

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Haberkamp, Hermann

Radargerechte Trassierung und Gestaltung von Brücken über Bundeswasserstraßen

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105490>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

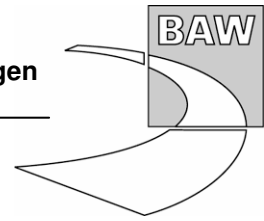
Haberkamp, Hermann (2007): Radargerechte Trassierung und Gestaltung von Brücken über Bundeswasserstraßen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Brückenbau in der WSV - Besonderheiten, Herausforderungen und Lösungen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 63-73.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





Dipl.-Ing. H. Haberkamp, Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken

Radargerechte Trassierung und Gestaltung von Brücken über Bundeswasserstraßen

Kurzfassung

Bauwerke über Wasserstraßen können erhebliche Störungen im Radarbild eines auf den Kreuzungsort zufahrenden Schiffes verursachen und beeinträchtigen daher in unterschiedlichem Maße die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs. Im Vortrag werden Ursachen und Mechanismen für die Entstehung der Radarbildstörungen aufgezeigt, radartechnisch günstige Trassierungs- und Konstruktionskriterien für Brücken vorgestellt und Abhilfemaßnahmen erläutert, um Radarbildstörungen an bestehenden Brücken zu vermindern.

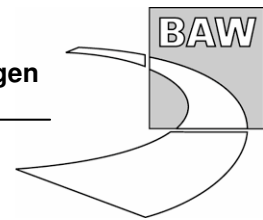
1. Die Bedeutung von Radar in der Binnenschifffahrt

Die ersten Versuche mit Radaranlagen auf Binnenschiffen wurden in den 50-er Jahren des letzten Jahrhunderts durchgeführt, auch mit unterschiedlichen Betriebsfrequenzen und Antennengrößen.



Bild 1: Fracht- und Passagierschiffe bei guter Sicht mit Radar auf dem Rhein zu Berg

Mittlerweile sind die Leistungsanforderungen an Navigationsradaranlagen international standardisiert (EN 302 194-1 und -2) und nahezu alle Binnenschiffe mit mindestens einer Radaranlage ausgerüstet. Dies verwundert nicht, denn ohne Radar wäre die Fahrt rund um die Uhr, insbesondere bei unsichtigem Wetter, nicht möglich. Aber auch zur Unterstützung der Navigation bei guter Sicht bietet die Mitbenutzung von Radar viele Vorteile.



2 Wirkungsweise, Eigenschaften und Leistungsgrenzen von Schiffsradaranlagen

2.1 Name und Prinzip

Die Abkürzung **RADAR** steht für **RA**dio **D**etecting **A**nd **R**anging, also das Aufspüren von Objekten und ihre relative Lokalisierung nach Entfernung und Richtung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen.

Über eine Richtantenne mit scharfer azimuthaler Bündelung ($\leq 1,2^\circ$) wird ein kurzes Schwingungspaket (Sendeimpuls, Dauer ca. 50 ns) in die momentane Strahlungsrichtung der Antenne ausgesendet und breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit geradlinig aus. Trifft der Sendepuls auf ein Objekt auf, so werden Sendepulsanteile in unterschiedliche Richtungen reflektiert, abhängig vom Objekt auch zurück zur Radarantenne (Echo). Aus dem Zeitpunkt des eintreffenden Echos und aus der azimuthalen Richtung der Aussendung erhält das Sichtgerät die zweidimensionale Information zur Positionierung des Ziels im Radarbild.

2.2 Systematische Stärken und Schwächen von Radar

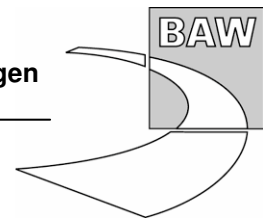
Radar liefert unabhängig von der visuellen Sichtweite ein zweidimensionales landkartenähnliches Radarbild der Umgebung, wobei die aus der Wasseroberfläche und an Land aus der Geländeoberfläche herausragenden Objekte eine Radarechozeichnung verursachen.

Die Zieldarstellung eines Objektes erfährt im Radarbild gegenüber den wirklichen Objektdimensionen eine azimuthale Verbreiterung in der Größenordnung der Antennenkeulenbreite, und die radiale Zielausdehnung kann je nach Objekteigenschaften kürzer oder länger als die wirkliche Ausdehnung des Objektes sein. Da alle mit Radar erfassten Echoinformationen nur aus den beiden Dimensionen Richtung und Entfernung bestehen, kann die Höhe von Gegenständen, z.B. von Brückendurchfahrten, weder erfasst noch dargestellt werden. Darüber hinaus kann Radar keine Farben erkennen, keine Schriften lesen und keine Objektdetails erkennen.

3 Die drei Voraussetzungen für eine leichte und sichere Navigation mit Radar auf Binnenschiffahrtsstraßen

3.1 Radargerechte Ausrüstung der Wasserstraße

Die Wasserstraße bietet von Natur aus wichtige Merkmale, aus denen der erfahrene Schiffsführer seinen richtigen Weg erkennen kann, zum Beispiel Ufer, Buhnen, Inseln oder Felsen im Wasser. Innerhalb des Fahrwassers zwischen den Ufern liegt die mit Tonnen markierte Fahrrinne.



Für die mit Radar navigierende Schifffahrt sind die Toppzeichen der Tonnen als Radarreflektoren gestaltet, damit diese wichtigen Orientierungspunkte auch im Radarbild erkennbar sind.

Falls Brücken Strompfeiler besitzen, die nicht genügend weit aus der Brückenaußenkante herausragen, ist ihre Kennzeichnung mit Radarreflektoren erforderlich und schließlich, wie weiter unten noch ausführlich beschrieben, müssen Radarbildstörungen an Brücken auf ein vertretbares Maß reduziert werden.

In besonderen Fällen werden sogar Freileitungskreuzungen mit Radarreflektoren ausgerüstet.



Bild 2: Tonnen mit Radarreflektoren

3.2 Verwendung geeigneter Radargeräte

Durch Typprüfung und Zulassung von Flussradaranlagen wird sichergestellt, dass nur Geräte eingebaut und benutzt werden, welche die bestehenden Mindestanforderungen erfüllen. Damit auch die Installation fachgerecht erfolgt, werden Radaranlagen von anerkannten Fachfirmen eingebaut und funktionsgeprüft.

3.3 Fachgerechter Umgang mit Radaranlagen

Für die schwierige und verantwortungsvolle Navigation mit Radar ist es erforderlich, dass der Schiffsführer das Radargerät optimal einstellen und das Radarbild richtig interpretieren kann. Das zum Steuern eines Schiffes mit Radar erforderliche Radarpatent wird nach erfolgreicher Prüfung der vorgenannten Kenntnisse ausgestellt.

4. Darstellung einer Brücke im Schiffsradarbild

4.1 Vergleich des Radarechos mit der Projektion der wirklichen Brücke

Während die Radaranlage die ihr zugewandte Vorderkante der Brücke im Radarbild immer entfernungsrichtig darstellt, ist sie in den meisten Fällen zur maßstäblichen Darstellung der Brückenbreite oder der Brückenhinterkante nicht in der Lage.

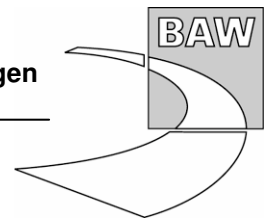


Bild 3: Schleusenkanal Dütthe mit schmaler Brücke



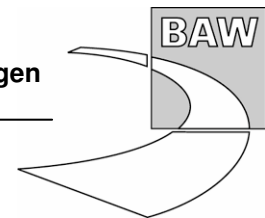
Bild 4: Radarbild der Situation von Bild 3

Der von der Vorderkante einer Brücke reflektierte Sendeimpuls, das Echo, besitzt mindestens die gleiche Zeitdauer wie der Sendeimpuls selbst. Im Radarsichtgerät verursacht dieses Echo eine Zielzeichnung mit einer radialen Ausdehnung von knapp 15 m.

Selbst wenn der restliche Teil der Brücke keine Reflexionen verursachen würde, wie es bei einer Betonbrücke der Fall sein kann, oder die Brücke deutlich schmaler als 15 m wäre, würde im Radarbild allein auf Grund der Reflexionen von der Brückenvorderkante ein Balken mit etwa 15 m Breite (radiale Ausdehnung) dargestellt.

In Bild 4 ist das Radarecho einer schmalen Gitterfachwerkbrücke erkennbar, deren hintere Fachwerkebene auch noch reflektiert. Die radiale Echoausdehnung von etwa 20 m ergibt sich aus der Addition der vorgenannten 15 m mit der wirklichen Brückenbreite.

Ganz anders sieht das Radarecho von Stahlbrücken aus, in denen Mehrfachreflexionen auftreten.



Während die Vorderkante des Radarechos der Brücke dem wirklichen Verlauf der Brückenvorderkante entspricht, besteht das restliche Brückenecho aus einem Streufeld hinter der Brücke, das sich im Wesentlichen aus Scheinzielen zusammensetzt. Diese Scheinziele entstehen durch Mehrfachreflexionen des Sendepulses im Unterbau der Brücke und täuschen auf Grund ihrer späteren Rückkehr zum Empfänger Ziele in größerer Entfernung vor.

Bild 5 stellt das Schiffsradarbild von MB REIHER während der Bergfahrt auf dem Rhein 200 m unterhalb der Pfaffendorfer Brücke dar. Etwa 450 m oberhalb der Brücke kommt ein Talfahrer entgegen. Die radiale Ausdehnung des Brückenstreufeldes liegt zwischen etwa 100 und 200 m. Aus Sicherheitsgründen ist der nur der mittlere Brückenbogen für die Talfahrt freigegeben, während die Bergfahrt die beiden äußeren Brückendurchfahrten benutzen muss.

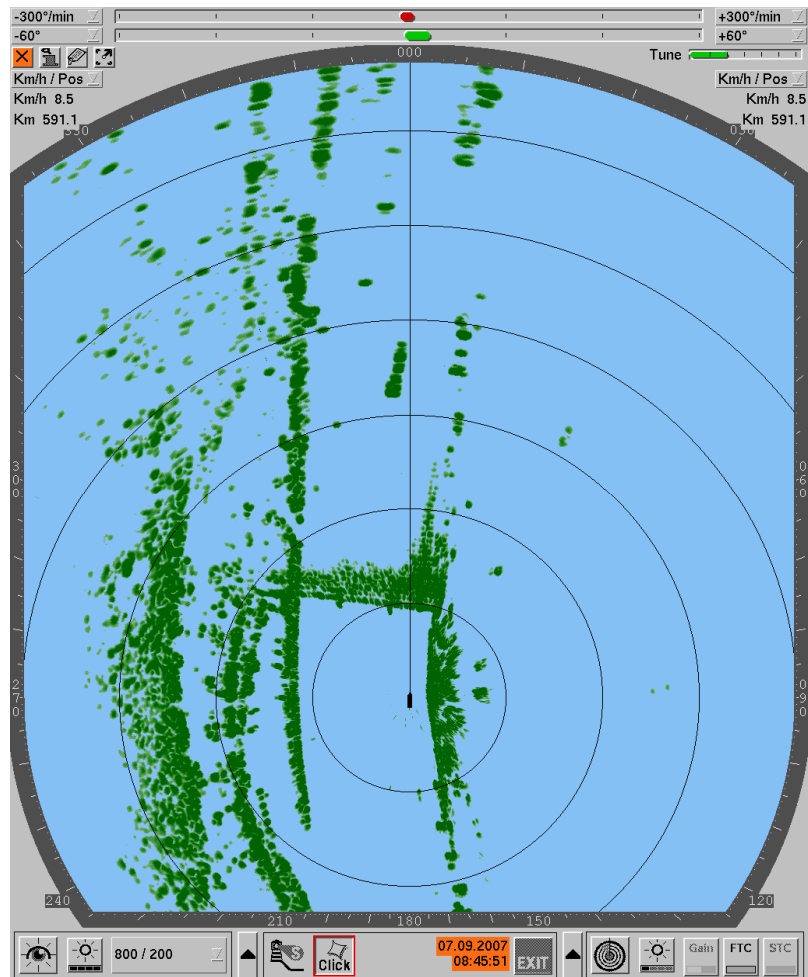
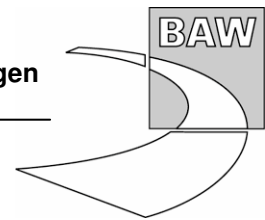


Bild 5: Stahlbrücke mit Pfeilermarkierungen und Radarstreufeld

4.2 Auswirkungen der fehlenden „Dritten Dimension“

Da eine Schiffsradaranlage nur die Lage eines Objektes nach Richtung und Entfernung, nicht aber seine Höhe ermitteln und darstellen kann, wird jede Brücke im Radarbild genau so wie eine Brücke aus Schwimmpontons als durchgehender Balken dargestellt. Die Radarechos von Brückenüberbau und Brückenpfeilern belegen im Radarbild dieselbe Fläche und sind somit nicht unterscheidbar. Daher werden die Stropfpfeiler speziell für die mit Radar navigierende Schifffahrt mit Radarreflektoren markiert.

Eine Variante der Markierung besteht darin, jeweils eine Tonne mit Radarreflektor etwa 20 bis 50 m oberhalb und unterhalb der Brücke vor den Pfeilern zu verankern. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Reflektoren an Auslegerstangen anzubringen, die an der Brücke oder an den Pfeilern befestigt sind.



Die Ausleger sind so zu dimensionieren, dass die Reflektoren einen Abstand von mindestens 12 m (bei Betonbrücken über breite Wasserstraßen 15 m) zur Brückenaußenkante besitzen, damit sie im Radarbild als deutliche „Nase“ erkennbar sind.

Langfristig ist die Markierung mit Auslegern wirtschaftlicher, weswegen die Markierung mit Tonnen eher auf temporäre Fälle, z.B. während Bauarbeiten, begrenzt ist.



Bild 6: Pfeilerkennzeichnung mit Ausleger

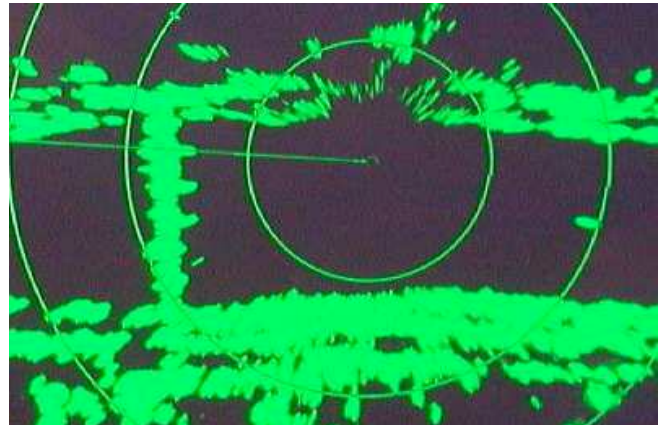


Bild 7: Pfeilerkennzeichnung im Radarbild

Radartechnisch spielt die Befestigungshöhe der Radarreflektoren über Wasser keine Rolle, entscheidend ist der zu erwartende höchste Wasserstand. Der Reflektor muss so hoch montiert werden, dass er vom Hochwasser nicht abgerissen werden kann und die Schifffahrt nicht gefährdet.

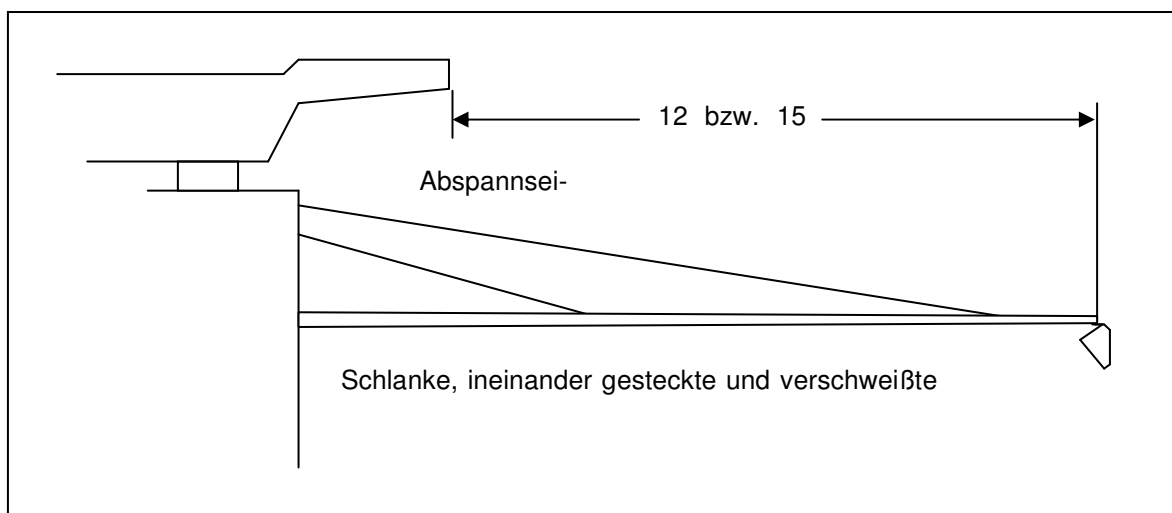
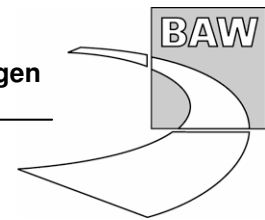


Bild 8: Befestigungsvorschlag für einen Ausleger mit „hängendem“ Radarreflektor

Die Durchfahrtshöhe durch den Brückenbogen kann die Radaranlage nicht liefern, der Schiffsführer kennt sie auf Grund seiner Orts- und Streckenkenntnisse unter Berücksichtigung des aktuellen Wasserstandes.



5. Typische Radarbildstörungen an Brücken und ihre Ursachen

5.1 Brückenstrefelfeld durch Mehrfachreflexionen im Brückenunterbau

Unter dem Begriff „Strefelfeld“ einer Brücke ist die im Radarbild eines auf die Brücke zusteuerns Schiffes auftretende helle Zone aus Scheinzielen hinter dem Echo der Brücke zu verstehen.

Dieses Strefelfeld entsteht im Allgemeinen nur an Stahlbrücken durch Mehrfachreflexionen der Radarstrahlen innerhalb der Brückenkonstruktion. Seine radiale Ausdehnung kann mehrere Hundert Meter erreichen und die Echos von anderen Schiffen verdecken.

In Bild 9 ist dargestellt, welche Wege Radarstrahlen während Mehrfachreflexionen nehmen und in welcher Entfernung sie im Radarbild Scheinziele hervorrufen. Da eine Radaranlage nur Echos darstellen kann, die zurück in die Radarantenne gelangen, ist eine Retroreflexion erforderlich, die insbesondere zwischen senkrecht getroffenen parallel verlaufenden Flächen und/oder rechtwinklig miteinander verbundenen Flächen, z.B. einer Raumecke (Corner-Reflektor) auftritt. Corner-Reflektoren haben in einem Winkelsektor von etwa 42° retroreflektierende Eigenschaften.

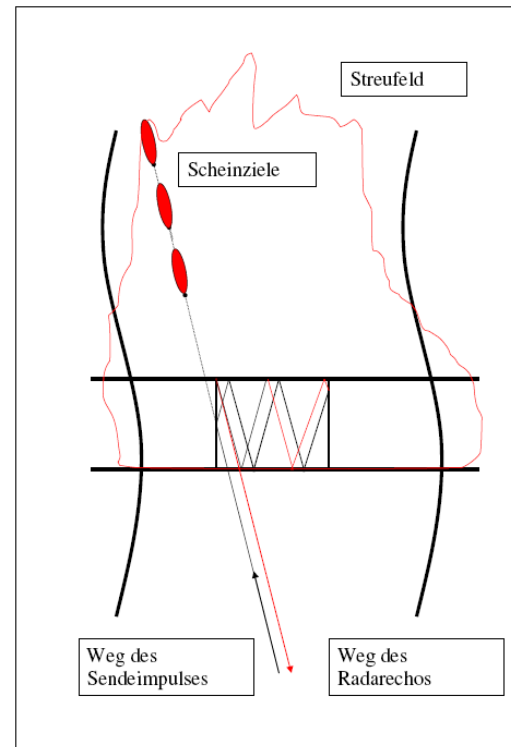


Bild 9: Entstehung eines Strefelfeldes

5.2 Geisterbrücken durch Mehrfachreflexionen zwischen benachbarten Brücken

Wie auch bei nebeneinander fahrenden Schiffen treten zwischen Brücken Mehrfachreflexionen auf, die im Radarbild zu einer oder mehreren Geisterbrücken führen. Befindet sich das Schiff zwischen den Brücken, treten die Geisterbrücken vor und hinter dem Schiff auf.

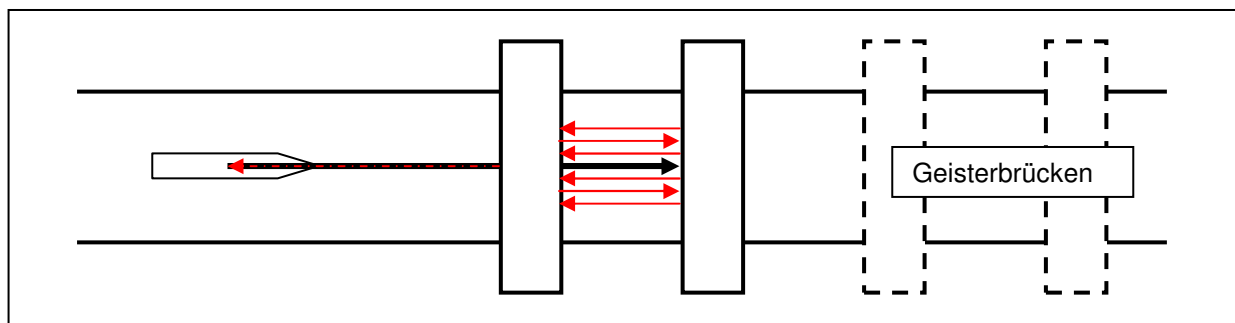


Bild 10: Entstehung von Geisterbrücken durch Mehrfachreflexion zwischen zwei Brücken

5.3 Uferspiegelungen an der Brückenaußenseite

Insbesondere an senkrecht stehenden Brückenaußenseiten erfolgt eine gerichtete Reflexion des Radarstrahls (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) in Richtung des Uferbewuchses oder der Uferbebauung. Dort erfolgt meist eine diffuse Reflexion, welche auch retroreflektierende Anteile enthält. Im Radarbild wird das betroffene Ufer hinter der Brücke nochmals dargestellt.

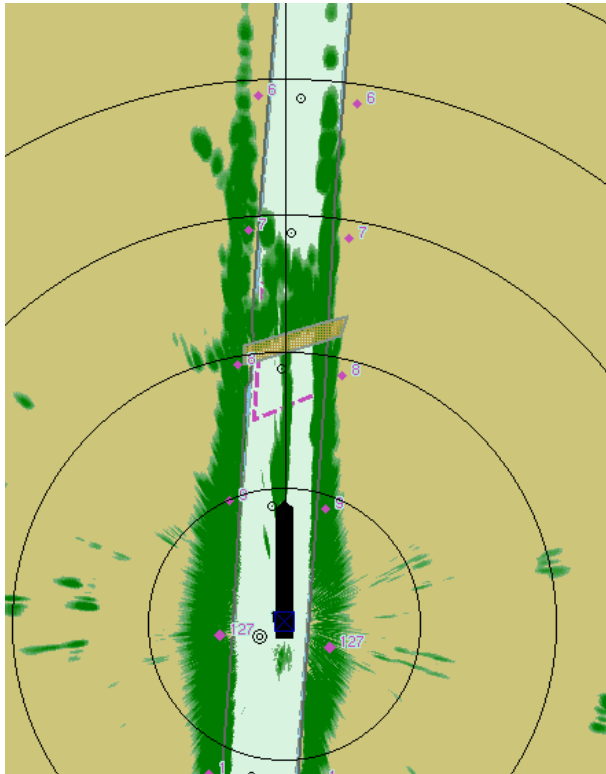


Bild 11: Uferspiegelung hinter einer Brücke

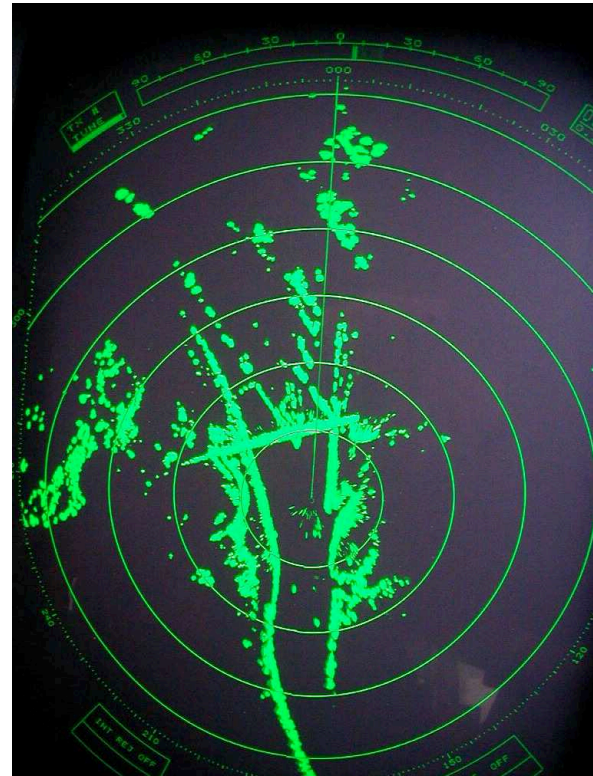


Bild 12: Gespiegeltes Ufer neben einem Talfahrer

Dieser Effekt wird nur erkennbar an Brücken mit spitzwinkligen Kreuzungen.

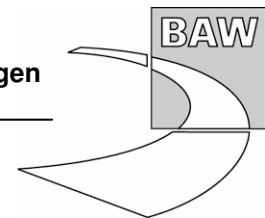
6. Geeignete Trassierung benachbarter Brücken

6.1 Trassierung beider Brücken ohne Lücke

Wenn mehrere Brücken nebeneinander eine Wasserstraße kreuzen, so ist das lückenlose Anschmiegen beider Brücken aus radartechnischer Sicht die beste Lösung, weil zwischen den Brücken kein Hohlraum verbleibt, in dem Mehrfachreflexionen auftreten können.

6.2 Trassierung mit genügendem Abstand

Aus radartechnischer Sicht wären jene in geringem Abstand (wenige Meter bis einige zig Meter) parallel geführten Brücken mit senkrechten Längsträgern die problematischsten, weil die Radarenergie in den kurzen Distanzen für viele Mehrfachreflexionen ausreicht und daher ein Streufeld von mehreren Hundert Metern zu befürchten wäre. Derartige Kreuzungsanlagen können mit Rücksicht auf ihr Gefährdungspotential für die Radarschiffahrt nicht genehmigt werden.



Zur sicheren Erkennbarkeit von Schiffen im Radarbild wird daher ein Mindestabstand von 150 m zwischen benachbarten Brücken gefordert.

Es kommt schon mal vor, dass vorhandene Brücken weder unmittelbar nebeneinander noch im geforderten Abstand voneinander verlaufen oder auf Grund erheblicher Sachzwänge neue Brücken nicht dementsprechend trassiert werden können. In diesen Fällen kann bzw. müssen durch geeignete radartechnische Maßnahmen die Mehrfachreflexionen auf ein unbedeutendes Ausmaß verringert werden.

7. Konstruktive Maßnahmen an Brücken zur Vermeidung von Radarbildstörungen

7.1 Verhinderung großer parallel verlaufender Flächen

Die typische Stabbogenbrücke mit senkrecht und parallel zueinander verlaufenden Längsträgern ist aus radartechnischer Sicht das Negativbeispiel schlechthin. Von schmalen Fuß- und Radwegbrücken abgesehen, sind an allen größeren Brücken dieser Bauart Maßnahmen zur Verminderung von Mehrfachreflexionen erforderlich. Darüber hinaus sind bei schräg kreuzenden Brücken auch noch Uferspiegelungen zu erwarten.

7.2 Verwendung schräg stehender Konstruktionselemente

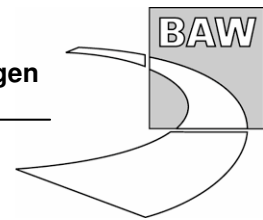
Immer dann, wenn Längsträger oder gar der komplette Unterbau als Hohlkörper ausgeführt werden sollen, genügt ein trapezförmiger Querschnitt mit einer Wangenneigung von mindestens 5° voll den radartechnischen Anforderungen.



Bild 13: B 402 DEK-Brücke bei km 170



Bild 14: Radarbild der Situation von Bild 13



Ganz hervorragend sowohl hinsichtlich des nahezu nicht vorhandenen Streufeldes als auch der kaum feststellbaren Uferspiegelungen sowie kaum merklichen Mehrfachreflexionen mit einer benachbarten Brücke verhalten sich Stabbogenbrücken, deren Stabbogenebenen einschließlich der Längsträgerstege oben nach innen geneigt sind (mindestens 5 °).

7.3 Vermeidung von Hohlräumen

Besitzt eine Brücke einen geschlossenen Unterbau, so können dort keine Radarstrahlen eindringen und auch keine Mehrfachreflexionen entstehen. Hingegen sind Uferspiegelungen oder Mehrfachreflexionen mit parallel verlaufenden Bauwerken möglich.

8. Radartechnische Maßnahmen zur Verminderung von Mehrfachreflexionen

8.1 Schließen von Hohlräumen

Zum Schließen von Hohlräumen im Brückenunterbau bieten sich z.B. begehbare Gitterroste oder Lochbleche an, die bei entsprechender Dimensionierung Mehrfachreflexionen verhindern. In diesen Fällen kann oft auf einen Besichtigungswagen verzichtet werden.

8.2 Einbau schräg gestellter Bleche

Insbesondere an bestehenden Brücken mit senkrechten Flächen zwischen den Längsträgern verhindert der Einbau schräg gestellter Bleche vor die Längsträgerinnenseiten das Auftreten nennenswerter Mehrfachreflexionen.

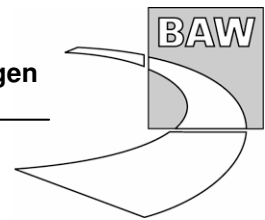
8.3 Beschichtung mit Radarabsorbermatten

Es besteht auch die Möglichkeit, jene Flächen, an denen Mehrfachreflexionen entstehen können, mit geeigneten Radarabsorbermatten zu beschichten. Von diesen Radarabsorbieren werden neben einem Absorptionsvermögen von mindestens 95 % (13 dB Reflexionsdämpfung) auch eine lange Haltbarkeit und ausgezeichnete Korrosionsschutzeigenschaften verlangt.

9. Optimale Einbindung der radartechnischen Anforderungen in den Entwurfsprozess

9.1 Der Brückenerlass des BMVBS

„Sowohl ein Brückenneubau als auch bauliche Veränderungen an bestehenden Brücken sind nach § 31 WaStrG bei den zuständigen Wasser- und Schifffahrtsämtern anzuzeigen. Dort wird geprüft, ob für die geplante Maßnahme eine strom- und schifffahrtspolizeiliche Genehmigung (SSG) erforderlich ist. Vor Erteilung dieser SSG sowie zur Bemessung von Radarschutzmaßnahmen an bestehenden Brücken ist ein radartechnisches Gutachten des Seezeichenversuchsfeldes (heute FVT) einzuholen.“



Dieses Zitat aus dem Erlass des BMV-BW 25/BW 21/52.24.14-2/16 S 94 vom 14.12.1994 macht die Bedeutung der Maßnahmen zur Sicherung der mit Radar navigierenden Schifffahrt deutlich.

9.2 Direkte Gespräche zwischen Ingenieurbüro und FVT

Wenn bereits in der frühen Vorüberlegungsphase von Brückenbauwerken oder Trassenführungen die grundsätzlichen radartechnischen Belange berücksichtigt werden, können kostenintensive Nachrüstungen vermieden werden. Gegen direkte Kontakte zwischen dem Ingenieurbüro und der FVT bestehen von keiner Seite Einwände, insofern sollten sie auch genutzt werden.

9.3 Das radartechnische Gutachten der FVT

Ein radartechnisches Gutachten wird im Allgemeinen vom zuständigen WSA angefordert. Es bleibt aber allen Beteiligten unbenommen, nach Rücksprache mit dem zuständigen WSA sich direkt an die FVT zu wenden. Die erforderlichen Unterlagen sind im Bezugserlass genannt.

Für die FVT gibt es keine größere Freude, als nach radartechnischer Prüfung einer Brückenkonstruktion festzustellen, dass die Brücke aus radartechnischer Sicht hervorragend konstruiert ist und zum Schutz der mit Radar navigierenden Schifffahrt keine besonderen Maßnahmen erforderlich sind.