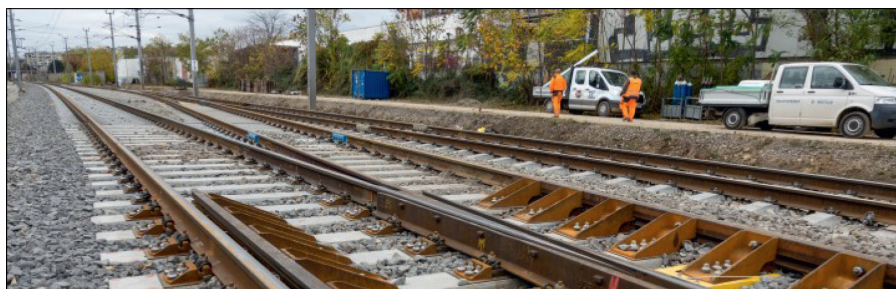


Dipl.-Ing. Martin Quirschmair (38). Studium der Technischen Physik an der Technischen Universität Wien. Seit 2013 Entwicklungsingenieur bei Getzner Werkstoffe GmbH mit Schwerpunkt Oberbauoptimierung und Schwingungsreduktion im

Eisenbahnoberbau mittels Elastomeren. Von 2015 bis 2017 Projektmanager Railway für Getzner USA Inc. in Charlotte, North Carolina. Seit 2018 Entwicklungsingenieur in der Railway Division und u. a. Verantwortlicher für internationale Forschungsprojekte (z. B. Horizon 2020-Shift2Rail), Fahrweg-Simulationen, Messungen im Gleis, Koordinator von Laboruntersuchungen und die Produktgruppe Schwellenlager.

Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herre-nau 5, 6706 Bürs, Österreich.

E-Mail: martin.quirschmair@getzner.com



Definierte Elastizität für neue Weichen Designs

www.getzner.com

Das Einbringen einer definierten Elastizität mit Getzner Sylomer® und Sylodyn® gleicht asymmetrische Belastungen im Weichenbereich aus. Der Verschleiß der Weichen- und Oberbaukomponenten wird deutlich reduziert, ebenso wie die Wartungskosten.

Benefits:

- Reduzierte Wartungskosten
- Erhöhte Sicherheit auf der Strecke

Weitere Information:

www.getzner.com/weichen



getzner
engineering a quiet future