

Stand sicherheitsbeurteilung bestehender geotechnischer Bauwerke – Teil 2

Für die Geschwindigkeitsanhebung auf 200 km/h im Streckenabschnitt Erfurt–Eisenach war die Beurteilung der Standsicherheit der geotechnischen Bauwerke erforderlich.

**DIRK WEGENER | RALPH FISCHER |
EBERHARD LIEBERMANN**

Für den Ausbau des Streckenabschnitts Erfurt–Eisenach der Bahnstrecke 6340 Halle (Saale) Hbf–Guntershausen mit einer Geschwindigkeitserhöhung von 160 km/h auf 200 km/h waren Bewertungen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der bestehenden geotechnischen Bauwerke vorzunehmen. Im EI 4/2018, S. 11–15 erfolgten entsprechende Grundsatzuntersuchungen, ob es durch die Erhöhung der Geschwindigkeit der Reisezüge auf 200 km/h zu einer Erhöhung der quasistatischen bzw. dynamischen Beanspruchung kommt. In der vorliegenden Fortsetzung dieses Artikels wird auf Basis dieser Grundsatzuntersuchungen eine Kategorisierung der Erd- und Stützbauwerke sowie Durchlässe vorgenommen und die erforderlichen bautechnischen Maßnahmen im Ergebnis dieser Kategorisierung werden vorgestellt.

Kategorisierung der Erd- und Stützbauwerke sowie Durchlässe Ableitung von Bewertungsalgorithmen

Die rechnerischen Nachweisführungen der Standsicherheit von Erd- und Stützbauwerken sowie Durchlässen erfolgen entsprechend Ril 836.2001 unter Ansatz quasistatischer Einwirkungen, d.h. die dynamische Lasteintragung durch die Eisenbahnverkehrslast wird quasistatisch unter Berücksichtigung von Erhöhungsfaktoren erfasst.

Weiterhin gilt für die Standsicherheit von bestehenden Erd- und Stützbauwerken sowie Durchlässen, die in Gebrauch sind, dabei schadensfrei geblieben sind und nach Modul 836.8000 instand gehalten werden, gemäß Ril 836.7001, Abs. 2 (1) [1] Folgendes: *„Wenn ein Erdbauwerk in Gebrauch ist, dabei schadensfrei geblieben ist, nach Modul 836.8001 instand gehalten wird und die künftigen Beanspruchungen nicht höher als die bisherigen sind, darf davon ausgegangen werden, dass es für die weitere Nutzung ausreichend standsicher und ausreichend gebrauchstauglich ist.“*

Da für Durchlässe generell sowie für Erd- und Stützbauwerke mit Gleisbogenradien ≥ 2100 m und ausreichender Planumsbreite bzw. einem Abstand der Wandrückseite von

$\geq 2,5$ m bis zur nächstgelegenen Gleisachse es quasistatisch zu keiner Erhöhung der Beanspruchung infolge der Erhöhung der Geschwindigkeit der Reisezüge von $v = 160$ km/h auf $v = 200$ km/h kommt, kann somit von einer ausreichenden Standsicherheit ausgegangen werden, wenn sie schadensfrei geblieben sind und nach Modul 836.8001 instand gehalten werden. Für Erdbauwerke kann die Erhöhung der dynamischen Beanspruchung durch die höheren Schwinggeschwindigkeiten infolge der Geschwindigkeitserhöhung der Reisezüge von $v = 160$ km/h auf $v = 200$ km/h entsprechend der Planungshilfe [8] bei schwingungsempfindlichen Böden im Unterbau/Untergrund zu einer Akkumulation von Verformungen infolge der Zugüberfahrten und damit zu einer Verschlechterung der Gebrauchstauglichkeit, jedoch nicht direkt zu einer Reduzierung der Standsicherheit führen.

Eine Reduzierung der Standsicherheit für Erdbauwerke infolge dynamischer Beanspruchung kann nur bei Auftreten von Resonanzeffekten und damit nur bei sehr mächtigen, oberflächennah anstehenden, sehr weichen Böden mit geringer Rayleighwellengeschwindigkeit c_R auftreten (siehe auch Kapitel 4.7 in [5]). Diese sind jedoch im Streckenabschnitt Erfurt–Eisenach nicht vorhanden.

Für Durchlässe und Stützbauwerke kann es durch eine Erhöhung der dynamischen Beanspruchung durch höhere Schwinggeschwindigkeiten ebenfalls nicht direkt zu einer Reduzierung der Standsicherheit, jedoch zu einer Verschlechterung der Gebrauchstauglichkeit und damit z.B. zu Rissen kommen, in deren Folge auch die Standsicherheit beeinflusst werden könnte.

In Abhängigkeit von den o.g. Einschränkungen für die Erhöhung der quasistatischen Beanspruchung sowie den unterschiedlichen Auswirkungen aus der höheren dynamischen Beanspruchung werden im Folgenden die Durchlässe, Erdbauwerke und Stützbauwerke unter Berücksichtigung ihres baulichen Zustandes in Kategorien eingeteilt.

Kategorisierung der Durchlässe

Da es nach den Grundsatzuntersuchungen zur quasistatischen Vertikalbeanspruchung zu keiner Beanspruchungserhöhung durch die Erhöhung der Geschwindigkeit der Reisezüge von 160 km/h auf 200 km/h kommt, kann von einer ausreichenden Standsicherheit ausgegangen

werden, wenn sie schadensfrei geblieben sind und nach Modul 836.8001 instand gehalten werden.

Zur Beurteilung, ob es infolge der Erhöhung der dynamischen Beanspruchung durch die Erhöhung der Geschwindigkeit der Reisezüge von 160 km/h auf 200 km/h zu einer Reduzierung der Gebrauchstauglichkeit und in deren Folge zu einer Beeinflussung der Standsicherheit kommen könnte, ist gemäß ELTB [11] die Ril 836 [1] maßgebend, die wiederum auf die zu diesem Zeitpunkt gültige Fassung der DIN 4050-3 (1999-02) [12] verweist. Für unterirdische Hohlräume sind Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen erst mit der DIN 4150-3: (2016-12) [13] aufgenommen worden.

Die DIN 4150-3 (1999-02) [12] beinhaltet u.a. Anhaltswerte für Schwinggeschwindigkeiten zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf Bauwerke, Decken und erdverlegte Rohrleitungen, jedoch nicht allgemein für Tiefbauwerke. Somit kann die dynamische Beanspruchung für Platten-, Rahmen und Gewölbedurchlässe nicht nach DIN 4150-3 beurteilt werden. Die Anwendung der Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeiten bei Rohrleitungen nach Tabelle 2 bzw. 50% dieser Werte bei Dauerbelastung infolge Zugverkehr nach Abs. 6.3 der DIN 4150-3 setzt außerdem voraus, dass die Leitungen nach dem heutigen Stand der Technik hergestellt und verlegt wurden. Davon kann jedoch auch für die zum Teil deutlich älter als 20-jährigen Rohrdurchlässe nicht ausgegangen werden. Insofern wäre eine Beurteilung der dynamischen Beanspruchung auf Basis der DIN 4150-3 nur sehr eingeschränkt möglich. Es sind deshalb nach DIN 4150-3 Abs. 5.3 gesonderte Betrachtungen notwendig.

In der Schweizer Norm SN 640 312 a [14] (siehe auch Abs. 5.2.1 in [15]) sind detailliertere Angaben hinsichtlich Häufigkeit der Einwirkungen bzw. Erschütterungsquellen und Empfindlichkeitsklasse angegeben. Diese Norm beinhaltet auch Angaben zu Tiefbauwerken. Danach sind Rohrleitungen in Lockergestein bzw. überschüttete Tragwerke im Allgemeinen als wenig schwingungsempfindlich einzuschätzen. Entsprechend [14] sind bei permanenter Belastung, wie es der Zugverkehr darstellt, Schwinggeschwindigkeiten $< 6,0$ mm/s als unkritisch einzuschätzen. Dabei sind die 6 mm/s als Richtwert zu betrachten, d.h. ein Überschreiten dieses Wertes um $< 30\%$, z.B. durch

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Gepro Ingenieurgesellschaft mbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2018.

Kategorie	Überdeckung $h_{\bar{0}}$	Zustandskategorie	Charakteristik	Auswirkung	erforderliche Maßnahmen
I	$h_{\bar{0}} \geq 1,5$ m oder $h_{\bar{0}} \geq 1,0$ m und $h_{\bar{0}} \geq 0,50$ m + d_a	1	$v_{eff,z} < \approx v_{Richt}$ nur punktuelle Schäden, ausreichende Überdeckung	keine	keine
	$h_{\bar{0}} > 4,50$ m	2	$v_{eff,z} < \approx v_{Richt}$ größere Schäden, aber auch große Überdeckung		
II	$h_{\bar{0}} < 1,50$ m oder $h_{\bar{0}} < 0,50$ m + d_a	1	$v_{eff,z} < \approx 1,3 \cdot v_{Richt}$ nur punktuelle Schäden, aber geringe Überdeckung	niedrig	Überprüfung der Gleislage, ggf. Schwellenbesohlung bzw. Verbesserung des Hinterfüllbereiches zusätzliche Regelbegutachtung und ggf. Instandsetzung
	$h_{\bar{0}} \geq 1,5$ m oder $h_{\bar{0}} \geq 1,0$ m und $h_{\bar{0}} \geq 0,50$ m + d_a	2	$v_{eff,z} < \approx 1,3 \cdot v_{Richt}$ größere Schäden und mittlere Überdeckung		
	$h_{\bar{0}} \geq 4,50$ m	3	umfangreiche Schäden, aber große Überdeckung		
III	$h_{\bar{0}} < 1,50$ m oder $h_{\bar{0}} < 0,50$ m + d_a	2	$v_{eff,z} < \approx 1,7 \cdot v_{Richt}$ größere Schäden und geringe Überdeckung	niedrig	Überprüfung der Gleislage, ggf. Schwellenbesohlung, Verbesserung des Hinterfüllbereiches, Instandsetzung
	$h_{\bar{0}} \geq 1,5$ m oder $h_{\bar{0}} \geq 1,0$ m und $h_{\bar{0}} \geq 0,50$ m + d_a	3	$v_{eff,z} < \approx 1,7 \cdot v_{Richt}$ umfangreiche Schäden und mittlere Überdeckung	vorhanden	Sonderbegutachtung und ggf. Ertüchtigung
	$h_{\bar{0}} \geq 4,50$ m	4	gravierende Schäden, aber auch große Überdeckung		
IV	$h_{\bar{0}} < 1,50$ m oder $h_{\bar{0}} < 0,50$ m + d_a	3	$v_{eff,z} > 2,0 \cdot v_{Richt}$ umfangreiche Schäden und geringe Überdeckung	hoch	Sonderbegutachtung und ggf. Ertüchtigung
	$h_{\bar{0}} < 4,50$ m	4	gravierende Schäden und mittlere Überdeckung		

Tab. 3: Kategorisierung der Durchlässe zur Beurteilung der Standsicherheit für eine Erhöhung der Geschwindigkeit von $v = 160$ km/h auf $v = 200$ km/h im Streckenabschnitt Erfurt – Eisenach

ein extrem un rundes Rad hervorgerufen, führt nicht unmittelbar zu Schäden. Bei Überschreitung des Richtwertes um $> 50 - 100\%$ wächst jedoch die Schadenswahrscheinlichkeit des Durchlasses deutlich. Ein Überschreiten der Richtwerte auf das Zwei- bis Dreifache führt fast sicher zu Schäden.

Nach den Grundsatzuntersuchungen zur dynamischen Beanspruchung sind in einer Tiefe $h_{\bar{0}} \geq 1,50$ m effektive Schwinggeschwindigkeiten von $v_{eff} \leq 6$ mm/s zu erwarten. Als unkritisch werden deshalb Durchlässe eingeschätzt, die nur punktuelle Schäden am Bauwerk aufweisen (Zustandskategorie 1 entsprechend Ril 836.8001 Abs. 9 (7)) sowie eine Überdeckung (Abstand OK Durchlass bis OK Schwelle) $h_{\bar{0}} \geq 1,50$ m oder eine Überdeckung $h_{\bar{0}} \geq 1,00$ m und $h_{\bar{0}} \geq 0,50$ m + d_a (Außendurchmesser) haben (z.B. Rohre mit $d_a \leq 0,50$ m und $h_{\bar{0}} \geq 1,00$ m). Durch das geringe Verhältnis von d_a zu $h_{\bar{0}}$ kann sich über dem Durchlass ein Erdgewölbe ausbilden, worüber die Schwingungen in den Untergrund abgeleitet werden.

Weisen Durchlässe größere Schäden auf, welche die Sicherheit jedoch nicht beeinflussen, sind sie empfindlicher gegenüber Schwingungen. Diese Bauwerke können deshalb nur bei einem Richtwert für die Schwinggeschwindigkeit von $< 3,0$ mm/s als unkritisch eingeschätzt werden. Dies trifft für Durchlässe der Zustandskategorie 2 und $h_{\bar{0}} \geq 4,50$ m zu.

Niedrige Auswirkungen sind bei nur punktuellen Schäden am Bauwerk (Zustandskategorie 1),

aber geringer Überdeckung zu erwarten. Das betrifft Durchlässe mit $h_{\bar{0}} < 1,50$ m sowie Durchlässe mit $h_{\bar{0}} < 0,50$ m + d_a . In diesem Fall sollten die Gleislage überprüft und in Abhängigkeit davon ggf. der Hinterfüllbereich verbessert bzw. besohlte Schwellen im Bereich des Durchlasses entsprechend Ril 820.2010A06 [7] eingebaut werden.

Ebenfalls niedrige Auswirkungen sind für Durchlässe mit größeren Schäden (Zustandskategorie 2) und einer Überdeckung $h_{\bar{0}} \geq 1,50$ m oder $h_{\bar{0}} \geq 1,00$ m und $h_{\bar{0}} \geq 0,50$ m + d_a sowie für Durchlässe mit umfangreichen Schäden, wie z. B. Rissen im Beton oder Mauerwerk (Zustandskategorie 3) bei einer Überdeckung von $\geq 4,50$ m zu erwarten. Hier wären eine zusätzliche Regelbegutachtung und ggf. eine Instandsetzung erforderlich.

Durchlässe, die in ihrem jetzigen Zustand gravierende Schäden aufweisen, sodass sie gemäß Ril 836.8000 in die Zustandskategorie 4 eingeordnet werden müssen, sind für eine Erhöhung der Geschwindigkeit nicht geeignet, sie sollten generell begutachtet und saniert bzw. gegebenenfalls ertüchtigt werden. Ebenfalls sanierungsbedürftig sind Durchlässe mit umfangreichen Schäden, sodass sie gemäß Ril 836.8000 in die Zustandskategorie 3 eingeordnet werden müssen und eine Überdeckung von $< 1,50$ m haben. Für diese würde der Richtwert für die Schwinggeschwindigkeit von $< 3,0$ mm/s um mehr als 100% überschritten werden.

In Tab. 3 ist die Kategorisierung der Durchlässe zur Beurteilung der Standsicherheit für eine Er-

höhung der Geschwindigkeit von $v = 160$ km/h auf $v = 200$ km/h dargestellt.

Kategorisierung der Erdbauwerke

Für die Standsicherheit relevante Erdbauwerke unter dem Einfluss der Verkehrsbelastung sind Dämme sowie die Talseiten von Anschnitten. Für diese Erdbauwerke ergibt sich infolge der Erhöhung der Geschwindigkeit des Reisezuges von $v = 160$ km/h auf $v = 200$ km/h keine Erhöhung der quasistatischen Beanspruchung bei Gleisbogenradien ≥ 2100 m und ausreichender Planumsbreite. Die Erdbauwerke wären unabhängig vom Gleisbogenradius für die Geschwindigkeitserhöhung auf $v = 200$ km/h geeignet, wenn sie entsprechend Ril 836 unter Berücksichtigung des Lastmodells 71 mit $v = 160$ km/h bemessen wurden. Da der Streckenabschnitt Erfurt – Eisenach jedoch bereits seit 1847 in Betrieb ist [16], ist davon auszugehen, dass diese Bemessung nicht vorliegt.

Eine Reduzierung der Standsicherheit für Erdbauwerke infolge dynamischer Beanspruchung kann nur bei Auftreten von Resonanzeffekten und damit nur bei sehr mächtigen, oberflächennah anstehenden sehr weichen Böden mit geringer Rayleighwellengeschwindigkeit c_R auftreten, siehe auch Kapitel 4.7 in [5]. Diese sind jedoch im Streckenabschnitt Erfurt - Eisenach nicht vorhanden. Entsprechend diesen Ergebnissen aus den Grundsatzuntersuchungen ergibt sich die in Tab. 4 zusammengestellte Kategorisierung der Erdbauwerke.

Kategorie	Geometrische Besonderheiten	Außenbogen mit Gleisbogenradius	Auswirkung	erforderliche Maßnahmen
I	ausreichende Planumsbreite	≥ 2100 m	keine	keine
II	ausreichende Planumsbreite	< 2100 m	niedrig	Bewertung der Standsicherheit erforderlich
III	keine ausreichende Planumsbreite	≥ 2100 m	vorhanden	Herstellung einer ausreichenden Planumsbreite und Bewertung der Standsicherheit erforderlich
IV	keine ausreichende Planumsbreite	< 2100 m	hoch	Herstellung einer ausreichenden Planumsbreite und Nachweis der Standsicherheit erforderlich, ggf. Ertüchtigung notwendig

Tab. 4: Kategorisierung der Erdbauwerke zur Beurteilung der Standsicherheit für eine Erhöhung der Geschwindigkeit von $v = 160$ km/h auf $v = 200$ km/h im Streckenabschnitt Erfurt – Eisenach

Kategorisierung der Stützbauwerke

Für die Standsicherheit relevante Stützbauwerke unter dem Einfluss der Verkehrsbelastung sind solche, die unterhalb der einwirkenden Verkehrsbelastung angeordnet sind und sich innerhalb des Druckbereiches oder des Stützbereiches des Betriebsgleises entsprechend Bild 1 der Ril 836.2001 [1] befinden.

Um bestimmen zu können, ob sich das Stützbauwerk innerhalb des Druckbereiches oder des Stützbereiches befindet, wurde vom Fachbeauftragten für Erdbauwerke im Zuge der ohnehin vorgesehenen Regelbegutachtung die Höhe zwischen OK Stützbauwerk zur SO (HSO-SW) bestimmt. Mithilfe dieser Angabe, die üblicherweise in den Begutachtungsprotokollen nicht enthalten ist, wurde der Abstand des Stützbereiches in Ebene UK Stützbauwerk nach Abb. 4 bestimmt.

Für einen Außenbogen mit $u = 160$ mm und Schwellen B70 mit 40 cm Vorkopfschotter ergibt sich entsprechend Ril 800.0130 Anhang 2 $b_a = 3,15$ m. Verlängert man die Begrenzung des Stützbereiches von 1:1,5 bis zur SO, erhält man einen Abstand von 2,05 m (Abb. 4). Der Abstand des Stützbereiches beträgt damit $a = 1,5 \cdot (H_{SO-SW} + H_{max}) + 2,05$ m in Höhe UK Stützbauwerk. Wenn der minimale Abstand zur Gleisachse des Betriebsgleises mit $v = 200$ km/h größer als a ist, befindet sich das Stützbauwerk außerhalb des Druckbereiches. Für Stützbauwerke unter dem Einfluss der

Verkehrsbelastung ergibt sich infolge der Erhöhung der Geschwindigkeit des Reisezuges von $v = 160$ km/h auf $v = 200$ km/h bei Gleisbogenradien $r \geq 2100$ m und einem Abstand der Wandrückseite von $\geq 2,5$ m bis zur nächstgelegenen Gleisachse keine Erhöhung der quasi-statischen Beanspruchung.

Die Stützbauwerke sind unabhängig vom Gleisbogenradius für die Geschwindigkeitserhöhung auf $v = 200$ km/h geeignet, wenn sie entsprechend Ril 836 unter Berücksichtigung des Lastmodells 71 mit $v = 160$ km/h bemessen wurden. Das trifft für alle Stützbauwerke zu, für die eine statische Berechnung vorliegt oder die seit 1980 und damit nachweislich nach Einführung der DV 804 (BE) [10] unter Zugrundelegung der darin enthaltenen Lastannahmen errichtet wurden.

Zur Beurteilung, ob es infolge der Erhöhung der dynamischen Beanspruchung durch die Erhöhung der Geschwindigkeit der Reisezüge von 160 km/h auf 200 km/h für Stützbauwerke mit Gleisbogenradien $r \geq 2100$ m und einem Abstand der Wandrückseite zur Gleisachse von $\geq 2,5$ m zu einer Reduzierung der Gebrauchstauglichkeit und in deren Folge zu einer Beeinflussung der Standsicherheit kommen könnte, wird analog den Durchlässen vorgegangen. Ab einem Abstand zum Betriebsgleis $\geq 2,50$ m (entspricht dem gleichen Abstand von ca. 1,0 m zur Belastungsebene mit $b_q = 3,0$ m wie $h_{ij} \geq 1,50$ m) sind effektive Schwinggeschwindigkei-

ten von $v_{eff} \leq 6$ mm/s zu erwarten. Als unkritisch werden deshalb Stützbauwerke eingeschätzt, die nur punktuelle Schäden am Bauwerk aufweisen (Zustandskategorie 1) sowie einen Abstand zum Betriebsgleis $\geq 2,50$ m haben.

Weisen Stützbauwerke größere Schäden auf, welche die Sicherheit jedoch nicht beeinflussen, sind sie empfindlicher gegenüber Schwingungen. Diese Bauwerke können deshalb nur bei einem Richtwert für die Schwinggeschwindigkeit von $< 3,0$ mm/s als unkritisch eingeschätzt werden. Dies trifft für Stützbauwerke der Zustandskategorie 2 und mit einem Abstand zum Betriebsgleis $\geq 5,50$ m (entspricht dem gleichen Abstand von ca. 4,0 m zur Belastungsebene mit $b_q = 3,0$ m wie $h_{ij} \geq 4,50$ m) zu. Niedrige Auswirkungen sind für Stützbauwerke mit größeren Schäden (Zustandskategorie 2) und einem Abstand zum Betriebsgleis $\geq 2,50$ m sowie für Stützbauwerke mit umfangreichen Schäden, wie z.B. Rissen im Beton oder Mauerwerk (Zustandskategorie 3) bei einem Abstand zum Betriebsgleis $\geq 5,50$ m zu erwarten. Hier wäre eine zusätzliche Regelbegutachtung und ggf. eine Instandsetzung erforderlich.

Stützbauwerke, die sich innerhalb des Druck- oder Stützbereiches der Eisenbahnverkehrslast befinden und vor 1980 errichtet wurden bzw. für die keine statischen Berechnungen vorliegen sowie in ihrem jetzigen Zustand gravierende Schäden aufweisen, sodass sie gemäß Ril 836.8000 in die Zustandskategorie 4 eingeordnet werden müssen, sind für eine Erhöhung der Geschwindigkeit nicht geeignet, sie sollten generell begutachtet und gegebenenfalls ertüchtigt werden.

In Tab. 5 ist die Kategorisierung der Stützbauwerke zur Beurteilung der Standsicherheit für eine Erhöhung der Geschwindigkeit von $v = 160$ km/h auf $v = 200$ km/h dargestellt.

Ergebnis der Kategorisierung und erforderliche bautechnische Maßnahmen

Im Ergebnis der Kategorisierung der Durchlässe ergaben sich nur für zwölf der insgesamt 39 Durchlässe geringe Auswirkungen und für keinen Durchlass vorhandene bzw. hohe Auswirkungen aus der Geschwindigkeitserhöhung. Für sieben der zwölf Durchlässe mit

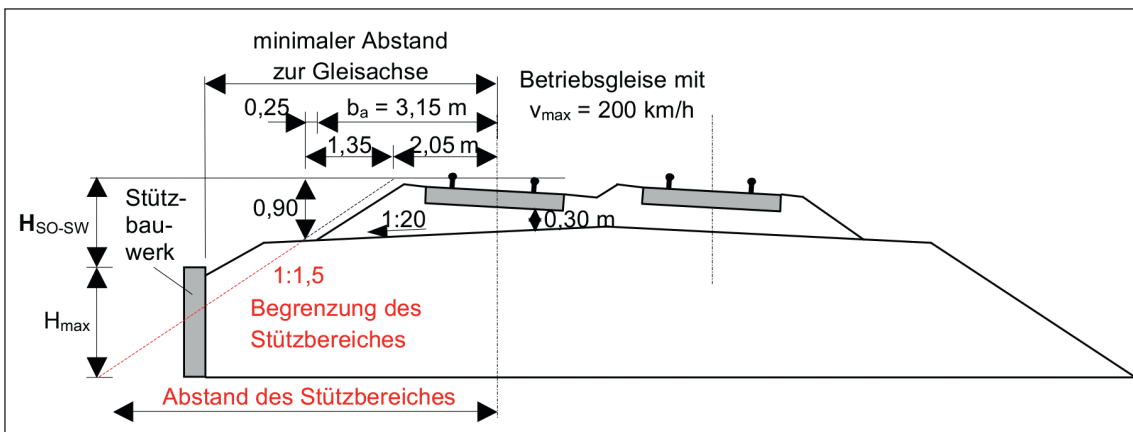


Abb. 4: Ermittlung des Abstands des Stützbereiches und Vergleich mit minimalem Abstand zur Gleisachse

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Gepro Ingenieurgesellschaft mbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2018.

Kategorie	Lage des Stützbauwerkes, Gleisbogenradius, Abstand zum Betriebsgleis	Zustandskategorie	Charakteristik	Auswirkung	erforderliche Maßnahmen
I	Lage oberhalb des Gleises oder Abstand zum Betriebsgleis > a nach Bild 4	beliebig	Bauwerk außerhalb des Einflussbereiches der Verkehrsbelastung	keine	keine
	Bauwerk seit 1980 errichtet oder statische Berechnung vorhanden	beliebig	durch Ril 836 bzw. Lastmodell UIC 71 aus DS 804, DV 804 abgedeckt		
	Bauwerk vor 1980 errichtet Gleisbogenradius $r \geq 2100$ m Abstand zum B.-gleis $\geq 2,50$ m	1	$V_{effz} \approx V_{Richt}$ nur punktuelle Schäden und mittlerer Abstand zum Betriebsgleis		
	Bauwerk vor 1980 errichtet Gleisbogenradius $r \geq 2100$ m Abstand zum B.-gleis $\geq 5,50$ m	2	$V_{effz} < \approx V_{Richt}$ größere Schäden, aber auch großer Abstand zum Betriebsgleis		
II	Bauwerk vor 1980 errichtet Gleisbogenradius $r \geq 2100$ m Abstand zum B.-gleis $\geq 2,50$ m	2	$V_{effz} < \approx 1,3 \cdot V_{Richt}$ größere Schäden und mittlerer Abstand zum Betriebsgleis	niedrig	zusätzliche Regelbegutachtung und ggf. Instandsetzung
	Bauwerk vor 1980 errichtet Gleisbogenradius $r \geq 2100$ m Abstand zum B.-gleis $\geq 5,50$ m	3	umfangreiche Schäden, aber großer Abstand zum Betriebsgleis		
III	Bauwerk vor 1980 errichtet Gleisbogenradius $r \geq 2100$ m Abstand zum B.-gleis $\geq 2,50$ m	3	$V_{effz} < \approx 1,7 \cdot V_{Richt}$ umfangreiche Schäden und mittlerer Abstand zum Betriebsgleis	vorhanden	sofortige Sonderbegutachtung und ggf. Ertüchtigung
	Bauwerk vor 1980 errichtet Gleisbogenradius $r \geq 2100$ m Abstand zum B.-gleis $\geq 5,50$ m	4	gravierende Schäden, aber großer Abstand zum Betriebsgleis		
IV	Bauwerk vor 1980 errichtet Gleisbogenradius $r \geq 2100$ m Abstand zum B.-gleis $< 5,50$ m	beliebig	gravierende Schäden und mittlerer Abstand zum Betriebsgleis	hoch	sofortige Sonderbegutachtung und ggf. Ertüchtigung
	Bauwerk vor 1980 errichtet Gleisbogenradius $r < 2100$ m Abstand zum B.-gleis $\geq 2,50$ m		quasistatische Erhöhung der Beanspruchung		
	Bauwerk vor 1980 errichtet Abstand zum B.-gleis $< 2,50$ m				Nachweis der Standsicherheit erforderlich, ggf. Ertüchtigung notwendig

Tab. 5: Kategorisierung der Stützbauwerke zur Beurteilung der Standsicherheit für eine Erhöhung der Geschwindigkeit von $v = 160$ km/h auf $v = 200$ km/h im Streckenabschnitt Erfurt – Eisenach.

niedrigen Auswirkungen wurden aufgrund der besonders geringen Überdeckung ($h_U \leq 1,50$ m) sowie bei bereits vorhandenen Auffälligkeiten in der Gleislage bzw. erkennbar starkem Schotterabrieb der Einbau von Schwellen mit elastischer Sohle mit $C_{stat} = 0,25 \pm 0,03$ N/mm³ einschließlich je 25 Schwellen vor und hinter dem Durchlass (analog dem Ausrüstungsstandard nach Ril 820.2010 [7]) im Bereich von Kunstbauwerken) empfohlen und realisiert. Lediglich für einen Durchlass mit niedrigen Auswirkungen war eine Instandsetzung des Durchlasses selbst notwendig. Im Ergebnis der Kategorisierung der Erdbauwerke ergaben sich für 15% der Dämme und 4% der Einschnitte Auswirkungen aus der Geschwindigkeitserhöhung aufgrund nicht ausreichender Planumsbreite bzw. bei Dämmen im Außenbogen mit Gleisbogenradien

$r < 2100$ m. Für diese Erdbauwerke waren entsprechende Nacherkundungen einschließlich der Ermittlung der bodenmechanischen Kennwerte und Standsicherheitsberechnungen notwendig. Im Ergebnis dieser Berechnungen waren für lediglich zwei Dämme standsicherheitserhöhende Maßnahmen erforderlich. Im Ergebnis der Kategorisierung der Stützbauwerke ergaben sich für alle acht Stützbauwerke keine Auswirkungen aus der Geschwindigkeitserhöhung, da die Stützbauwerke sich entweder außerhalb des Einflussbereiches der Verkehrslast befinden oder nach Ril 836 unter Zugrundelegung der Lastannahmen nach DS 804 [9] bzw. DV 804 (BE) [10] abgedeckt sind oder die künftige Belastung im Hauptgleis mit 200 km/h nicht größer als die bisherige Belastung im Überholgleis mit deutlich geringerem Gleisabstand zum Stützbauwerk ist. ■

QUELLEN

[1] - [7] siehe Fachartikel, Teil 1
 [8] DB Netz AG, I.NVT 42: Eisenbahnstrecken mit Schotteroberbau auf Weichschichten, Planungshilfe; Rechnerisches Verfahren zur Untersuchung der dynamischen Stabilität des Eisenbahnfahrwegs bei Zugüberfahrt, 3. Ausgabe, März 2018
 [9] Deutsche Bundesbahn: DS 804, Vorschrift für Eisenbahnbrücken und sonstige Ingenieurbauwerke (VEI), Bekanntgabe 1, Deutsche Bahn AG, Januar 1983
 [10] Deutsche Reichsbahn: DV 804 (BE); Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken, Drucksachenverlag der Deutschen Reichsbahn, gültig ab 03/1980
 [11] Eisenbahn-Bundesamt: Eisenbahnspezifische Liste Technischer Baubestimmungen, Fassung: 04/2015, Referat 21, Bonn, gültig ab: 02.04.2015
 [12] DIN 4150-3 (1999-02): Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Deutsches Institut für Normung
 [13] DIN 4150-3 (2016-12): Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Deutsches Institut für Normung
 [14] „SN 640 312 a; Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke“, Schweizerische Normenvereinigung SNV, Zürich 1992
 [15] Studer, J. A.; Koller, M. G.: Bodendynamik; Grundlagen, Kennziffern, Probleme, Springer-Verlag, 2. Auflage 1997
 [16] http://de.wikipedia.org/wiki/Bahnstrecke_Halle-Bebra, letztes Änderungsdatum 04.04.2015
 [17] Weisemann, U.; Wegener, D.: Beurteilung der Standsicherheit von bestehenden Erdbauwerken, Beispiel ABS Hamburg – Berlin, EI 2/2005, S. 52–57



Dr.-Ing. Dirk Wegener
 Gepro Ingenieurgesellschaft mbH,
 Dresden
 dirk.wegener@gepro-dresden.de



Dipl.-Geol. Ralph Fischer
 FuE und Regelwerk
 Tunnel- und Erdbau
 DB Netz AG, Frankfurt/M.
 ralph.fischer@deutschebahn.com



Dipl.-Ing. Eberhard Liebermann
 Großprojekt VDE 8,
 Erfurt – Eisenach, Ausbau 200 km/h
 DB Netz AG, Erfurt
 eberhard.liebermann@deutschebahn.com