



NETZE

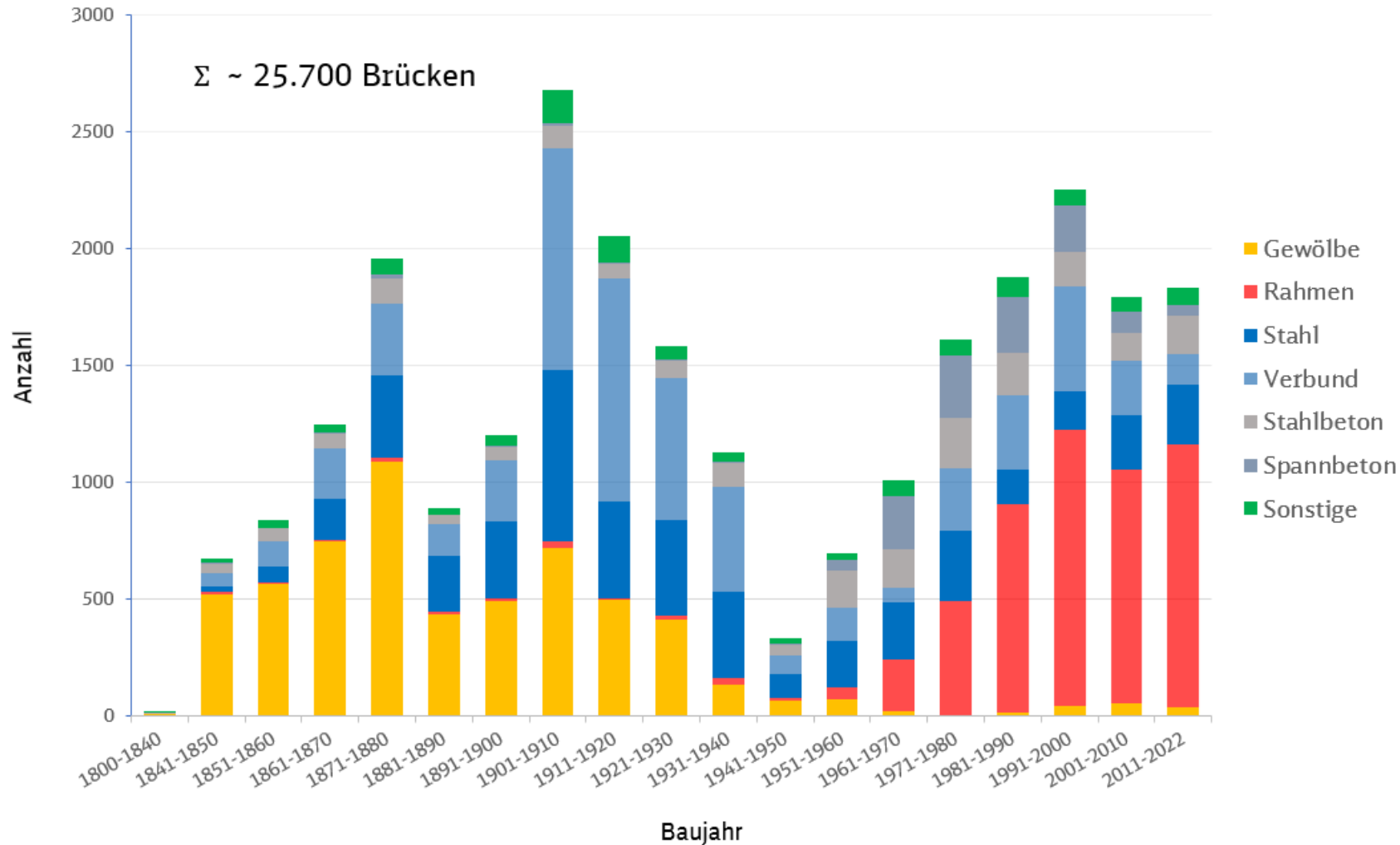
Digitaler Zwilling Eisenbahnbrücken – Auswertungen am Gesamtnetz

11. November 2023 | Norddeutsches Eisenbahnforum 2023 Ludwigslust

1. Übersicht über den Brückenbestand der DB Netz AG
2. Implementierung in das Gesamtnetz
 - a. Datenmodell Statik und Dynamik (DMSD)
 - b. Berechnungstools
 - c. Datenverfügbarkeit und KI
 - d. Fahrplandaten für bauwerksspezifische Auswertungen
 - e. Austausch von Tragwerksmodellen
3. Darstellungen im Wellenlängendiagramm
4. Standardisierte Auswertungen - Zielzustand
5. Weitere Forschung im Umfeld

Übersicht über den Brückenbestand der DB Netz AG

1 Digitaler Zwilling = 1 Brücke kann schon sehr komplex sein → Erarbeiten von Aussagen über den gesamten Brückenbestand durch Auswertung aller Brücken (twin of twins)



- Brücken im Schnitt ~80 Jahre alt
- ~80% Stützweite bis 15m
~90% Stützweite bis 25m
- die ~25.700 Eisenbahnbrücken sind in ~70.000 individuelle Struktureinheiten unterteilt (IDs)

Gesamtnetz - Datenmodell DMSD



führendes System:
Bauwerksteilart, Stützweite L,
Baujahr, Ergebnis Begutachtung,
Brücke und Oberbau...

AVANI

Gleisnetzdaten,
Streckeninformationen:
örtl. zul. Geschwindigkeit,
Gleisradius, TSI Verkehrscode...

DB Transport

statische Brückenbewertung
(FvBel): Belastbarkeitswert β , EN
Streckenklasse....



Datenerfassung Projekt
BBK (ICE4): Abmessung,
Steifigkeit EI, Masse m,
Modelle...

LeiDis

Fahrplandaten: alle Zugfahrten mit
Informationen an Betriebsstellen
→ Lastmodellzuordnung = Belastung
des Überbaus I

DatenModell Statik und Dynamik (DMSD)
inkl. Applikationslogiken (Berechnungen,
Vergleiche, Bewertungen)



SAP- konforme und Einzelüberbau- scharfe
Zuordnung der Daten!

Sensordaten

Tagesmessung mit Ergänzung durch **KI**,
Dauermonitoring (derzeit 5 Anlagen) und DafuR

model update, Belastung
des Überbaus II



Bauwerksdaten

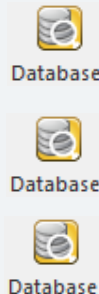
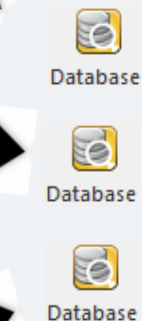


Berechnungsergebnisse
und Expertenwissen



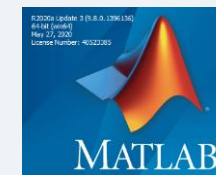
Berechnungstool RA

einfache 2D-Modelle und komplexe 3D-
Modelle, statische & dynamische Berechnung
Schnittstellenbeschreibung



web front end (Listen, Diagramme)

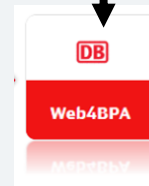
schnell
rudimentär



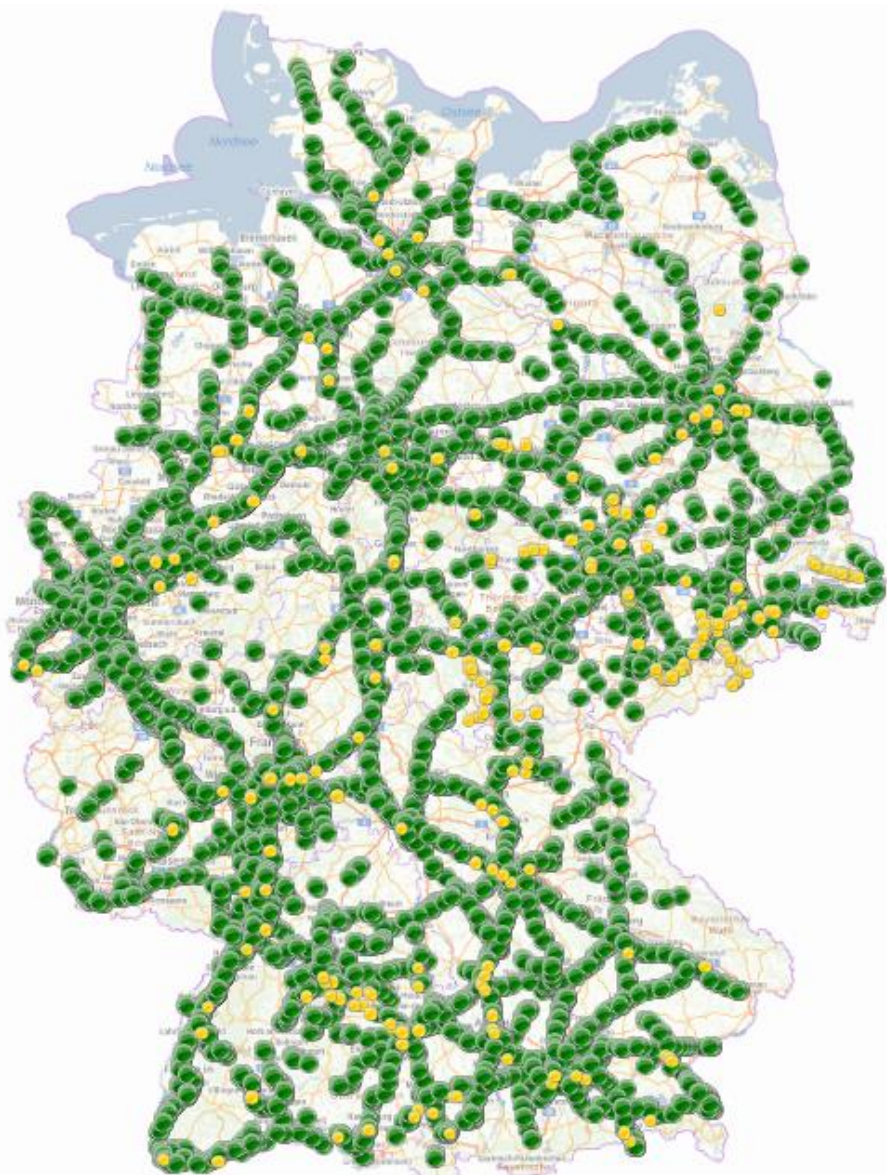
Experten

Dashboards

unternehmens-
weit verfügbar



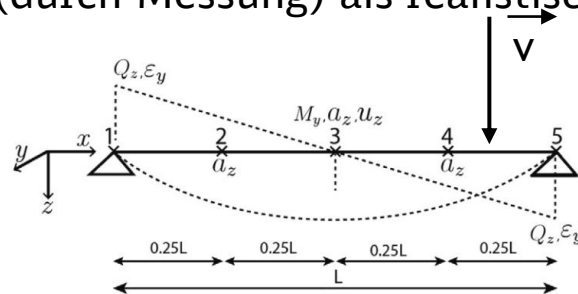
LeiDIS... Leitsystem Disposition
AVANI... Analyse, Verwaltung und Abgabe der DB Netz Geo-Informationen
DafuR... Detektionsanlage für unrunde Räder
RA... RailAIXpert



Für mehr als ein Drittel aller Überbauten (insbesondere für lokale Geschwindigkeiten > 120 km/h) liegen berechenbare Strukturmodelle vor:

Zuordnung	Vorhandene IDs	Berechenbare IDs	%
Regelbauwerk Einfeldträger	28309	10532	37,2
Regelbauwerk Durchlaufträger	7599	3088	40,6
Regelbauwerk Rahmen	8887	4391	49,4
Sonderbauwerke (Stabbogen, Fachwerk...)	4987	114	2,0
Summen:	49782	18125	36,4

Die Modelle haben unterschiedliche Komplexitäten, haben sich aber (durch Messung) als realistisch erwiesen:



Mit einer Prüfung gegen Grenzwerte für alle Überbauten werden Aussagen über das Gesamtnetz möglich.

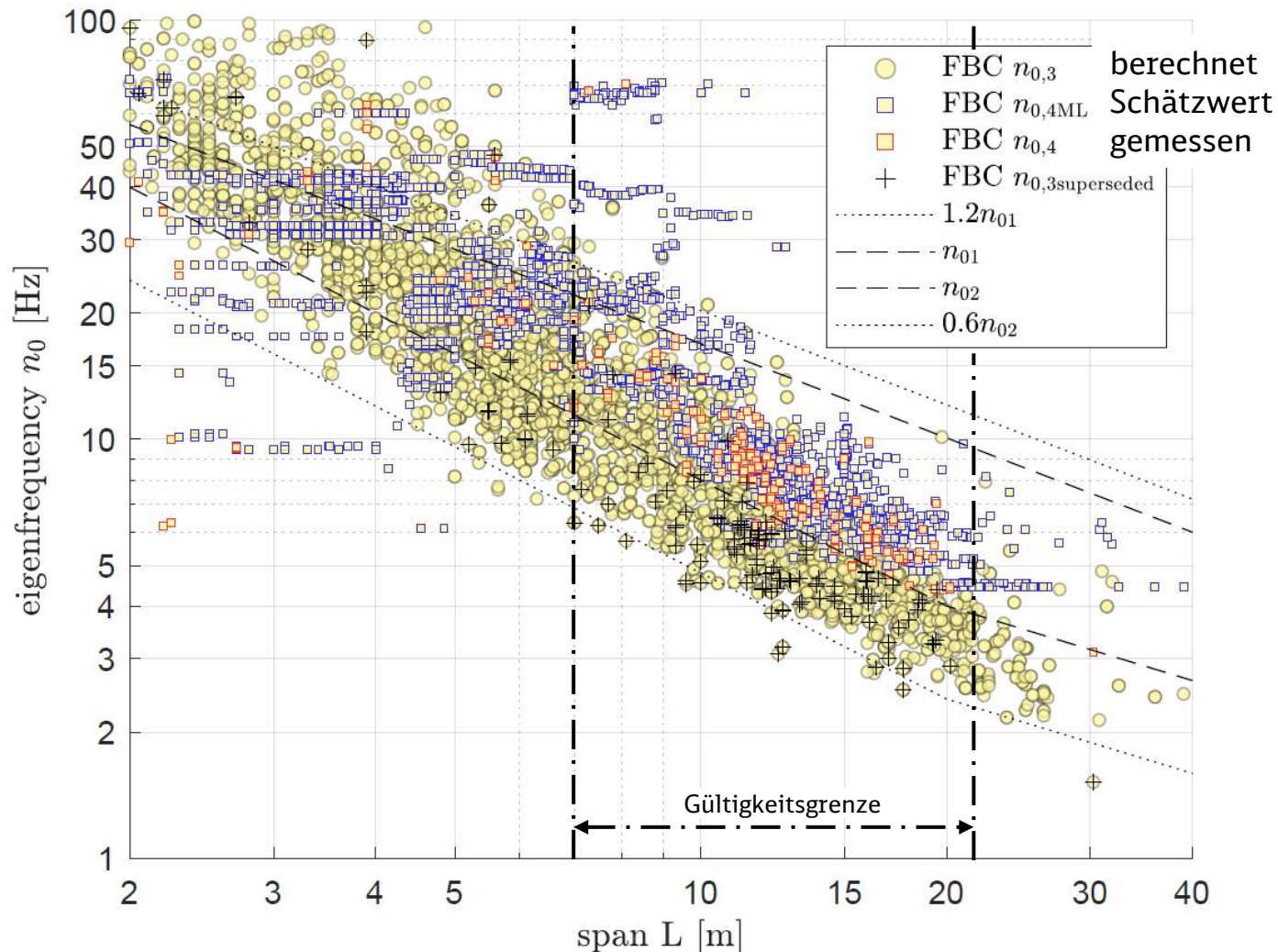
alle IDs im DB-Netzwerk (außer Gewölbe)

Gesamtnetz – Datenverfügbarkeit und KI

1	ID_AUFTRAG_ZPM'	6633	35790	6644	2185	6618	17614
2	'STRECKENNRGBW'	2650	4540	2650	2200	2650	2990
3	'KMGBW_GES'	28.3750	78.6270	29.2960	70.9530	25.1700	81.5810
4	'STRNR'	2650	4540	2650	2200	2650	2990
5	'KMSTB_GES'	28.3750	78.6270	29.2960	70.9530	25.1700	81.5810
6	'STBNR'	5	1	4	1	3	2
7	'KRAA'	'1612'	'1636'	'1615'	'1635'	'1636'	'1616'
8	'V_SOLLIST'	200	160	200	160	200	120
9	'ERLAEUT'	'Hildener S.'	'Ostrach'	'Forststraße'	'Dortmund'	'Garther Bach'	'Rüschestr...
10	'BAUWERKSTEILART_ALL'	'Vollwandtr...	'Vollwandtr...	'Vollwandtr...	'Vollwandtr...	'Vollwandträger'	'Vollwandtr...
11	'STAT_SYST_ALL'	'Träger auf ...'	'Träger auf ...'	'Träger auf ...'	'Träger auf ...'	'Träger auf 2 St...	'Träger auf ...'
12	'STW_NUM'	17.8700	11.1000	19.3000	27.5000	16.4000	8
13	'ANZGLEISE'	1	1	1	1	1	1
14	'DATUM_GESAMT_BAUJA...	1966	1932	1966	1961	1970	1913
15	'n0_3'	6.5010	13.5500	4.4520	2.8900	5.2790	18.9830
16	'DAEMPfung_ST3_SIMU'	1.2667	2.0195	0.9479	0.5172	0	2.2191
17	'NO_4PREDICTIONS'	7.1619	13.9372	5.6606	5.2158	6.2250	14.8243
18	'EIGENFREQUENZ_ALT_STUFE_5'	4.9000	5.4000	5.4000	5	6.7000	14.9000
19	'DAEMPfung_ALT_STUFE_...	3.4000	2.0190	2	0.5170	2	1.6000
20	'MESSGRUPPE'	'DBST'	[]	'DB Netz'	'DBST'	'DB Netz'	'DBST'
21	'HOEHE_KONST_UEB_MIT...	1.4000	0.9800	1.5000	1.8980	1.2980	0.9100
22	'UEBERBAUBREITE_DEB'	4.2000	3.5000	3.7000	3.5000	3.6500	3.4800
23	'BAUWERKSBREITE_IN_M'	31.6500	5	24	9	20.6000	15
24	'UEBERSCHUETTUNGSHO...	0.4000	0	0.4600	0.4580	0.4200	0.2500
25	'MASSE'	6.0500	3.0700	7.1300	5.1000	6.8300	3.9200
26	'I_MASSE_KONSTRUKTION'	'2,65'	'2,85'	'3,87'	'1,56'	'3,46'	'1,22'
27	'I_MASSE_FAHRBAHN'	'3,4'	'0,22'	'3,26'	'3,54'	'3,37'	'2,70'
28	'PHI_RECHUNG_ST3'	1.1780	1.2800	1.1630	1.1050	1.1941	1.3680
29	'BETA_HT_M_DEB'	1.1220	1.2100	1.1260	1.1670	1.1270	0.8200
30	'BETA_HT_Q_DEB'	1.2220	1.5500	1.1260	1.3170	1.2020	0.8200
31	'I_LASTVERTEILUNG'	[]	'Bild 7: nich...	[]	'Bild 7: nich...	[]	'Bild 7: nich...
32	'ZUSTANDSFAKTOR_GAM...	'1,02'	'1'	'1,05'	'1,05'	'1,05'	'1,16'
33	'BETA_WERT_ERMIT_FUER...	[]	'ein Gleis (...'	[]	[]	[]	[]
34	'I_ART_BETA_WERTE'	[]	[]	'est 8_UIC_...	[]	'est 8_UIC_...	[]
35	'I_NACHRECHNUNGSSTU...	'2 - genau...	[]	'2 - genau...	'1 - Abschä...	'1 - Abschätzung'	'1 - Abschä...
36	'AG1_My'	1.0820	0.4590	1.1520	0.9960	0.7600	0.4930
37	'AG1_Qz'	0.8620	0.3910	0.9600	0.7530	0.6600	0.3730
38	'AZ'	4.4675	3.7868	20.7934	20.1913	13.3200	0.6921
39	'AG1_My_1'	0.5960	0.5100	0.7890	1.0010	0.7000	0.4870
40	'AG1_Qz_1'	0.5030	0.4600	0.6710	0.7670	0.6200	0.3800
41	'AZ_ST5'	9.2262	NaN	11.5631	4.6395	3.4200	2.4785
42	'FAHRBAHN'	'geschlossen...	'offen, mit ...'	'geschlossen...	'geschlossen...	'geschlossen, mi...	'geschlossen...
43	'L_D'	992.7452	1.0728e+03	613.3733	304.6350	649.9600	NaN
44	'GRENZE_L_ZU_W'	1.0900e+03	900	1.1208e+03	1.1045e+03	NaN	800
45	'ZULAESSIG_W'	1.6395	1.2333	1.7220	2.4897	NaN	1
46	'UZ_REAL_MM'	18.0006	10.3468	31.4653	90.2720	25.2323	NaN
47	'MIN_RADIUS'	2000	9999	9999	9999	9999	8100
48	'RECHTSWERT'	'351772.46...	'528755.94...	'351319.56...	'408165.51...	'353402.159925...	'484060.10...
49	'HOCHWERT'	'5669894.0...	'5322974.7...	'5670671.6...	'5759741.9...	'5667141.00751...	'5783442.4...
50	'NETZ_TYP'	'hAplus'	'mA'	'hAplus'	'hA ohne h...	'hAplus'	'hAplus'
51	'vn3_Vstr'	8.5457	3.2800	12.4788	15.3787	10.5239	1.7560
52	'vn4_Vstr'	11.3379	3.1890	10.2881	8.8889	8.2919	2.2371
53	'ZUST_BAUTL'	'02'	'03'	'02'	'02'	'03'	'03'
54	'ZUST_BAUTL_6'	'03'	'04'	'03'	'03'	'03'	'04'
55	'ZUST_BAUTL_18'	'03'	'04'	'04'	'03'	'04'	'04'
56	'STRECKEN_KLASSE'	'Klasse D4'	'Klasse D4'	'Klasse D4'	'Klasse D4'	'Klasse D4'	'Klasse D4'
57	'D4DB'	'200'	'160'	'200'	'200'	'200'	'?'
58	'C2'	'200'	'160'	'200'	'200'	'200'	'?'
59	'B2'	'200'	'160'	'200'	'200'	'200'	'?'
60	'BREITE_GEO1'	51.1613	48.0594	51.1681	51.9808	51.1369	52.2012
61	'LAENGE_GEO1'	6.8801	9.3859	6.8733	7.6628	6.9045	8.7668

Für jede ID steht eine große Anzahl von Daten zur Verfügung. Einige fehlen und sind teuer zu beschaffen. Fehlende Daten werden durch ML-Methoden ergänzt:

Brücke ID 6618
Garther Bach



Gesamtnetz – Fahrplandaten

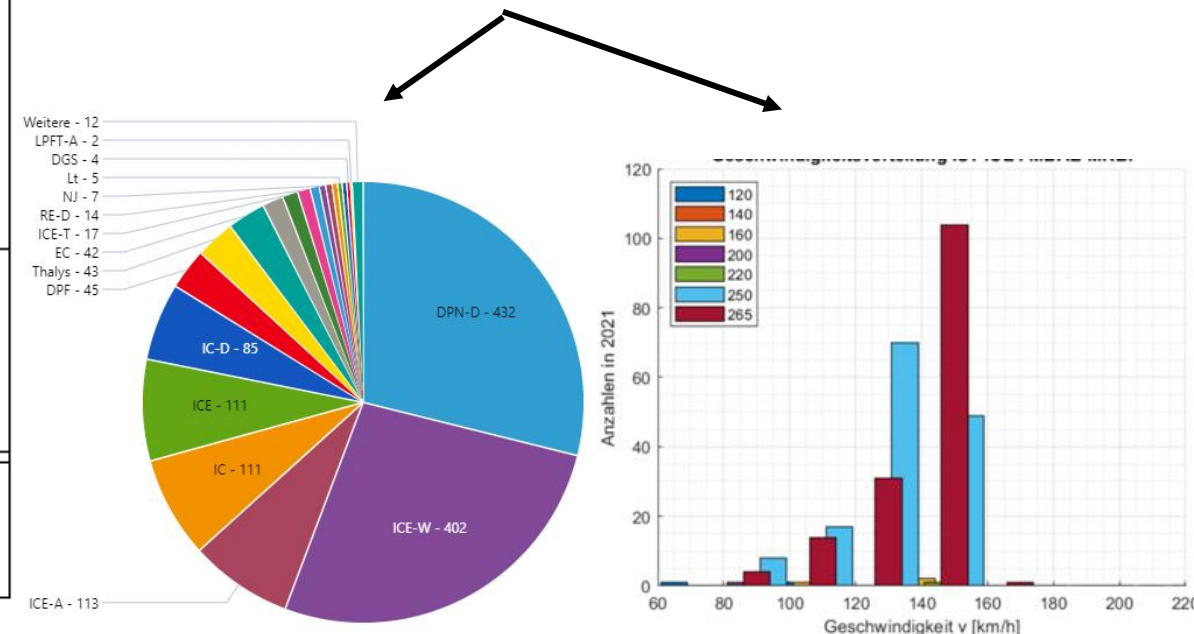
Name	Beispiel	Beschreibung	Einheit
ZIm Istrid	2650	Strecken- Nummer	
Km	25.17	km der Brücke	
Bst Vor Bruecke Bst	KLA	Betriebsstelle kurz, Vor	
Bst Vor Bruecke Name	Langenfeld (Rheinl)	Betriebsstelle lang	
Bst Vor Bruecke Km	19.5	Betriebsstellen- km, Lage- km	
Bst Nach Bruecke Bst	KDBE	Betriebsstelle kurz, Nach	
Bst Nach Bruecke Name	Düsseldorf-Benrath	Betriebsstelle lang	
Bst Nach Bruecke Km	28.545	Betriebsstellen- km, Lage- km	
First In Dept	KDBE	Fahrtrichtung von Betriebsstelle	
Last In Dept	KLA	Fahrtrichtung nach Betriebsstelle	
Btg	20.01.2022	Datum der Fahrt	
First Time	20.01.2022 20:16	Zeitstempel Betriebsstelle Vor, Ist- Zeit	
Last Time	20.01.2022 20:19	Zeitstempel Betriebsstelle Nach, Ist- Zeit	
ZIm Zn	544B	Zuglaufmeldenummer	
ZI Zgname	ICE-A	Zuggattung nach Ril 402.0208	
zg_zgugid	1	Unternummer der Zuggattung nach Ril 402.0208	
ZI Zgid	70	Hauptnummer	
ZIt Linid	10+	Linienverbindungen	
ZIt Tbrid	5402	Baureihenbezeichnung (führend)	
ZIt Tfzid1	5402	Baureihe 1. Traktion	
ZIt Tfzid2		Baureihe 2. Traktion	
ZIt Tfzid3		Baureihe 3. Traktion	
ZIt Vmax	280	max. Zuggeschwindigkeit max vZug	km/h
ZIt Last	440	Gesamtlast inkl. Traktionsmittel	t
ZIt Laenge	206	Gesamtlänge inkl. Traktionsmittel	m
ZIt Wgzahl	0	Wagenanzahl	
ZIt Wzlast	0 (bei Güterzügen tlw. ausgefüllt)	Wagenzuglast	t
ZIt Wzlaenge	0	Wagenzuglänge	m
Strecke	9.045	Abstand zw. den 2 Betriebsstellen u	km
Diff Time	+000000000 00:03:15.000000000	Zeitdifferenz Ist dt	s
Km H	180.9	u/dt, geschätzte Geschwindigkeit	km/h
Zug Typ	ICE 2 (Einfachtraktion)	Zuordnung zum Lastmodell	

Zuordnung der Fahrplandaten (Personen, Güter, Sonstig) zu jeder ID

die gegebenen Daten werden in Lastmodelle (Radsatzlast, Radsatzabstände) übersetzt

und stehen bspw. für Ermüdungsberechnungen zur Verfügung

aktueller Zugmix an ID 6188 und berechnete Geschwindigkeitsverteilung für 1 Zug:



Gesamtnetz – Austausch von Tragwerksmodellen

Vorhandene Schnittstellen haben Einschränkungen und sind nicht in der Lage, komplexe Modelle zu transportieren, die beim Entwurf oder bei der Nachrechnung für die dynamische Analyse verwendet werden, wie z.B.:

- Standard IFC2x3, IFC4, IFC4.2 (buildingSMART)
- Strukturelles Analyseformat SAF (Nemetschek)

daher Entwicklung einer eigenen Import- & Exportfunktion komplexer Strukturmodelle aus SOFiSTiK (dat), InfoCAD (icx) und IFC in die DB-Software RailAIXpert (Dlubal RSTAB/RFEM in Planung)

nicht-proprietäre Beschreibung in Tabellenform "DB XLS-RailAIX,,

Aufnahme der Modellübergabe an I.NAI 31 bei Nachrechnungen nach Ril 805 geplant

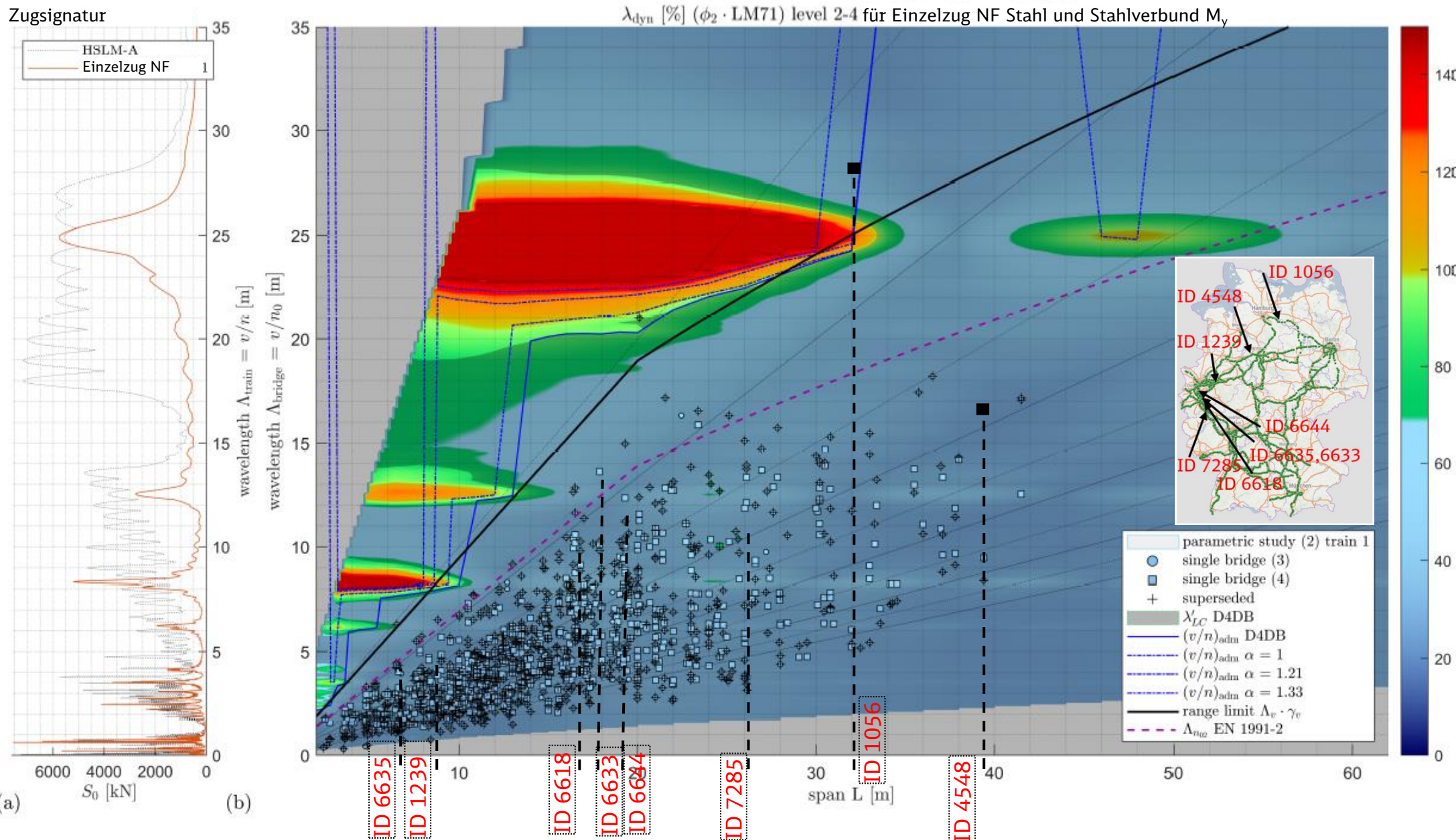
Querschnitt		Stabelemente					Flächenelemente			Widerstandsmomente				Materialeigenschaften				Bettungsmodul			Bettungsbreiten			
Nr.	Form	A [m²]	L ₁ [m]	L ₂ [m]	L ₃ [m]	L ₄ [m]	d [m]	czy/dz	dw	Wy.o [m³]	Wy.u [m³]	Wy.l [m³]	Wz.z [m³]	Art	E [MN/m²]	G [MN/m²]	v [-]	α _s [1/K]	γ [kN/m²]	k _z [MN/m²]	k _y [MN/m²]	k _x [MN/m²]	b _z [m]	b _y [m]
1	VT1(0-1.55	0.22666	0.04034142	0.11351773	10									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
2	VT2(1.55-3	0.22666	0.04034142	0.12962411	10									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
3	VT3(3.1-4.6	0.15458	5.5657E-05	0.11808005	10									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
4	VT4(4.65-6.2	0.15458	5.5657E-05	0.11818276	10									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
5	VT5(6.20-31	0.17893	0.00010177	0.14230021	10									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
6	VT6(31-46.5	0.16092998	7.6764E-05	0.12705403	10									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
7	1. LT und 4.	0.043456	3.5363E-06	0.00426707	10									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
8	2. LT und 3.	0.049296	4.0367E-06	0.00427873	10									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
9	Hilfsstab	0.02	10	10	10									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
10	BOGEN EN	0.12019999	0.01647734	0.01685857	0.01059126									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
11	BOGEN NC	0.10499999	0.01400073	0.01546024	0.00656984									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
12	HAE1	0.0168	0.00000504	0.00000126	0.00043904									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
13	HAE2	0.0276	0.00003312	0.00000828	0.00049666									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
14	HAE3	0.0079	0.00000962	0.00000491	0.00000491									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
15	HAE4	0.037	0.00008693	0.00059629	0.00002173									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
16	HAE5	0.0242	0.0000039	0.00061004	0.00000096									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
17	QT (y = var	0.08817199	9.5278E-06	0.02003098	0.02954642									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1
18	QT (y = var	0.08686	9.4158E-06	0.01689224	0.0295464									STAHL	210000	81000	0.296	0.000012	78.5	0	0	0	1	1

- Allgemeine Daten
- Fahrspuren
- Polygon-Querschnitte
- dünnwandige Profile
- Querschnittswerte und Material
- Knotenkoordinaten
- Kopplungen
- Balkenelemente
- Federelemente
- Bettung
- Flächen- und Volumenelemente
- Lagerbedingungen
- Punktmassen
- Dämpfungskoeffizienten
- Statische Lasten
- Nachweispunkte, Nachweisgrößen

Navigation: Allgemeines | Fahrspuren | Polygon | Dünnwandig | **Querschnitte und Material** | Knotenkoordinaten | Kopplungen | Stabelemente | Federelemente ...

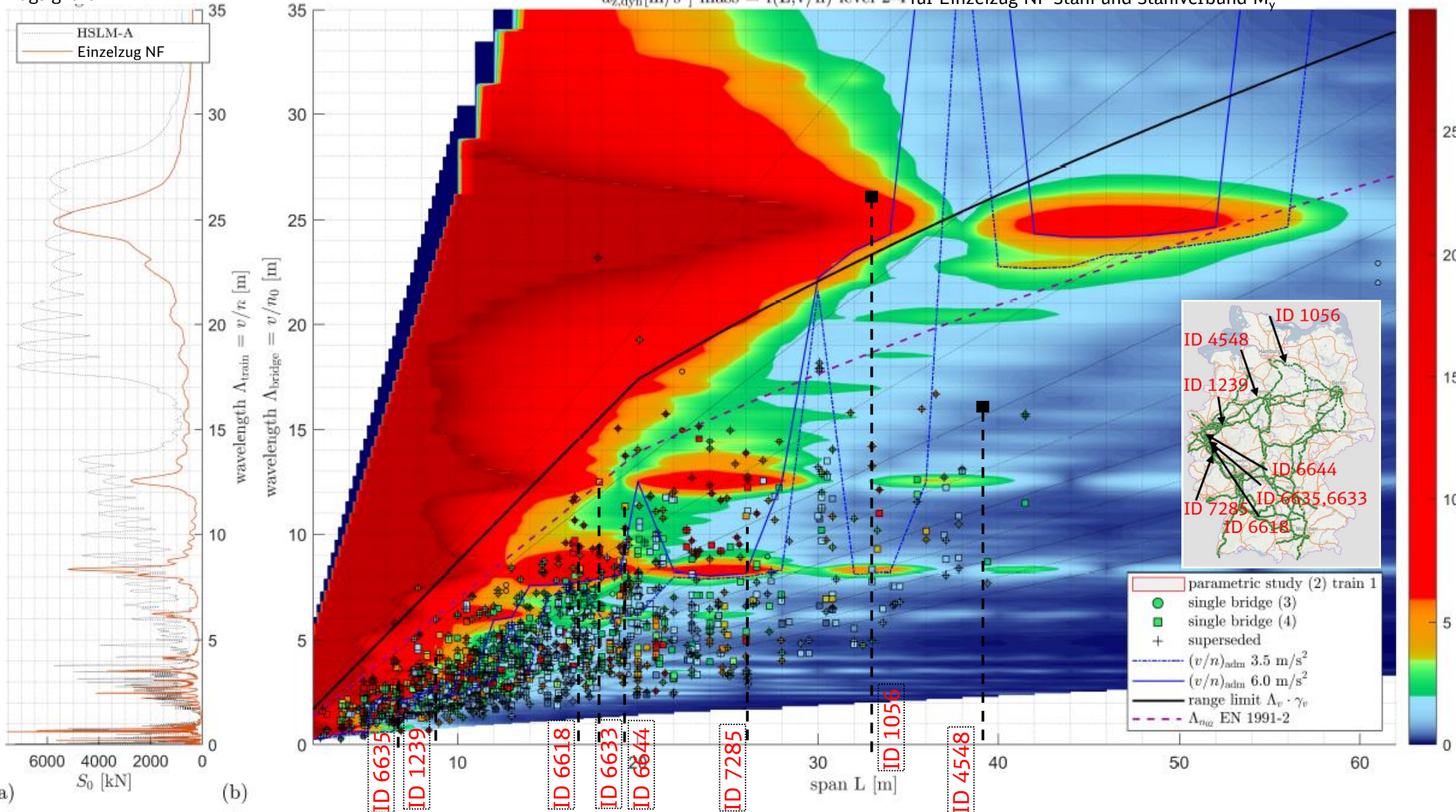
FH AACHEN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Darstellungen im Wellenlängendiagramm v/n



Darstellungen im Wellenlängendiagramm v/n

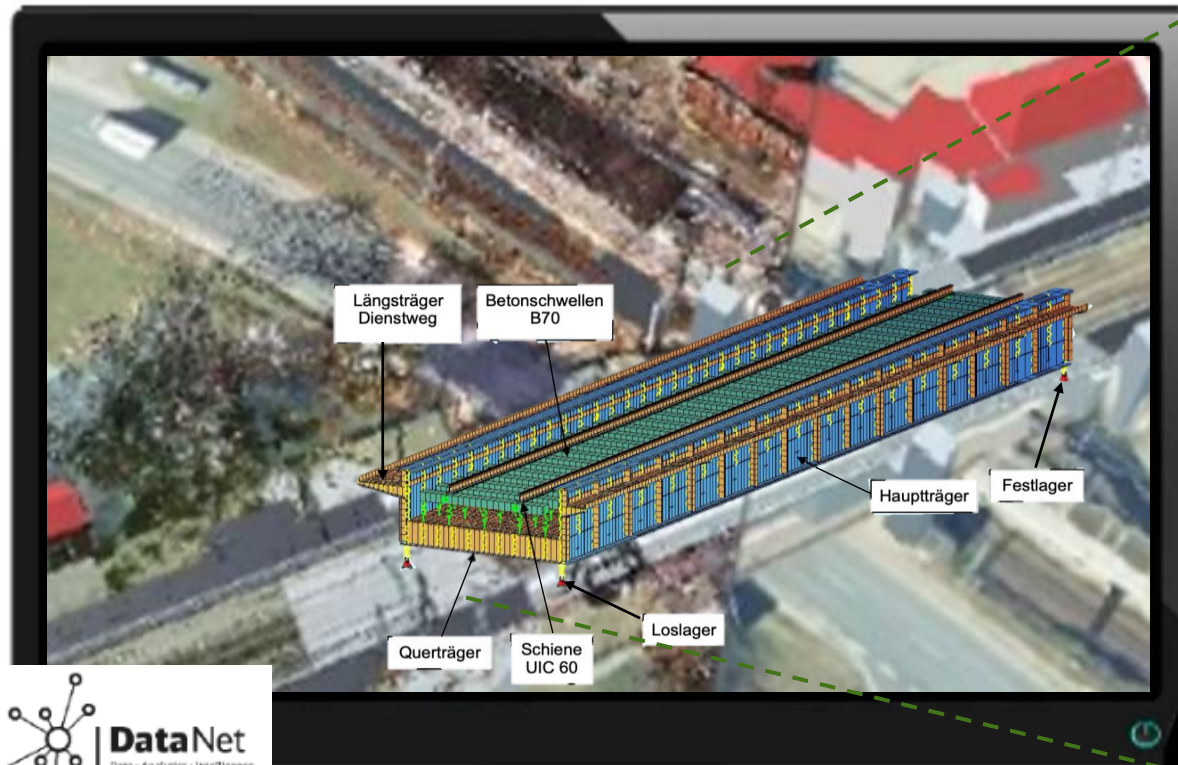
Zugsignatur



Standardisierte Auswertungen - Zielzustand

Bewertungsergebnisse für verschiedene Stakeholder (Instandhaltung, FvBel, Management, Regulierungsbehörde):

Webbasiertes System zur Verwaltung und Bereitstellung von Visualisierungsdaten der Eisenbahninfrastruktur mit Geodaten-**INFRAMAPS** und Analysewerkzeugen. Nutzenorientierte Use Cases werden sukzessive umgesetzt.



Allgemeine Daten

Strecken-Nr., Kilometer, ID	xx,xxx, ID 6644
Bauwerksteilart	Vollwandträger (Stahl)
Stützweite L	19,3 m
Baujahr	1966
Zustandskategorie (heute/in 6 Jahren/in 18 Jahren)	3/3/4
TSI Streckenklasse/ Verkehrscode (gem. TSI RINF)	F2,P2
EN Streckenklasse (gem. EN 15528)	D4
örtlich zulässige Geschwindigkeit v	200 km/h
$\Lambda_{bridge} = v/n_0$ (ohne Sicherheitszuschlag von 1,2)	10,3 m
Bruttotonnage des Vorjahres, je Fahrplanjahr	23,8 Miot/a
min β (Belastbarkeitswert mit Bezug zu ϕ_2^*LM71 , gem. Ril 805)	1,20
L/d (infolge ϕ_2^*LM71 , gem. EN 1990)	906
Tragwerksmodell Stufe (3 ohne/4 mit Kalibrierung, .1 eben .2 räumlich)	4.1

Berechnung mit dem Zugmix des Fahrplans

$\lambda_{dyn,mix}$ (größte Einwirkung mit Bezug zu ϕ_2^*LM71)	0,94
$(a_{z,dyn} / a_{z,adm})_{mix}$ (max. rechnerische Beschleunigung/Grenzwert)	1,2
Schaden D_{mix} (letztes Fahrplanjahr, statisch/dynamisch)	0,008/0,013
Restnutzungsdauer R der Brücke ab 2023 (Standard/berechnet)	43/38 a
Länge Inspektionsintervall (berechnet, Standard 3/6)	4,2/8,4 a

Weitere Forschung im Umfeld

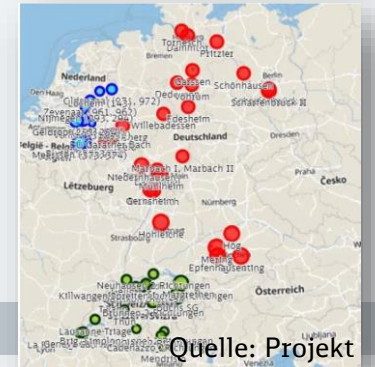
DiMaRB Digital Maintenance of Railway Bridges (mfund) **Sensor, Schaden**



Abbildung 44: Einteilung mehrerer Bauteile in Zustandskategorien
Quelle: Projekt

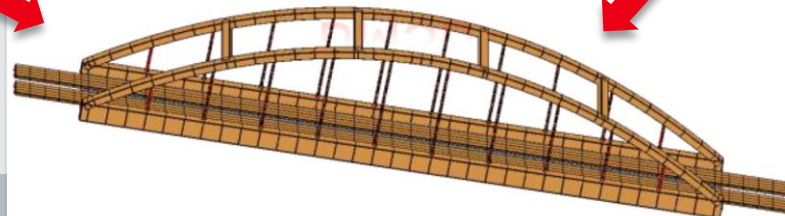
DEEBInfra Datenbasiertes Extrapolationsmodell zur Ermittlung von realen Betriebslastenzügen für (Rest-)lebensdaueranalysen von Eisenbahninfrastrukturanlagen (mfund)

Einwirkung



Quelle: Projekt

DMSD



Digitaler Zwilling

Brückendynamik; Dynamisches Lastmodell (DZSF)

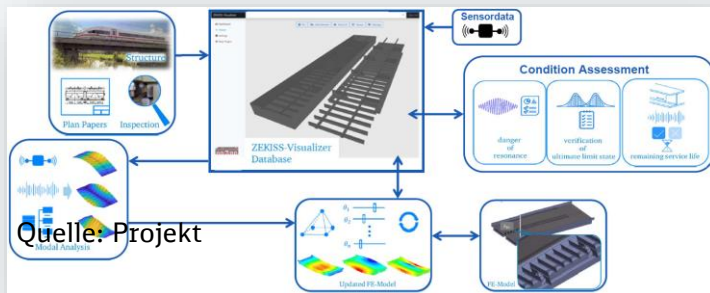
Quelle: Projekt

Einwirkung



Sensor-Modell
Zug misst Brücke!

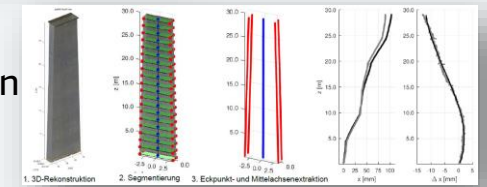
ZEKISS Zustandsbewertung von Eisenbahnbrücken und Fahrzeugen mit KI-Methoden zur Auswertung von Sensordaten und strukturdynamischen Modellen (mfund)



Quelle: Projekt

AISTEC Bewertung Alternder Infra-Strukturbawerke mit digitalen Technologien (BMBF)

Drohne-Modell



Quelle: Hallermann

mdfBIM, mdfBIM+ Teilautomatisierte Erstellung objektbasierter Bestandsmodelle mittels Multi-Daten-Fusion (mfund)

Drohne-Modell



Quelle: Projekt

- (1) GRUNERT, Günther, 2022. Data and evaluation model for the description of the static–dynamic interface between trains and railway bridges. Engineering Structures [online]. 2022. Bd. 262, Nr. March, S. 114335. DOI 10.1016/j.engstruct.2022.114335.
- (2) Günther GRUNERT, Ronny BEHNKE und Xiaohan LIU, 2023. Dynamische Zug-Brücken-Kompatibilität: Das Referenzverfahren als neue Nachweisform. Bautechnik. 2023. Bd. 100, S. 299–309. DOI 10.1002/bate.202300009
- (3) CHALLAGONDA, Sandeep Reddy, 2022. Predictive Maintenance of Railway Bridges with AI-Methods (Masterarbeit bei DB Netz AG). Hochschule Stralsund HOST
- (4) Ronny BEHNKE, Günther GRUNERT und Xiaohan LIU, 2023. Bewertung der fahrzeugspezifischen Ermüdungseinwirkung auf Bestandsbrücken bei Zugüberfahrt. In: 18. D-A-CH-Tagung Deutsche Gesellschaft für Erdbeningenieurwesen und Baudynamik (DGEB). 2023
- (5) RUPP, Maximilian Michael, Steven Robert LORENZEN, Max Alois FRITZSCHE, Henrik RIEDEL, Antonia KOHL, Eftychia APOSTOLIDI und Jens SCHNEIDER, 2023. High-speed drive-by monitoring: field testing with an intercity express train (ICE). In: EUROSTRUCT. 2023
- (6) GRUNERT, Günther, Ronny BEHNKE, Xiaohan LIU und Oliver SEURING, 2023. Design and application of Digital Twins for bridge dynamics at DB Netz. In: Eurodyn 2023 XII International Conference on Structural Dynamics. 2023
- (7) KOHL, Antonia, Michael VOSPERNIG, Maciej KWAPISZ, Günther GRUNERT, Andrei FIRUS und Jens SCHNEIDER, 2022. Neues Hochgeschwindigkeitslastmodell für Eisenbahnbrücken – Teil 2: Auswahl repräsentativer Fahrzeuge. Baudynamik 2022. 2022. Nr. May, S. 81–94. DOI 10.51202/9783181023792-81



NETZE