



Quelle: LBV.SH

Bericht zum Monitoringprojekt: Instandsetzungsmaßnahmen von Radwegen mit Schäden durch Baumwurzeleinwuchs

der-echte-norden.info

LBV.SH 

Schleswig-Holstein
Landesbetrieb
Straßenbau und Verkehr

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
2. Ausgangslage.....	7
2.1. Schadensbilder und Auswirkungen.....	7
2.2. Ursachen.....	8
3. Projektziele	8
4. Rahmenbedingungen des Projekts	8
5. Projektablauf.....	9
5.1. Auswahl der Pilotstrecken.....	9
5.2. Begehung der Pilotstrecken.....	9
5.3. Technische Bewertung der Maßnahmen.....	9
5.4. Bewertungskriterien von Interessenverbänden.....	10
5.5. Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation.....	10
5.6. Literaturarbeit.....	10
5.7. Arbeit der „AG Wurzelaufrüche“	10
5.8. Erhebung von Kosteninformationen.....	11
6. Vorgehensweise.....	11
6.1. Entwicklung eines Erfassungsverfahrens	11
6.2. Einbindung vorhandener Unterlagen	12
6.3. Bautechnische Recherche.....	12
6.4. Befragung von Radfahrenden.....	12
6.5. Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte	13
7. Grundlagen	14
7.1. Baum- und Wurzelwachstum.....	14
7.1.1. Wurzelsysteme.....	14
7.1.2. Wachstumsprozess.....	15
7.2. Radverkehrsanlagen	16
7.2.1. Aufbau einer Radverkehrsanlage gemäß RStO (12/24)	17
7.2.2. Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA2010)	18

8. Erhaltung (Wartung, Instandhaltung, Instandsetzung und Erneuerung).....	18
8.1. Betriebliche Unterhaltung (Wartung).....	18
8.2. Bauliche Unterhaltung (Instandhaltung).....	19
8.3. Instandsetzung	19
8.4. Erneuerung	19
9. Präventivmaßnahmen bei Neubauten	20
9.1. Gestaltung eines geeigneten Wurzelraums	20
9.2. Ergänzende Maßnahmen zur Baumstandortsanierung	20
10. Baumpflegische Begleitung.....	21
11. Oberflächenentwässerung von Radverkehrsanlagen	21
12. Instandsetzungsbauweisen	22
12.1. Asphaltbauweise	22
12.2. Dränasphalt.....	24
12.3. Betonbauweise	24
12.4. Pflasterbauweise	26
12.5. Wassergebundene Bauweise.....	28
13. Bewertung der Bauweisen aus der Sicht betroffener Akteure	29
13.1. Bewertung der Bauweisen hinsichtlich des Naturschutzes	30
13.1.1. Temperaturanstieg bei Sonneneinstrahlung.....	30
13.1.2. Barrierewirkung für bodengebundene Tierarten	33
13.1.3. Versickerung des Niederschlagswassers durch den Oberbau.....	34
13.2. Bewertung der Bauweisen hinsichtlich der Akzeptanz durch die Radfahrenden.....	35
13.2.1. Verkehrssicherheit.....	37
13.2.2. Fahrkomfort	39
13.3. Bewertung der Bauweisen durch die Straßenbaulastträger.....	40
13.3.1. Wirtschaftlichkeit.....	41
13.3.2. Anforderungen an den Einbau	42
13.3.3. Unterhaltungsaufwand	43

14. Instandsetzungsmaßnahmen	44
14.1. Alternative Tragschichten.....	45
14.1.1. Hydraulisch gebundene Tragschicht (In-situ).....	46
14.1.2. Alternative Radwegebauweise mit luftführender Tragschicht.....	48
14.2. Vegetationstechnische Maßnahmen /Bautechnischer Wurzelschutz.....	51
14.2.1. Wirkung und Anwendungsbereiche	52
14.2.2. Wurzelbrücken	52
14.2.2.1. Wurzelbrücken, Beton.....	52
14.2.2.2. Wurzelbrücken, Metall.....	54
14.2.2.3. Kunststoffplanken aus Brückenbau	55
14.2.2.4. Bodengitter mit Pflastersteinen	57
14.2.2.5. Geozellen	59
14.2.3. Wurzelvlies, Wurzelfolie, Wurzelschutzfräse	61
14.2.4. Belüftungsmaßnahmen/Wurzelraumerweiterungen.....	63
14.2.4.1. Wurzelumbettung.....	63
14.2.4.2. Flächenbelüftung	64
14.2.4.3. Grabenbelüftung.....	64
14.2.4.4. Tiefenbelüftung	65
14.2.4.5. Pneumatische Sanierung.....	66
15. Pilotstrecken.....	68
15.1. Radweg an der L 92	68
15.2. Radweg an der L 100	71
15.3. Radweg an der L 119.....	74
15.4. Radweg an der L 125	76
15.5. Radweg an der L 212	79
15.6. Radweg an der L 259	82
15.7. Radweg an der L 308.....	84
15.8. Radweg an der L 309	87
16. Erkenntnisse	89
17. Empfehlungen	90
18. Literaturverzeichnis.....	92
18.1. Internetquellen.....	95
18.2. Richtlinien, Gesetze, Merkblätter	96

1. Einleitung

Die 2020 verabschiedete Radstrategie Schleswig-Holstein 2030 zielt darauf ab, den Radverkehr sicherer, attraktiver und nachhaltiger zu gestalten. Wichtige Ziele sind die Erhöhung des Radverkehrsanteils, die Verbesserung der Verkehrssicherheit (Vision Zero) und die Positionierung als eine der führenden Radreiseregionen Deutschlands. Dies soll durch den Ausbau der Infrastruktur, attraktive Angebote und stärkere Öffentlichkeitsarbeit erreicht werden. Ein zentraler Punkt ist der Ausbau des Landesweiten Radverkehrsnetzes (LRVN)¹, dessen Lücken kontinuierlich geschlossen werden. 2025 waren bereits 74 % der Bundesstraßen, 64 % der Landesstraßen und 44 % der Kreisstraßen mit Radwegen ausgestattet.²

Der umfassende Bestand an Radverkehrsanlagen erfordert zudem eine regelmäßige Instandhaltung und Sanierung, um deren Funktionalität und Sicherheit langfristig zu gewährleisten. Eine Vielzahl der Radverkehrsanlagen entspricht nicht mehr den heutigen Qualitätsstandards und Anforderungen der aktuellen Regelwerke.

Im Flächenland Schleswig-Holstein prägen alte Baumbestände und charakteristische Knicks das Landschaftsbild. Infolgedessen treten bei Radwegen insbesondere Wurzeleinwüchse als häufiges Schadensbild auf. Sie beeinträchtigen den Fahrkomfort sowie die Verkehrssicherheit der Radfahrenden teilweise erheblich. Die Wurzeln heben den Oberflächenbelag der Radverkehrsanlage an und führen zu Rissbildungen und Unebenheiten, die den Fortschritt von Schäden in Radwegen weiter beschleunigen. Die derzeit geltenden Bauweisen gemäß der „Richtlinien für den standardisierten Oberbau von Verkehrsflächen“ (RStO 12/24)³ bieten bislang keine zufriedenstellenden Lösungen für das Problem von Wurzeleinwüchsen in Radwegen.

Vor diesem Hintergrund initiierte das Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein (MWVATT) 2021 die Gründung der Arbeitsgemeinschaft (im Folgenden: AG Wurzelaufbrüche). Ziel ist es, unter Berücksichtigung von Umweltbelangen und Radverkehrsinteressen nachhaltige Sanierungskonzepte für den Einwuchs von Wurzeln in Radwegen zu entwickeln. In dieser AG engagieren sich Vertreterinnen und Vertreter aus verschiedenen Fachressorts und Interessengruppen, darunter das Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur (MEKUN), der Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr (LBV.SH) sowie Akteure aus Mobilitäts-, Umwelt- und Verkehrsverbänden wie der Allgemeine Deutsche Automobil-Club Schleswig-Holstein e. V. (ADAC), Allgemeiner Deutscher Fahrradclub Schleswig-Holstein e. V. (ADFC SH), Verkehrsclub Deutschland Nord e. V. (VCD Nord), Kommunale Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Fuß- und Radverkehrs in Schleswig-Holstein (RAD.SH), Bund für Umwelt und Naturschutz Schleswig-Holstein e. V. (BUND SH), Naturschutzverbund Deutschland Schleswig-Holstein e. V. (NABU SH), Landesnaturschutzverbund Schleswig-Holstein e. V. (LNV SH) und die Landesarbeitsgemeinschaft Mobilität und Verkehr Bündnis 90/Die Grünen (LAG MoVe).

Im Rahmen einer 2022 innerhalb der AG gemeinsam getroffenen „Vereinbarung zum Umgang mit Wurzelaufbrüchen in Radwegen“⁴ wurde bewusst auf pauschale Lösungen verzichtet. Stattdessen wurde ein differenzierter Maßnahmenkatalog erarbeitet, der die örtlichen Gegebenheiten, rechtlichen Rahmenbedingungen sowie finanziellen Möglichkeiten berücksichtigt. Diese Vereinbarung versteht sich als Hilfestellung bei der Entscheidung für oder gegen eine bestimmte Bauweise und soll dazu dienen, die Qualität und Sicherheit der Radinfrastruktur langfristig zu sichern.

Auf Basis dieser Vereinbarung wurde der LBV.SH beauftragt, verschiedene Pilotprojekte zu realisieren, mit dem

1 https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/R/radverkehr/lrvn_LandesweitesRadverkehrsnetzSH.html. (Stand: 17.06.2025).

2 Radwegestatistik 2025 des LBV.SH vor (Stand 01.01.2025).

3 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12/24). Köln: FGSV, 2024.

4 https://rad.sh/wp-content/uploads/2022/05/20220510_Vereinbarung-Wurzelaufbrueche.pdf. (Stand: 17.06.2025).

Ziel, neue Sanierungsverfahren für Wurzelaufbruchsschäden unter realen Bedingungen zu erproben. Für Maßnahmen, zu denen bislang wenige praktische Erfahrungen vorlagen, sind über einen Zeitraum von zwei Jahren Erkenntnisse gesammelt und evaluiert worden. Für die ausführliche Darstellung dieser Ergebnisse sowie einer Zusammenfassung in Form einer Handlungsempfehlung und eines Abschlussberichts für die Sanierung von Radwegen mit Schäden durch Wurzeleinwuchs hat der LBV.SH den ADFC Schleswig-Holstein beauftragt, bei der Erstellung, Vorbereitung und Auswertung erster Ergebnisse des über die Projektzeit hinaus weiterzuführenden, Monitoringverfahrens zu unterstützen. Die Durchführung des Monitorings, die erzielten Ergebnisse sowie die gewonnenen Erfahrungswerte sind im vorliegenden „Bericht zum Monitoringprojekt: Instandsetzungsmaßnahmen von Radwegen mit Schäden durch Baumwurzeleinwuchs“ zusammengefasst und dienen zugleich als Grundlage für das separate Dokument „Handlungsempfehlung für Sanierungsmaßnahmen an Radwegen mit Wurzeleinwuchs“.

2. Ausgangslage

Wurzelbedingte Schäden an Radwegen stellen ein ernstzunehmendes Problem für die Verkehrssicherheit und die bauliche Unterhaltung dar: Aufwölbungen und Risse in der Fahrbahnoberfläche infolge von Wurzeleinwuchs gefährden Radfahrende und führen zu erhöhtem Unterhaltungsaufwand für die zuständigen Baulastträger. Die Problematik des Wurzelaufbruchs ist eine fachlich anspruchsvolle Schnittstelle zwischen Bautechnik und Baumschutz. Der bisherige Kenntnisstand bzgl. dieser Problematik ist begrenzt und bedarf einer gezielten Weiterentwicklung sowohl in technischer Hinsicht als auch im Hinblick auf eine integrative Planung von Radwegen und Baumstandorten.

Bisher fehlt es an effektiven und wirtschaftlichen Instandsetzungsmaßnahmen für Radverkehrsanlagen mit Schäden durch Wurzeleinwuchs.

Die Instandhaltung wurzelgeschädigter Radwege ist aus folgenden Gründen nicht nur kostenintensiv, sondern auch technisch anspruchsvoll:

- Eingeschränkter Maschineneinsatz aufgrund der geringen Breite der Wege
- Hoher Personal- und Planungsaufwand durch kleinteilige Arbeiten
- Abwägung zwischen Radwegsicherung und Baumschutz, da Eingriffe in den Wurzelbereich die Vitalität oder Standfestigkeit des Baumes gefährden können
- Ohne Ergreifung weiterer z. B. vegetationstechnischer Maßnahmen keine nachhaltigen Auswirkungen

Maßnahmen zum Schutz des Radwegs dürfen daher nicht isoliert, sondern müssen im Zusammenspiel mit der langfristigen Erhaltung des Baumbestands betrachtet werden.

2.1. Schadensbilder und Auswirkungen

Typische Schäden durch Wurzeleinwuchs sind:

- Aufwölbungen und Risse in Asphaltdecken durch das Dickenwachstum von Starkwurzeln
- Kantenbildung bei Plattenbelägen
- Anhebung und Verschiebung von Randeinfassungen
- Beeinträchtigung der Entwässerung durch gestörte Gefällestrukturen oder blockierte Rinnen
- Schäden an Leitungen im Unterbau

Diese führen zu Unebenheiten, die das Unfallrisiko insbesondere für Radfahrende deutlich erhöhen. Darüber hinaus begünstigen aufgebrochene Beläge die Einlagerung von Schmutz und Vegetation, was in Verbindung mit Frost-Tau-Wechseln zu einer fortschreitenden Substanzzerstörung führt.

2.2. Ursachen

Die Ursachen für Wurzelaufbruchsschäden sind komplex und bisher nicht abschließend wissenschaftlich erklärt. Dennoch lassen sich folgende Einflussfaktoren benennen:

- Baumarten mit flach oder aggressiv wachsenden Wurzelsystemen, die eine hohe Tendenz zur Horizontalentwicklung zeigen
- Begrenzte Baumstandorte, insbesondere in urbanen Räumen, mit zu kleinen Baumscheiben oder mangelhafter Wasser- und Nährstoffversorgung
- Durchwurzelbare Belags- und Bodenschichten
- Über- oder unterwachsene Randeinfassungen und unzureichende Wurzelsperren
- Einwuchs begünstigende Porenverhältnisse

Widersprüchlich diskutiert wird in der Fachliteratur, ob verdichtete Bodenverhältnisse das Wurzelwachstum behindern oder ob gerade bestimmte poröse Strukturen als Wurzelräume genutzt werden. Studien, u. a. von Verena Stengel (2016)⁵ und Sabine Reichwein⁶ (2002) zeigen, dass eine differenzierte Betrachtung des Wurzelverhaltens in Bezug auf Boden- und Belagsaufbau notwendig ist.⁷ Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass handelsübliche ungebundene Bettungsstoffe grundsätzlich ein Einwurzeln von Wurzeln zulassen, da die Wachstumsbedingungen ausreichend sind. Keiner der untersuchten Faktoren, einschließlich Korngrößenverteilung, Kornform und bodenchemischer Baustoffeigenschaften führte zu einer signifikanten Reduzierung der Durchwurzelbarkeit oder zu einer vorbeugenden Wirkung gegen Wurzelschäden. Weder eine verzahnende Grenzzoneausbildung noch ein verringerter Gehalt an löslichem Calcium in den Bettungsstoffen zeigten eine Verbesserung. Der Einsatz hydrophober Sande wirkte sich sogar fördernd auf das Wurzelwachstum aus.

5 Stengel, Verena (2016): *Baumwurzeleinwuchs bei Geh- und Radwegen. Wirkung von Baustoffeigenschaften und Bauweisen auf die Durchwurzelbarkeit und Ansätze zur Schadenvorbeugung*. Diss. ing. Hannover.

6 Reichwein, Sabine (2002): *Baumwurzeln unter Verkehrsflächen. Untersuchungen zu Schäden an Verkehrsflächen durch Baumwurzeln und Ansätze zur Schadensbehebung und Schadensvermeidung*

7 Stengel (2016), S. 150.

3. Projektziele

Ziel des Projekts war es, wirksame und nachhaltige Maßnahmen zur Instandsetzung von Radwegen zu entwickeln, die durch Wurzeleinwuchs beschädigt wurden. Dadurch sollte die Verkehrssicherheit für Radfahrende deutlich erhöht sowie die Nutzbarkeit, Wirtschaftlichkeit und der Komfort der Radwege unter Berücksichtigung von umwelttechnischen Belangen langfristig verbessert werden. Durch gezielte bauliche Maßnahmen sollten bestehende Schäden unter Berücksichtigung des Baumbestandes wurzelschonend behoben und zukünftige Beeinträchtigungen vermieden werden. Das Projekt sollte damit einen wichtigen Beitrag zur Förderung des Radverkehrs, zur Verbesserung der Infrastrukturqualität und zur Stärkung der Attraktivität umweltfreundlicher Mobilitätsformen leisten. Des Weiteren war es das Ziel, die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungswerte aus dem Projekt baulastträgerübergreifend zur Verfügung zu stellen.

Es wurden fünf Arbeitspakete vereinbart:

- Begleitung der AG Wurzelaufbrüche
- Monitoring mit Stakeholdern (Baulastträgern, Mobilitätsverbänden, Umweltverbänden)
- Bauprozessbegleitung und Erhebung
- Evaluierungsbericht
- Bürgerbeteiligung und Kommunikation

4. Rahmenbedingungen des Projekts

Wie eingangs bereits erläutert, wurde von den Teilnehmenden der „AG Wurzelaufbrüche“ eine Vereinbarung zum Umgang mit Wurzelaufbrüchen in Radwegen unterzeichnet (siehe Kapitel 18.1). In Kapitel 4 dieser Vereinbarung wurde festgehalten, dass für alle darin genannten Sanierungsverfahren, für die noch keine praktischen Erfahrungen vorliegen, Pilotvorhaben durch den LBV.SH durchgeführt werden. Weiter heißt es: „Für vom LBV.SH benannte Radwegsaniierungsstellen wird unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten ein einvernehmliches Verfahren auf Basis eines konsensualen Vorschlags der Naturschutzverwaltung, der Naturschutzverbände und der Interessensvertreter/innen der Radfahrer/innen festgelegt. Die finanziellen Mittel zur Planung, Baudurch-

führung, Baubegleitung und Evaluation des gewählten Sanierungsverfahrens werden dem LBV.SH durch das MWVATT zur Verfügung gestellt. Das Projekt soll nach einem vorher aufgestellten Monitoringkonzept evaluiert werden. Das Monitoringkonzept werden die Partner dieser Vereinbarung im Rahmen der AG Wurzelaufbrüche aufstellen. Das Monitoring wird über einen Zeitraum von zwei Jahren nach Abschluss der Baumaßnahme, ggf. unterstützt durch eine externe Stelle erfolgen.“⁸ Für diese Unterstützung beim Monitoring und für eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse sowie eine Zusammenfassung in Form einer Handlungsempfehlung für die Sanierung von Radwegen mit Schäden durch Wurzeleinwuchs hat der LBV.SH den ADFC Schleswig-Holstein im September 2023 beauftragt.

5. Projektablauf

Im Folgenden werden die wesentlichen Elemente des Projektablaufs dargestellt. Dazu gehören die Kriterien und Vorgehensweisen bei der Auswahl der Pilotstrecken für das Monitoringprojekt, der Ablauf der Begehungen, die Einbindung der Arbeiten der AG Wurzelaufbrüche sowie die Systematik der Zusammenführung und Aufbereitung der erhobenen Informationen.

5.1. Auswahl der Pilotstrecken

Zu den potentiellen vom LBV.SH vorgeschlagenen Pilotstrecken erfolgte eine Datenrecherche durch den ADFC SH mit dem Ziel geeignete Pilotstrecken auszuwählen und festzulegen. Der ADFC SH hat für die Datenrecherche direkten Kontakt zu den verantwortlichen Fachbereichen des LBV.SH aufgenommen, die notwendigen Informationen abgefragt und die zur Verfügung gestellten Informationen zusammengetragen.

Auf der Grundlage der verfügbaren Informationen wurden vom ADFC SH, in Abstimmung mit dem LBV.SH, aus der Liste der potentiellen Pilotstrecken folgende für das Projekt geeignete Pilotstrecken ausgewählt:

- L 92
- L 100
- L 119
- L 125
- L 212
- L 259
- L 308
- L 309

Mit der Auswahl der Pilotstrecken sind folgende Sachverhalte und Rahmenbedingungen berücksichtigt:

- Schäden durch Wurzeleinwuchs durch Gehölze, Bäume und Kräuter (z. B. Ackerschachtelhalm)
- Schäden durch Wurzeleinwuchs, durch Altbaumbestände und durch Neupflanzungen
- Maßnahmen im Planungsstadium, in der Umsetzung befindliche Maßnahmen und bereits vor Jahren durchgeführte Maßnahmen
- Verschiedene Bauweisen und Deckschichten: Beton, Asphalt, wassergebundene Deckschicht

5.2. Begehung der Pilotstrecken

Die ausgewählten Pilotstrecken (siehe Kapitel 6.1) wurden jährlich begangen. Nach Ermittlung der jeweils zuständigen Ansprechpartner*innen im LBV.SH wurde mit dem Zusammentragen der Informationen über die einzelnen Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner begonnen, sofern die Bauausführung bereits abgeschlossen oder durch den ADFC SH begonnen war. Sofern verfügbar wurden die Begehungen gemeinsam mit den Ansprechpartnern (L 92, L 125, L 212) vor Ort durchgeführt.

5.3. Technische Bewertung der Maßnahmen

Die technische Bewertung der Maßnahmen wurde im Wesentlichen durch den ADFC SH vorgenommen. Vom LBV.SH wurde eine interne Arbeitsgruppe eingerichtet, die sich mit der Thematik auseinandersetzte und im Projektzeitraum zwei Mal zusammenkam.

⁸ Vereinbarung zum Umgang mit Wurzelaufbrüchen in Radwegen (2022), S. 15.

5.4. Bewertungskriterien von Interessenverbänden

Zur erneuten Einordnung und ggf. Anpassung der in der „AG Wurzelaufbrüche“ formulierten Bewertungskriterien (Kapitel 13) wurde durch den ADFC SH eine Literaturrecherche zu den Anforderungen von Interessensgruppen durchgeführt.

Zur objektiven Erhebung der Nutzersicht wurden Befragungen entlang dreier Pilotstrecken in der Baulast des LBV.SH sowie einer Strecke in der Baulast der Stadt Kiel durchgeführt. Diese Erhebungen wurden durch einen extern beauftragten Soziologen mit dem Fachgebiet Statistik begleitet.

5.5. Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation

Um die Inhalte in geeigneter Form der (fachlichen) Öffentlichkeit vorzustellen, wurden durch den ADFC SH ein Artikel mit einer Projektvorstellung zur Veröffentlichung auf der Homepage, einige Vorschläge für Social Media Beiträge sowie ein Konzept zur Umgestaltung der Homepage vorbereitet. Der bereitgestellte Artikel wurde auf der Homepage des LBV.SH veröffentlicht.

Die Vorstellung der Projektergebnisse erfolgte durch den AG selbst. Auf der Baumesse „NordBau“ und in internen Informationsveranstaltungen des AG wurden die Projektergebnisse und die resultierenden „Handlungsempfehlungen für Sanierungsmaßnahmen an Radwegen mit Wurzeleinwuchs“ vorgestellt.

Zusätzlich wurde das Projekt in der Fortbildungsreihe der Vereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieure in Schleswig-Holstein e. V. vorgestellt:

- 30.01.2024
- 28.01.2025

5.6. Literaturarbeit

Parallel zu den Begehungen führte der ADFC SH eine Recherche zu den in Literatur und Praxis bislang erprobten Maßnahmen zur Instandsetzung von Radwegen mit Wurzeleinwüchsen und den Bewertungskriterien der Akteure der „AG Wurzelaufbrüche“ durch.

Im Januar des Jahres 2025 war die Datensammlung durch den ADFC SH im Rahmen des Monitorings im Auftrag des LBV.SH abgeschlossen, zugleich wurden die Ergebnisse der Begehungen zusammengetragen, ausgewertet und begonnen, diese in ein seit September 2024 fortlaufend aktualisiertes Konzept für die „Handlungsempfehlungen für Sanierungsmaßnahmen an Radwegen mit Wurzeleinwuchs“⁹ zu integrieren.

5.7. Arbeit der „AG Wurzelaufbrüche“

Die Mitglieder der „AG Wurzelaufbrüche“ begleiteten die Auftragsumsetzung als Vertreterinnen und Vertreter der unterschiedlichen Interessengruppen und kamen in regelmäßigen Sitzungen zusammen:

1. Sitzung: 06.12.2023
2. Sitzung: 26.03.2024
3. Sitzung: 24.09.2024
4. Sitzung: 21.01.2025
(Exkursion in die Straßenmeisterei Hohenweststedt)
5. Sitzung: 29.04.2025
6. Sitzung: 07.10.2025

In den Sitzungen erhielten die Mitglieder der AG fortlaufende Informationen zum Projektfortschritt, waren in Entscheidungsprozesse eingebunden und konnten sich im Rahmen einer Exkursion praxisnah informieren. Die „Handlungsempfehlungen für Sanierungsmaßnahmen an Radwegen mit Wurzeleinwuchs“ sowie der

⁹ Landesbetrieb für Straßenbau und Verkehrs Schleswig-Holstein (2025): Handlungsempfehlung für Sanierungsmaßnahmen an Radwegen mit Wurzeleinwuchs. Kiel, https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/ministerien-behoerden/LBVSH/Presse/2025/Pressemitteilungen/250911_handlungsempfehlung (Stand: 01.10.2025).

„Bericht zum Monitoringprojekt: Instandsetzungsmaßnahmen von Radwegen“ wurden den AG-Mitgliedern in der Abschlussphase zur Rückmeldung vorgelegt, wodurch die Dokumente gemeinsam finalisiert werden konnten.

5.8. Erhebung von Kosteninformationen

Die Bedeutung der Kostenerfassung und -darstellung der Pilotstrecken und verschiedenen Bauweisen wurde wiederholt betont, um eine belastbare Wirtschaftlichkeitsbetrachtung vornehmen zu können. Anfragen von Dritten, besonders im Austausch mit Vertreterinnen und Vertreter der Kommunalen Spitzenverbände im Projektverlauf, bestätigten den Bedarf an transparenten Kostendaten für verschiedene Instandsetzungsmaßnahmen. Instandsetzungen von Radverkehrsanlagen erfolgen häufig im Zuge von übergeordneten Straßensanierungen. Daher wurden alternative Kostenermittlungen herangezogen. Nach Abfragen etwaiger Kostenangaben über Kommunalnetzwerke über die kommunale Arbeitsgemeinschaft RAD.SH sowie einer Abfrage des LBV.SH bei den Landesbehörden und Ämtern für Straßen- und Radwegebau der übrigen Bundesländer wurde daher mit vereinzelt Beispielposten und Herstellerangaben gearbeitet. Die Angaben zu den Kosten sind Näherungswerte und unterliegen den individuellen Bedingungen sowie den jeweiligen Preisentwicklungen. Grundsätzlich sollte beachtet werden, dass die höheren Kosten in der Herstellung durch reduzierte Instandhaltungskosten ausgeglichen werden können.

6. Vorgehensweise

Im Folgenden wird dargestellt, wie die relevanten Aspekte der Fachbereiche Straßenerhaltung, Radverkehr und Naturschutz im Rahmen des Projekts durch den ADFC SH bearbeitet wurden. Aufgrund der unterschiedlichen fachlichen Schwerpunkte und methodischen Ansprüche kamen jeweils angepasste Erhebungs- und Auswertungsverfahren zum Einsatz: die technisch-infrastrukturelle Ausrichtung der Straßenerhaltung, die nutzerorientierte Perspektive der Radfahrenden sowie die wissenschaftlich-ökologischen Betrachtungsweise des Naturschutzes.

Zur objektiven Bewertung des baulichen Zustands der Radwege wurden durch den ADFC SH standardisierte Streckenbegehungen durchgeführt. Die baulichen Maßnahmen wurden auf Basis der verfügbaren Planunterlagen und Ausführungsdokumentationen ausgewertet. Zur Erhebung der subjektiven Wahrnehmung der Radfahrenden kam eine Online-Befragung zum Einsatz. Die naturwissenschaftliche Perspektive wurde durch eine systematische Literaturschau ausgewertet.

6.1. Entwicklung eines Erfassungsverfahrens

Vorhandene Zustandserfassungen oder Verfahren zum Monitoring aus weiteren Infrastrukturbereichen des LBV.SH waren für dieses Projekt nicht sinnvoll nutzbar. Daraufhin entwickelte der ADFC SH zu Projektbeginn ein eigenes Verfahren für das beauftragte Monitoring der Pilotstrecken und verabschiedete in Abstimmung mit der „AG Wurzelaufbrüche“ somit eine eigene methodische Grundlage zur systematischen Erfassung und Bewertung des baulichen Zustands von Radwegen.

Zur Durchführung einer einheitlichen Bestandsaufnahme erarbeitete der ADFC SH zwei standardisierte Erhebungsbögen für die Begehung von Radverkehrsanlagen: Einen für Radverkehrsanlagen mit Asphalt- oder Betondeckschicht und einen für wassergebundene Bauweisen, da die Schäden nicht vergleichbar sind. Diese Erhebungsbögen bildeten die Grundlage für jährliche Begehungen, bei denen relevante Merkmale des baulichen Zustands sowie Auffälligkeiten strukturiert erfasst wurden. Die Formulare wurden so konzipiert, dass sie eine vergleichbare Bewertung der Pilotstrecken über verschiedene Jahre hinweg ermöglichen.

Für den jeweiligen Radweg wurden festgehalten:

- Länge und Breite
- Angaben zum Baumbestand:
Art, Alter, Anzahl, Abstand zum Radweg
- Schadensbilder: z. B. Materialabtrag, Pfützenbildung, Fahrspuren, Hebungen, Kantenbildung, Wasserrillen, Längs-, Quer- oder Netzrisse, Senkungen, Flickstellen, Ablösungen

Die Begehungen wurden durch eine ergänzende Fotodokumentation sowie deskriptive Freitextbeschreibungen ergänzt, um sowohl den visuellen Zustand als auch kontextuelle Besonderheiten der Infrastruktur detailliert festzuhalten. Dies ermöglichte eine qualitative Erweiterung der standardisierten Erhebung und trug zur besseren Interpretation der Ergebnisse bei.

6.2. Einbindung vorhandener Unterlagen

Für alle untersuchten Pilotstrecken stellte der LBV SH dem ADFC SH folgende grundlegende projektbezogene Unterlagen zur Verfügung:

- Das jeweilige Leistungsverzeichnis der Baumaßnahmen
- Lagekarten zur Verortung der Radverkehrsanlagen

Darüber hinaus lagen für einzelne Strecken folgende zusätzliche Informationen vor, wie z. B.:

- Laboruntersuchungen
- Baubeschreibungen
- Vermerke aus der Bauausführung oder Projektbetreuung

Sämtliche vorliegenden Dokumente wurden vom ADFC SH hinsichtlich ihrer Relevanz für Zustand, Materialwahl und mögliche Schwachstellen der Maßnahmen analysiert und in die Bewertung einbezogen.

6.3 Bautechnische Recherche

Im Rahmen des Monitorings wurde eine umfassende bautechnische Recherche durchgeführt. Dabei wurden alle relevanten technischen Regelwerke, Richtlinien, Empfehlungen und Merkblätter berücksichtigt, die für den Bau und die Instandhaltung von Radverkehrsanlagen von Bedeutung sind. Ergänzend wurden Hinweise und Empfehlungen der jeweiligen Produkthersteller einbezogen, um aktuelle technische Entwicklungen und produktspezifische Anforderungen zu berücksichtigen.

Darüber hinaus flossen Gutachten, Leitlinien sowie Erfahrungsberichte (siehe Kapitel 18) anderer Straßenbaulastträger aus verschiedenen Bundesländern in die Analyse ein.

6.4. Befragung von Radfahrenden

Zur Ergänzung der infrastrukturellen Bestandsaufnahme wurde eine Befragung von Radfahrenden durchgeführt. Ziel war es, subjektive Wahrnehmungen zur Qualität und Sicherheit der genutzten Pilotstrecken zu erfassen und so nutzerbezogene Aspekte in die Bewertung einzubeziehen. Die Befragung lieferte Hinweise auf potenzielle Diskrepanzen zwischen technischer Zustandserfassung und tatsächlicher Nutzererfahrung.

Die Stichprobenerhebung der Anwohnenden wurde an vier der acht Pilotstrecken durchgeführt. Ausgewählt wurden die unmittelbar an den Radwegen gelegenen Städte und Dörfer, deren Bevölkerungszahlen für die erforderliche statistische Relevanz ausreichten. Um alle relevanten Deckschichten (Beton, Asphalt, Pflasterung, wassergebundene Deckschicht) zu berücksichtigen, wurden die Strecken an der L 259, L 119, L 308 sowie ergänzend die Gutenbergstraße in Kiel ausgewählt. Letztere wurde gewählt, da zu diesem Zeitpunkt dem Auftragnehmer kein gepflasterter Radweg in der Baulast des LBV.SH bekannt war. An diesen Strecken wurden rund 6.200 zufällig ausgewählte Haushalte stichprobenartig mittels persönlichem Anschreiben kontaktiert und zur Teilnahme an einer Online-Umfrage eingeladen. 791 Personen folgten dieser Aufforderung, was für eine statistische Auswertung ausreichend war.

Die Anzahl der Teilnehmenden an der Umfrage war in den verschiedenen Orten wie folgt:

1. Gutenbergstr. in Kiel: 275 Teilnehmende
2. L 308: 185 Teilnehmende
3. L 259: 178 Teilnehmende
4. L 119: 153 Teilnehmende

Für die Stichprobenauswahl wurde eine geschichtete Zufallsstichprobe angestrebt, die sowohl regelmäßige Radwegnutzer als auch weniger aktive Anwohner umfasst. Aufgrund des engen Zeitrahmens und der begrenzten Zahl an Teilnehmenden mussten jedoch Kompromisse bei der Stichprobenauswahl eingegangen werden. Die Stichprobengröße wurde unter Berücksichtigung der Gemeindegrößen und der erforderlichen statistischen Signifikanz festgelegt. Es wurde davon ausgegangen, dass die Geschlechterverteilung zugunsten der Männer ausfallen könnte, da laut aktuellen Daten mehr Männer regelmäßig Fahrrad fahren. Die Befragung richtete sich an jeweils eine Person im Haushalt, idealerweise diejenige, die am häufigsten mit dem Fahrrad auf der betreffenden Strecke fährt.

Der Online-Fragebogen war über einen Link oder einen QR-Code aufzurufen. Ziel der Befragung war es, die subjektive Meinung der Radfahrenden zu den verschiedenen Deckschichten auf den Pilotstrecken sowie allgemein zur Radweginfrastruktur zu ermitteln. Die Befragung wurde Ende 2024 unter der Begleitung eines extern beauftragten Soziologen durchgeführt.

Der Fragebogen war in drei Teile gegliedert:

1. Mobilitätsverhalten: In diesem Abschnitt wurde abgefragt, ob das Fahrrad als Verkehrsmittel genutzt wird und ob es für Alltagsfahrten oder Freizeit Zwecke verwendet wird. Diese Informationen helfen dabei, die Einflussfaktoren auf die Streckenwahl (z. B. Infrastruktur, Komfort, Sicherheit) zu verstehen. Es folgten Anschlussfragen zur Nutzung der spezifischen Pilotstrecke.
2. Allgemeinen Präferenz von Deckschichten: Da nicht davon ausgegangen werden konnte, dass die Befragten ein Bewusstsein für die verschiedenen Deckschichten oder gar einheitliche Vorstellungen von diesen haben, wurden Bilder der Deckschichten gezeigt. Damit die

Gestaltung des Bildes keinen beeinflussenden Effekt auf die Befragten hat, wurde diese dahin gehend bearbeitet, dass ausschließlich die Oberflächen der Radwege zu sehen waren und sich der Verlauf des Weges annähernd ähnelt.

3. Bewertung der Pilotstrecke: Dieser Teil beinhaltete Fragen zur konkreten Pilotstrecke, insbesondere zur Beurteilung der Deckschichten, wobei andere Einflussfaktoren ausgeklammert wurden.

6.5. Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte

Zur Bewertung potenzieller naturschutzfachlicher Auswirkungen der untersuchten Maßnahmen erfolgte eine umfangreiche Literaturrecherche durch den ADFC SH. Ziel war es, die Auswirkungen baulicher Eingriffe in Radverkehrsanlagen auf angrenzende oder betroffene Naturräume sowie auf Bäume und Wurzelsysteme fachlich fundiert einordnen zu können.

Dabei wurden sowohl wissenschaftliche Publikationen als auch Praxisleitfäden, Fachbeiträge und rechtliche Grundlagen aus dem Bereich Umwelt- und Naturschutz ausgewertet. Die Ergebnisse der Recherche dienten dazu, die baulichen Instandsetzungsmaßnahmen hinsichtlich möglicher Konflikte mit naturschutzfachlichen Zielen (z. B. Baumerhalt, Bodenschutz, Lebensraumfunktionen) zu bewerten und Empfehlungen für künftige Planungs- und Bauprozesse abzuleiten.

7. Grundlagen

Um die Funktionsfähigkeit der Instandsetzungsmaßnahmen und ihre Auswirkungen besser verstehen zu können, werden in diesem Kapitel die Grundlagen des Baum- und Wurzelwachstums sowie für den Bau von Radverkehrsinfrastruktur vermittelt.

Bisherige wissenschaftliche Untersuchungen zu der Problematik des Wurzeleinwuchs in Radverkehrsanlagen beziehen sich auf den städtischen Raum. Sabine Reichwein arbeitete in ihrer Dissertation „Baumwurzeln unter Verkehrsflächen. Untersuchungen zu Schäden an Verkehrsflächen durch Baumwurzeln und Ansätze zur Schadensbehebung und Schadensvermeidung“¹⁰ die Problematik systematisch auf und führt an: „Baumwurzeln unter Verkehrsflächen können durch Dickenwachstum zu Schäden an Wegedecken und Randeinfassungen führen. Betroffen sind vor allem Flächen mit geringer Verkehrsbelastung wie Geh- und Radwege, Fußgängerzonen, Stadtplätze und Parkplätze.“¹¹ Ebenso seien gemäß „Merkblatt für die Erhaltung von Verkehrsflächen mit Baumbestand“ (M EvB)¹² Tragschichten ohne Bindemittel anfällig für diese Problematik, da trotz technisch notwendiger Verdichtung für die Wurzelerschließung ausreichend Porenraum vorhanden sein kann. Reichwein beobachtete in ihrer Untersuchung von Wurzelräumen im Stadtraum, dass die Baumwurzeln im Besonderen in die Fugen der Pflaster- und Plattenbeläge, in die Grenzschichten direkt unter der Deckschicht sowie in die umgebende Pflasterbettung eindringen.¹³

Wie Bäume und ihre Wurzeln wachsen und sich entwickeln, hängt in erster Linie von der Baumart, den Bodenbeschaffenheiten sowie dem Luft- und Wasserhaushalt ab. Während in urbanen und besiedelten Räumen auf kleiner Fläche unterschiedlichste Bedingungen vorgefunden werden können, sind die Bedingungen an Landstra-

ßen zum Großteil identisch. Nicht auszuschließen sind dabei wechselnde Bodenverhältnisse an längeren Strecken. Das hier vorliegende Monitoring bezieht sich vor allem auf Außerortsstrecken und nicht auf den urbanen Raum.

7.1. Baum- und Wurzelwachstum

In der Entwicklung eines Baumes besteht stets ein Gleichgewichtsverhältnis zwischen Baumkrone und Wurzelausdehnung. Die in der Krone zu bildende Blattmasse muss über die Wurzeln versorgt werden. Die Wurzeln eines Baumes erfüllen dabei mehrere Funktionen:

- Sie verankern den Baum an seinem Standort
- dienen dem Baum zur Wasser- und Nährstoffaufnahme
- Bilden Phytohormone
- Speichern große Mengen an photosynthetisch erzeugten Reservestoffen¹⁴

Innerhalb ihres Wachstumsprozesses durchlaufen die Wurzeln verschiedene Entwicklungsstadien und treten dabei in diversen Erscheinungsformen auf. Dies führt dazu, dass die Wurzelsysteme der Bäume stetigen Veränderungen unterliegen und keinen statischen Zustand einnehmen.

7.1.1. Wurzelsysteme

An einem idealen Standort würde ein Baum je nach Gehölzart ein Wurzelsystem ausbilden, dass sich in die Kategorien Flachwurzler, Herzwurzler oder Tiefwurzler einteilen lassen kann.

- Flachwurzler bilden den Großteil ihrer Wurzeln in unmittelbarer Nähe zur Bodenoberfläche aus, wodurch sie empfindlicher gegenüber Trockenheit und Bodenverdichtung sind.
- Tiefwurzler entwickeln bevorzugt Pfahlwurzeln, mit denen sie tieferliegende Bodenschichten zur Wasser- und Nährstoffaufnahme erschließen.

¹⁰ Vgl. Reichwein (2002).

¹¹ Reichwein (2002), S. III.

¹² Vgl. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Merkblatt für die Erhaltung von Verkehrsflächen mit Baumbestand (M EVB). Köln: FGSV, 2019, S. 10.

¹³ Vgl. Reichwein (2002), S. 189.

¹⁴ OBB Sachverständigenbüro für urbane Vegetation (2022): Wurzelschutz von Straßenbäumen. Handlungsempfehlungen zum fachgerechten Schutz von Bäumen bei Tiefbaumaßnahmen im Straßenraum. Bad Honnef/Bochum.

- Herzwurzler weisen ein intermediäres Wurzelsystem auf, das sowohl in die Tiefe als auch in die Breite wächst und somit eine Mischform beider Ausprägungen darstellt.¹⁵

Entsprechend trifft man in der Praxis immer noch häufig auf die Aussage, mit dem Pflanzen von Tiefwurzlern würden sich Schäden an Radwegen verhindern lassen. Diese Annahme ist insofern falsch, als dass auch Tiefwurzler oberflächennahe Wurzeln ausbilden, die sich in Stammnähe ausbreiten. Daher muss auch bei der Pflanzung von Tiefwurzlern ausreichend Abstand zur Radverkehrsanlage gehalten werden. Nähere Informationen dazu finden sich in den „Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 1 und Teil 2“¹⁶ der FLL.

Ergänzend sei hier erwähnt, dass die Einordnung der Gehölzarten nicht immer eindeutig einer dieser Wurzelformen zugeordnet werden kann. Die Fichte wird beispielsweise häufig als typischer Flachwurzler angegeben, bedingt durch den häufigen Anbau auf flachgründigen Standorten, in denen sie nicht anders wachsen kann. In tiefgründigeren Standorten hingegen bildet sie ein herzwurzelartiges System aus.¹⁷

7.1.2. Wachstumsprozess

Um das Wurzelwachstum und seine Auswirkungen auf Bauwerke wie Radwege zu verstehen, ist ein grundlegendes Verständnis der Wurzelstruktur notwendig: Die eigentliche Wachstumszone liegt nicht direkt an

der Wurzelspitze, sondern unmittelbar dahinter, in der sogenannten Initialzone. Dort entstehen neue Zellen. An der Spitze selbst befindet sich die Calyptra, eine schützende, schleimige Haube, die wie ein Bohrkopf funktioniert. Durch den Druck¹⁸ der nachrückenden Zellen wird die Spitze durch das Erdreich gedrückt. Hinter der Spitze sorgen feine Wurzelhaare für die Verankerung im Substrat. Die Wurzelspitze ist dabei flexibel und wächst gezielt in Richtung geringster Bodenwiderstände. „Der mechanische Bodenwiderstand und das Porenvolumen bzw. die Porenverteilung im Boden bestimmen die Durchwurzelbarkeit von Böden.“¹⁹

Bereiche mit geringer Dichte, z. B. Hohlräumen oder Leitungskanäle werden von den Wurzeln nicht wieder verlassen. Sie folgen diesen durchlässigeren Böden.

Ähnlich wirken auch Übergänge zwischen der Tragschicht und Deckschicht von Radwegen. Zwischen den Schichten finden sich ausreichend Porenräume um durchwurzelt zu werden. „Entscheidend ist, dass für die Wurzeln nicht der Verdichtungsgrad maßgeblich ist, wie er üblicherweise im Bauingenieurwesen gemessen wird. Porenräume, im Substrat erlauben auch in hochverdichteten Substraten eine nahezu ungehinderte Durchwurzelbarkeit. So können z. B. Recyclingschotter sehr rasch und gut durchwurzelt werden. Andererseits können Substrate ohne entsprechende Porenräume wie z. B. Tone oder technische Substrate wie Bentonit auch bei sehr schlechter Tragfähigkeit schwer durchwurzelt werden.“²⁰

15 Vgl. ebd., S. 20; Köstler, Josef et. al. (1968): *Die Wurzeln der Waldbäume – Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa*, Berlin, S. 284.

16 Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL): *Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege*. Bonn: FLL, 2015; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL): *Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate*. Bonn: FLL, 2010.

17 Vgl. Kutschera, Lore (1960): *Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen*. Frankfurt a. M.

18 Mechanische Messungen zeigen, dass der Wurzeldruck mit dem osmotischen Druck in den Zellen der Wurzeln übereinstimmt und bis zu 12 bar erreichen kann. Vgl. AGFW Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (2020): *Abschlussbericht. „Untersuchung der Interaktion zwischen Bäumen/Baumwurzeln und unterirdischen Fernwärmeleitungen“*. Forschung und Entwicklung. Heft 58, S. 11.

19 Reichwein (2002), S. 16.

20 IKT, Institut für Unterirdische Infrastruktur GmbH (2007): *Kurzbericht zum Forschungsvorhaben: „Ergänzungsprojekt zum Vorhaben Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen und -kanäle, Ursachen, Prüfung und Vermeidung, AZ IV, 9, 042 378 0010*. Gelsenkirchen, S. 5.

Dringt eine Wurzel in den Radwegeaufbau ein, beginnt sie dort zu verdicken. Gleichzeitig verholzen die inneren Leitungsgewebe, was zu einer besseren Wasserleitung und geringerer Verdunstung führt. Eine erste Borke bildet sich als Schutzschicht. Durch die zunehmende Verholzung verliert die Wurzel an Flexibilität, gewinnt jedoch an Stabilität, ein zentraler Beitrag zur Standfestigkeit des Baumes. Dieser Prozess wird als sekundäres Dickenwachstum bezeichnet.²¹

Es entstehen zunächst Schwachwurzeln, die die mechanischen Belastungen, z. B. durch Wind, in den Boden ableiten. Besonders die feinen Verästelungen an den Wurzelenden reagieren auf plötzliche Zugkräfte, indem sie sich reflexartig zusammenziehen und den umgebenden Boden umklammern. Der Ausfall einer Schwachwurzel betrifft somit immer das gesamte, daran anschließende Wurzelgeflecht.

Im Laufe der Zeit wandeln sich viele Schwachwurzeln zu Starkwurzeln, die nicht nur der Stabilität, sondern auch als Speicherorgane für Energie-Reserven (z. B. Stärke), dienen. Diese gespeicherten Stoffe sind für die Versorgung des Baumes und die Regenerationsfähigkeit des Baumes.

Eine einheitliche Einteilung der Wurzeln in differenzierte und klar definierte Kategorien ist nicht vorhanden. Daher wird hier im weiteren Verlauf folgende Einteilung des Baumwurzelsystems nach Wurzeldurchmessern und Funktionen Verwendung finden (Tabelle).

21 Vgl. Spektrum Kompaktlexikon der Biologie (ohne Jahr): Dickenwachstum <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/dickenwachstum/3045> (Stand: 26.09.2025).

Wurzel – bezeichnung	Durchmesser	Funktion
Feinstwurzeln	kleiner als 1 mm	Aufnahme von Wasser und darin gelösten Nährstoffen
Feinwurzeln	1 bis 2 mm	
Schwachwurzeln	2 bis 5 mm	
Grobwurzeln	5 bis 20 mm	Transport von Wasser und Nährstoffen
Derbwurzeln	20 bis 50 mm	Speicherung von Reservestoffen, Verankerung im Boden, Abwehr- und Regenerationsverhalten
Starkwurzeln	mehr als 50 mm	Transport- und Speicherfunktion Verankerung im Boden

Wurzeldurchmesser und Funktionen nach Stengel (2016), S. 16.

7.2. Radverkehrsanlagen

Eine Radverkehrsanlage ist eine Verkehrseinrichtung, die für die Benutzung durch Fahrräder freigegeben ist. Der Begriff dient als Oberbegriff für verschiedene Ausführungsformen:

- Ausschließliche Nutzung durch Radverkehr (baulich oder durch Markierung von der Fahrbahn getrennt mit Benutzungspflicht; Fahrradstraßen ohne Kfz)
- Gemeinsame Nutzung mit weiteren Verkehrsteilnehmenden (z. B. gemeinsame Geh- und Radwege; Mischverkehr auf der Fahrbahn; Fahrradstraßen Kfz frei)

Im Kontext dieses Projekts wurden vorrangig straßenbegleitende gemeinsame, baulich getrennte Geh- und Radwege betrachtet. Diese werden gemäß der „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“ (RStO (12/24))²² dimensioniert.

22 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12/24). Köln: FGSV, 2024.

7.2.1. Aufbau einer Radverkehrsanlage gemäß RStO (12/24)

In Deutschland werden für Verkehrsflächen verschiedene Schichtenaufbauten nach den RStO (12/24)²³ dimensioniert. Die Auswahl der Schichtarten sowie deren Ausführungstärken erfolgt entsprechend der funktionalen Anforderungen der Verkehrsfläche, den vorherrschenden Bodenverhältnissen des Baugrundes und der gewählten Bauweise.

Der Aufbau eines Geh- und Radweges gliedert sich in mehrere Schichten mit unterschiedlichen Funktionen. Die Schichten oberhalb des Planums (ohne Bankett) bilden den Oberbau. Dabei wird zwischen gebundenem und ungebundenem Oberbau unterschieden:

- Gebundener Oberbau: Schichten, die ein Bindemittel enthalten, z. B. Asphalttragschicht oder hydraulisch gebundene Tragschichten
- Ungebundener Oberbau: Schichten ohne Bindemittel, z. B. Tragschichten aus Schotter oder Kies

Eine zentrale Schicht des ungebundenen Oberbaus ist die Tragschicht ohne Bindemittel (ToB). Sie liegt zwischen dem gebundenen Oberbau (z. B. Asphaltdeckschicht) und dem Planum und dient der Lastverteilung. Hierzu zählt unter anderem die Frostschutzschicht, die aus frostunempfindlichen Materialien besteht und Schäden durch Frost im Oberbau verhindern soll.

23 Vgl. FGSV (2012): RStO (12/24), S. 7.

Unterhalb des Planums²⁴ befindet sich entweder der Untergrund oder der Unterbau (Abbildung 1):

- Untergrund: Natürlicher, tragfähiger Boden oder Fels
- Unterbau: Aufgebrachte Schichten zur Verbesserung des Tragverhaltens, z. B. Dammschüttungen

Für die Dauerhaftigkeit eines außerörtlichen Geh- und Radweges sind sowohl der Untergrund/Unterbau als auch der Oberbau entscheidend. Sie beeinflussen maßgeblich die Tragfähigkeit und Frostsicherheit der gesamten Konstruktion.

Weitere technische Details und Anforderungen finden sich in der RStO (12/24, Tafel 6), „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau“ (ZTV E-StB)²⁵ sowie den „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau“ (ZTV SoB-StB)²⁶.

24 Das Planum bezeichnet die plangerecht hergestellte Oberfläche des Untergrundes oder Unterbaus. Es bildet die Grundlage für den weiteren Aufbau des Straßenkörpers.

25 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2017): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau. Köln.

26 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2020): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau. Köln.

Quelle: Landesbaudirektion Bayern. Zentralstelle Radverkehr (Hg): Leitfaden. Radwegebau außerorts. Ebern. 2025.

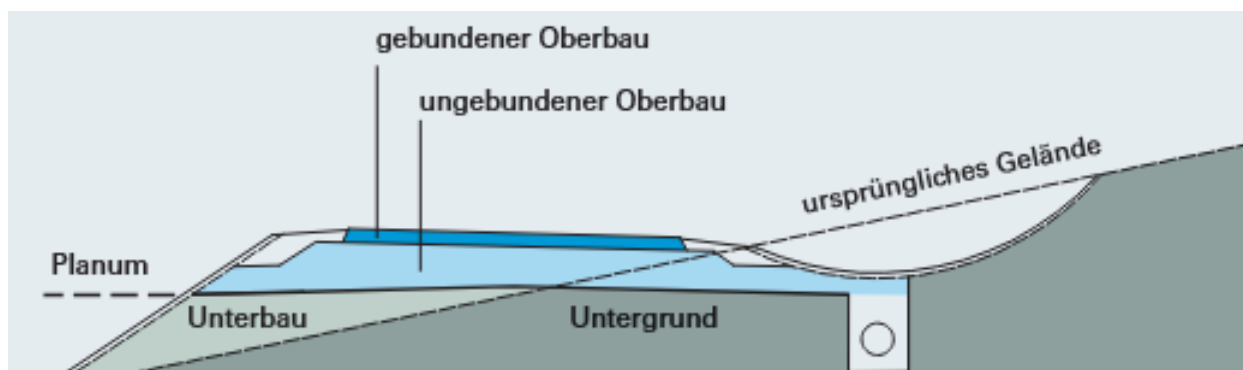


Abb.1: Bestandteile eines Straßenkörpers gemäß RStO am Beispiel eines gemeinsamen Geh- und Radwegs außerorts

7.2.2. Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA2010)

Die „Empfehlungen für Radverkehrsanlagen“ (ERA2010)²⁷ führt aus, dass die Qualität der baulichen Ausführung entscheidend für die Verkehrssicherheit und den Fahrkomfort auf Radverkehrsanlagen ist. Dem Radverkehr ist eine gleichwertige Qualität hinsichtlich Linienführung, Oberflächenbeschaffenheit, Gradienten und Freihaltung des Lichtraums zu bieten, wie sie für die Kfz-Fahrbahn üblich ist.²⁸

Bei Radverkehrsanlagen mit Sonderbauweisen wie Oberflächenschutzschichten oder wassergebundenen Deckschichten weist die ERA2010 auf mögliche höhere Unterhaltungskosten oder vorzeitige Erneuerungskosten sowie auf eingeschränkten Fahrkomfort hin, der zu einem Akzeptanzverlust seitens der Nutzenden führen kann.²⁹

Als geeignete Deckschichten empfehlen die ERA2010 Asphalt, Beton, Pflaster oder Plattenbelag. Bei der Wahl der Schichtdicken gibt die ERA2010 zu beachten, dass Fahrzeuge des Straßenunterhaltungsdienstes den Radweg zumindest zeitweise befahren können müssen, ohne Schäden zu verursachen. Eine Befahrung durch schwere Kraftfahrzeuge ist gemäß ERA2010 nicht zu berücksichtigen.³⁰

An Deckschichten für Radverkehrsanlagen stellt die ERA2010 folgende grundlegende Anforderungen:

- Dauerhaft ebene Oberfläche mit möglichst geringem Rollwiderstand
- Hohe Griffigkeit, auch bei Nässe
- Allwettertauglichkeit (gute Entwässerungseigenschaften zur Vermeidung von Pfützenbildung und aufspritzendem Schmutz, Vermeidung von Staubbildung, gute Räumbarkeit bei Schnee)³¹

27 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2010): Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA2010).

28 Vgl. ebd., S. 76.

29 Ebd., S. 76.

30 Vgl. ebd., S. 76.

31 Vgl. ebd., S. 76.

„Darüber hinaus spielen Aspekte der stadtgestalterischen Integration (einheitliches Erscheinungsbild der Anlagen, Materialoptik, Abgrenzung zu anderen Verkehrsflächen) sowie der Wirtschaftlichkeit (Erhaltungskosten, Instandsetzungskosten nach Tiefbauarbeiten) eine Rolle. Die benannten grundlegenden Anforderungen werden durch maschinell eingebaute Decken aus Asphalt insgesamt am besten erfüllt. Mittels Durchfärbens des Mischgutes und Pflasterungen im Randbereich kann bei entsprechenden Anforderungen die stadtgestalterische Integration verbessert werden. Bautechnisch erlaubt die hohe Flexibilität bezüglich der Einbaudicken eine gute Anpassung von Asphaltdecken an den Bestand.“³²

8. Erhaltung (Wartung, Instandhaltung, Instandsetzung und Erneuerung)

Unabhängig von der jeweils verbauten Deckschicht müssen Radwege im Laufe ihrer Nutzungsdauer regelmäßig erhalten und instand gesetzt werden. Ziel ist es, die Verkehrssicherheit, den Fahrkomfort sowie die Substanz der Radverkehrsanlagen langfristig zu sichern. Die Erhaltungsstrategie unterscheidet dabei verschiedene Maßnahmenkategorien, die je nach Schadensbild und Nutzungsdauer angewendet werden.

8.1. Betriebliche Unterhaltung (Wartung)

Die betriebliche Unterhaltung umfasst laufende Maßnahmen zur Sicherstellung der Verkehrssicherheit und Nutzbarkeit. Dazu zählen:

- Reinigung
- Beseitigung von Hindernissen
- Pflegearbeiten
- Kontrolle und Wartung von Entwässerungsanlagen

32 Ebd., S. 76.

8.2. Bauliche Unterhaltung (Instandhaltung)

Die Maßnahmen der Instandhaltung dienen der Qualitätssicherung und der frühzeitigen Beseitigung von kleineren baulichen Mängeln:

- Kleinteilige Reparaturen der Oberfläche

8.3. Instandsetzung

Instandsetzungsmaßnahmen sind größere, zusammenhängende bauliche Eingriffe zur Substanzerhaltung und zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften. Sie erfolgen in der Regel flächendeckend in Fahrstreifenbreite und in Schichtstärken bis zu 4 cm.

Definition gemäß Bundesministerium für Verkehr (BMV): „Bauliche Maßnahmen zur Substanzerhaltung oder zur Verbesserung von Oberflächeneigenschaften von Verkehrsflächen, die auf zusammenhängenden Flächen in der Regel in Fahrstreifenbreite bis zu einer Dicke von 4 cm ausgeführt werden.“³³

Dazu zählen u. a. das Aufbringen von Dünnschichtbelägen oder der Hoch- bzw. Tiefeinbau der Deckschicht.

8.4. Erneuerung

Eine Erneuerung umfasst den vollständigen oder teilweisen Ersatz der befestigten Radwegfläche.

Diese erfolgt:

- Durch Aufbringen neuer Schichten (Hocheinbau)
- Durch Abtragen und Ersetzen bestehender Schichten (Tiefeinbau)
- Durch eine Kombination beider Verfahren

Definition gemäß BMDV: „Bauliche Maßnahmen zur vollständigen Wiederherstellung einer Verkehrsflächenbefestigung oder Teilen davon, sofern mehr als 4 cm betroffen sind [...]“³⁴

33 *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (2014): Anforderungen an die Erhaltung von Radwegen. Straßenbau. Heft S 84, Bremen, S. 86.*

34 *Ebd., S. 86.*

Quelle: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/erhaltung-von-strassen.html> (Stand: 01.10.2025).

E R H A L T U N G	BETRIEBLICHE UNTERHALTUNG (WARTUNG) (z. B. Bankettschneiden, Straßenreinigung, Winterdienst)		
	BAU- LICHE	(örtlich-punktueller oder kleinflächige Maßnahmen) BAULICHE UNTERHALTUNG (INSTANDHALTUNG) (z. B. Vergießen von Rissen, kleinflächige Flickarbeiten)	
		INSTAND- SETZUNG (größere flächige Maßnahmen)	I1 - auf der Deckschicht (z. B. Oberflächenbehandlung, Dünnschichtbelag)
	ERHAL- TUNG	ERNEUE- RUNG	I2 - an der Deckschicht (z. B. Hoch- bzw. Tiefeinbau der Deckschicht)
			E1 - an der Decke (z. B. Hoch- oder Tiefeinbau der Decke)
			E2 - an Tragschicht(en) / am Oberbau (z. B. Verstärkung, Tiefeinbau der Tragschicht)

Abb. 2: Begriffssystematik der Straßenerhaltung.

9. Präventivmaßnahmen bei Neubauten

Präventive Maßnahmen zum Schutz von Radverkehrsanlagen mit Baumbestand beginnen bereits mit der Auswahl geeigneter Baumarten. Forschungsergebnisse zeigen, dass selbst Herz- oder Pfahlwurzler ihre Wurzeln nicht ausschließlich in die Tiefe ausbilden.³⁵ Umweltfaktoren wie Bodenverdichtung, Wasserverfügbarkeit und Nährstoffangebot beeinflussen das Wurzelwachstum maßgeblich.

Bei der Baumartenwahl im Bereich von Radverkehrsanlagen sollte daher grundsätzlich auf Flachwurzler verzichtet werden, da ihre oberflächennahe Wurzelbildung durch technische Maßnahmen kaum dauerhaft steuerbar ist. Ebenfalls ungeeignet sind schnellwachsende, expansive Pioniergehölze, wie z. B. Pappeln oder amerikanische Eichen, da sie überdurchschnittlich oft Schäden an angrenzenden, befestigten Verkehrsflächen verursachen.

9.1. Gestaltung eines geeigneten Wurzelraums

Der Wurzelraum muss den physiologischen Anforderungen der gewählten Baumart entsprechen – entweder durch Auswahl idealer Standorte oder durch technisch geschaffene Rahmenbedingungen wie z. B. Belüftungsmaßnahmen. Detaillierte Empfehlungen zu Pflanzgrubenaufbau, Substratauswahl und Mindestgrößen von Baumscheiben finden sich in den „Empfehlungen für Baumpflanzungen“³⁶ der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL, 2010).

35 Meyer, F. H. (1986): Einfluss des Standortes auf die Wurzelbildung von Bäumen. Tagungsband der 4. Osnabrücker Baumpflege-Tagung 1986. Osnabrück.

36 FLL (2010): Empfehlungen für Baumpflanzungen. S. 38ff.

Diese beruhen u. a. auf grundlegenden Untersuchungen von Hans-Joachim Liesecke und Clemens Heidger³⁷ zur Standortoptimierung von Stadtbäumen.

Reichwein schlägt ergänzend eine vertikale funktionale Trennung von Verkehrsfläche und Wurzelraum vor. Hierbei wird unterhalb der Tragschicht ein durchwurzelbarer Raum für das Dickenwachstum³⁸ geschaffen. Dieser Ansatz wurde ebenfalls in den FLL-Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 2³⁹ berücksichtigt.

9.2. Ergänzende Maßnahmen zur Baumstandortsanierung

Bei Bestandsbäumen können zusätzliche Maßnahmen erforderlich sein, um den Stand- und Entwicklungsraum nachhaltig zu verbessern. Ziel ist die Förderung der Baumvitalität und damit eine Verlängerung der Lebensdauer sowie das Lenken des Wurzelwachstums in tiefere Zonen. Dazu gehören insbesondere:

- Die dauerhafte Nährstoffversorgung im Wurzelraum
- Die Optimierung der Wasserbevorratung im Boden
- Die tiefgründige Bodenlockerung mittels pneumatischer Gerätetechnik
- Die gezielte Mykorrhiza-Beimpfung, um die Nährstoffaufnahme zu verbessern und die Bodenstruktur langfristig zu stabilisieren⁴⁰

37 Liesecke, Hans-Joachim/Heidger, Clemens (1991): *Vegetationstechnische und bautechnische Maßnahmen zur Verbesserung des Stand- und Wurzelraumes bei Straßenbäumen. Manuskript anlässlich der 9. Osnabrücker Baumpflege-Tagung am 24.-25. September 1991*; Liesecke, Hans-Joachim/Heidger, Clemens (1994): *Bäume in Stadtstraßen – Untersuchungen zur Entwicklung und Erprobung von vegetationstechnischen und bautechnischen Maßnahmen zur Optimierung des Wurzel- und Standraumes von Bäumen in Stadtstraßen. Heft 670 der Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Selbstverlag Bonn*; Liesecke, Hans-Joachim/Heidger, Clemens (2000): *Substrate für Bäume in Stadtstraßen, Teil 2: Diskussion der Ergebnisse und Ableitung eines Anforderungsprofils. Stadt und Grün 49 (9) S. 620–624.*

38 Vgl. Reichwein (2002), S. 239.

39 FLL (2010): Empfehlungen für Baumpflanzungen. Teil 2.

40 Vgl. FLL (2010).

10. Baumpflegerische Begleitung

Bei allen Baumaßnahmen im Bereich von Vegetation und Baumbestand sind die jeweils geltenden Rechtsvorschriften und Richtlinien einzuhalten. Dazu zählen insbesondere:

- DIN 18920 – Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen und Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen⁴¹
- „Richtlinie für den Schutz von Bäumen bei Baumaßnahmen“ (R SBB, 2023)⁴²
- Gehölzschutzverordnungen der Kreise
- „Bundesnaturschutzgesetz“ (BNatSchG)⁴³

Um Schäden an straßenbegleitenden Gehölzen zu vermeiden, ist bei Baumaßnahmen mit unmittelbarem Einfluss auf den Wurzelraum eine baumpflegerische Begleitung empfehlenswert. Diese sollte idealerweise durch eine unabhängige Fachfirma erfolgen, sofern kein interner Sachverständiger zur Verfügung steht.

Die Beauftragung von Sachverständigen aus den ausführenden Bauunternehmen ist nicht zu empfehlen, da deren Unabhängigkeit nicht gewährleistet ist.

Orientierung für das Vorgehen gibt das Modell aus Hamburg, wie es in der Veröffentlichung der Qualitätsgemeinschaft Baumpflege und Baumsanierung e. V. (QBB) dargestellt ist: „Praktische Umsetzung der baubegleitenden Wurzelschutzmaßnahmen am Beispiel der Freien und Hansestadt Hamburg“.⁴⁴

41 Vgl. DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2014): DIN18920. *Vegetationstechnik im Landschaftsbau Schutz von Bäumen, Pflanzbeständen und Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen* Berlin/Beuth.

42 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2023): *Richtlinien zum Schutz von Bäumen und Vegetationsbeständen bei Baumaßnahmen* (R SBB). Köln.

43 Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG).

44 Qualitätsgemeinschaft Baumpflege und Baumsanierung e. V. (QBB) (2017).

Die baumpflegerische Begleitung umfasst insbesondere die Kontrolle und Absicherung bei folgenden Arbeiten:

- Bankett- und Erdarbeiten
- Rohrleitungsbau
- Grabenprofilierung
- Asphaltaufbruch

Ziel ist es, Beschädigungen an Grob- und Starkwurzeln ($\geq 2,0$ cm Durchmesser) zu vermeiden.

Dafür muss beachtet werden:

- Freigelegte Wurzeln sind ständig feucht zu halten
- Wurzelschnitte dürfen nur durch qualifiziertes Fachpersonal durchgeführt und müssen fachgerecht versorgt werden
- Ein Rückschnitt von Wurzeln ist nur in begründeten Ausnahmefällen zulässig und darf nur erfolgen, wenn die Standsicherheit des Baumes gewährleistet bleibt⁴⁵

11. Oberflächenentwässerung von Radverkehrsanlagen

Die Oberflächenentwässerung spielt eine zentrale Rolle für die Verkehrssicherheit sowie die Dauerhaftigkeit befestigter Flächen. Ein unzureichender Wasserabfluss kann die Rutsicherheit beeinträchtigen, zu Substanzschäden führen und die Lebensdauer der Beläge erheblich verkürzen.

Die „Richtlinie für die Entwässerung von Straßen“ (REwS 2021)⁴⁶ gilt für den Neubau, Um- und Ausbau von Außerortsstraßen sowie deren Nebenanlagen (z. B. Parkplätze) und definiert verbindliche Anforderungen an die Straßenentwässerung außerhalb geschlossener Ortschaften.

45 Ebd., S. 6.

46 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2021): *Richtlinie für die Entwässerung von Straßen* (REwS). Köln.

Entwässerungsanforderungen laut ERA2010

Die ERA2010 enthalten konkrete Vorgaben zur Querneigung, um eine effektive Entwässerung zu gewährleisten⁴⁷:

- Mindest-Querneigung: 2,5 %
- Bei wassergebundenen Deckschichten oder unebenen Oberflächen: mind. 3,0 %
- Maximal zulässige Querneigung: 4,0 %
- Optimale Querneigung auf kombinierten Geh- und Radwegen und separaten Radwegen mit befestigter Oberfläche (Asphalt, Beton, Pflaster): 2,5 %
- Befestigte Radwege (Asphalt, Pflaster, Beton) erhalten in der Regel eine einseitige Querneigung. Bei wassergebundenen Decken wird ein Dachprofil empfohlen.

Gestaltung von Entwässerungselementen:

- Offene Querrinnen sind zu vermeiden, da sie ein erhöhtes Sturzrisiko darstellen.
- Abgedeckte Rinnen sollten gegen unbefugtes Entfernen gesichert sein. Ein erhöhter Reinigungsaufwand ist zu berücksichtigen
- Straßeneinläufe und Schachtabdeckungen sollten nicht in Querungsbereichen oder Furten platziert werden. Wenn unvermeidbar, muss die Gestaltung so erfolgen, dass die Verkehrssicherheit gewährleistet ist
- Die Schlitzrichtung von Ablaufrosten ist grundsätzlich quer zur Fahrtrichtung anzuordnen, um das Sturz- und Unfallrisiko zu reduzieren
- An Einmündungen mit einseitiger Anfahrt sollten engmaschige Roste verwendet werden, um die Unfallgefahr weiter zu reduzieren

⁴⁷ Vgl. ERA (2010): S. 77.

Erweiterte Maßnahmen zur Flächenoptimierung:

- Der Einsatz von Kasten- oder Seitenrinnen anstelle von Straßeneinläufen kann die nutzbare Wegbreite erhöhen.⁴⁸
- Durch gezielte Ableitung von Oberflächenwasser zu Baumstandorten wird die Wasserversorgung verbessert und die Vegetation gestärkt, wodurch der Wurzeleinwuchs in angrenzende Wege gegebenenfalls verringert werden kann.

12. Instandsetzungsbauweisen

Die nachfolgenden Kapitel beschreiben die bislang gängigen Bauweisen, um beschädigte Radwege instand zu setzen oder grundlegend zu erneuern. Diese sind in Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen und unter Berücksichtigung und Beachtung der naturschutzrechtlichen und fachlichen Anforderungen gegeneinander abzuwägen, um die für den jeweiligen Standort geeignetste Maßnahme auszuwählen.

12.1. Asphaltbauweise

Der Aufbau für Radverkehrsanlagen erfolgt nach der RStO (12/24, Tafel 6).⁴⁹ Die Asphaltbauweise ist die am häufigsten verwendete Bauweise im Radwegbau innerhalb Schleswig-Holsteins. Asphalt ist ein technisch hergestelltes Mischgut aus dem Bindemittel Bitumen und Gesteinskörnungen. Dieses Mischgut wird im Straßenbau sowohl Tragschicht, als Binderschicht, Deckschicht Tragdeckschicht verbaut. Je nach Dicke und Lage übernehmen die einzelnen Schichten unterschiedliche Aufgaben, die zur Tragfähigkeit der Gesamtkonstruktion beitragen, wenn alle Schichten zu einem kompakten Baukörper verbunden sind.

⁴⁸ Vgl. Ebd. S. 77.

⁴⁹ Vgl. FGSV (2024): RStO, S. 36.

Bewertung

Die Asphaltdeckschicht erfreut sich einer hohen Akzeptanz bei den Radfahrenden, jedoch gibt es einige Kritik aus dem Bereich des Naturschutzes, auf die in Kapitel 13 näher eingegangen wird. Der Aufbau nach der RStO (12/24), Tafel 6 ohne Kombination mit vegetationstechnischen Maßnahmen (Kapitel 14.2., Seite 51) hat sich in diesem Projekt als wenig effektiv gegen das Einwurzeln in angrenzende Wege erwiesen.

Vorteile:

- Bewährte, weitverbreitete Bauweise
- Hoher Nutzungskomfort
- Einfache Unterhaltung
- Wirtschaftlich
- Fahrbahnmarkierungen möglich

Nachteile:

- Ohne den Einsatz von vegetationstechnischen Maßnahmen (Kapitel 14.2., Seite 51) oder eines alternativen Schichtaufbaus können Wurzeln die Asphaltdeckschicht durchdringen und beschädigen
- Das Einwachsen von Wurzeln in die Asphaltdeckschicht verursacht lokale Aufwölbungen, Setzungen und Rissbildungen an den Oberflächen.
- Kosten- und zeitintensive, ggf. dauerhafte Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich
- Asphaltflächen erwärmen sich bei intensiver Sonneneinstrahlung stark, was zu einer Erhöhung der Umgebungstemperatur führt
- Die Asphaltdecke verhindert das Versickern von Niederschlagswasser, wodurch eine zusätzliche Entwässerung erforderlich sein kann und ökologische Nachteile entstehen können

(Dickenangaben in cm; ∇ E_{cs} -Mindestwerte in MPa)

Zeile	Bauweisen	Asphalt		Beton		Pflaster (Plattenbelag)		ohne Bindemittel	
		30	40	30	40	30	40	30	40
	Dicke des frostsich. Oberbaus	30	40	30	40	30	40	30	40
Schotter- oder Kiestragschicht auf Schicht aus frostunempfindlichem Material									
1	Decke								
	Schotter- oder Kiestragschicht								
	Schicht aus frostunempfindlichem Material								
	Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material ¹⁶⁾	-	15	-	13	-	13	-	11
2	ToB auf Planum								
	Decke								
	Schotter-, Kiestragschicht oder Frostschutzschicht								
	Dicke der Schotter-, Kiestragschicht oder Frostschutzschicht	20	30	18	28	18	28	26	36

8) Asphalttragdeckschicht oder Asphalttrag- und Asphaltdeckschicht, siehe auch Abschnitt 3.3.3

14) Auch geringere Dicke möglich

16) Aus 12 cm aus frostunempfindlichem Material, geringere Restdicke ist mit dem darüber liegenden Material auszugleichen

17) Bei einer 12 cm dicken Betondecke ist keine Verdübelung bzw. Verankerung möglich

20) Kann keine Belastung durch Fahrzeuge (Wartung und Unterhaltung) erfolgen, so ist auch $E_{cs} \geq 80$ MPa möglich

Abb. 3: Aufbau eines Radwegs nach RStO (12/24) mit Asphaltdecke.

Quelle: Der Auszug aus dem FGSV-Regelwerk Nr. 499, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012/Fassung 2024, ist mit freundlicher Genehmigung der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. auszugsweise wiedergegeben worden. Maßgebend für das Anwenden des FGSV-Regelwerkes ist dessen Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die beim FGSV Verlag, Wesseling Str. 15-17, 50999 Köln, www.fgsv-verlag.de, erhältlich ist.

12.2. Dränasphalt

Wasserdurchlässige Asphaltdecken sind Asphaltdeckschichten, die im eingebauten Zustand einen hohen Anteil an miteinander verbundenen (offenen) Hohlräumen aufweisen und werden gemäß dem „Merkblatt für Asphaltdeckschichten aus Offenporigem Asphalt“ (M OPA)⁵⁰ hergestellt.

Bewertung

Gemäß „Merkblatt für die Erhaltung von Verkehrsflächen mit Baumbestand“ sind Dränbeläge bei bestehender Wurzelauflageproblematik aufgrund des hohen Risikos von Wurzeleinwuchs in die hohlraumreiche Decke ungeeignet. Erfahrungen aus dem LBV.SH liegen dazu nicht vor.⁵¹

Vorteile:

- Reduzierte Flächenversiegelung
- Reduzierte Tauwasserbildung unterhalb der Asphaltdeckschicht (Menge abhängig vom Gesamtschichtaufbau)

- Durchlässig für Niederschlagswasser/reduzierte Flächenversiegelung (Menge abhängig vom Gesamtschichtaufbau)
- Verbesselter Fahrkomfort (gute Haftung, wenig Sprühwasser und Pfützenbildung – dadurch weniger Glättegefahr, weniger Fahrgeräusche)

Nachteile:

- Hoher, kostenintensiver Unterhaltungsaufwand (Hohlräume verstopfen → regelmäßige Reinigung erforderlich)
- Keine Streusalznutzung (Salz kann Poren verstopfen, Wasserableitung verschlechtert sich)
- Nachlassende Wasserdurchlässigkeit durch Verschmutzung oder Alterung
- Gemäß M EvB für den Bau von Radwegdeckschichten mit Baumbestand gänzlich ungeeignet
- Bei Bestandsbäumen insbesondere mit zu geringen Baumscheiben kann es zu Wurzeleinwuchs in die hohlraumreiche Decke kommen
- Hohlräume neigen bei geringer Nutzung zur Vergrünung → Funktionsbeeinträchtigung

50 Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV) (2013): Merkblatt für Asphaltdeckschichten aus Offenporigem Asphalt (MOPA). Köln.

51 FGSV (2019): M EVB, S. 29.

12.3. Betonbauweise

Die Ortbetondecke besteht aus einem Gemisch aus Zement, Gesteinskörnungen, Wasser und ggf. Zusätzen. Es wird zwischen Beton mit und ohne Fließmittel unterschieden. Aufgrund der im Vergleich der Deckschichten

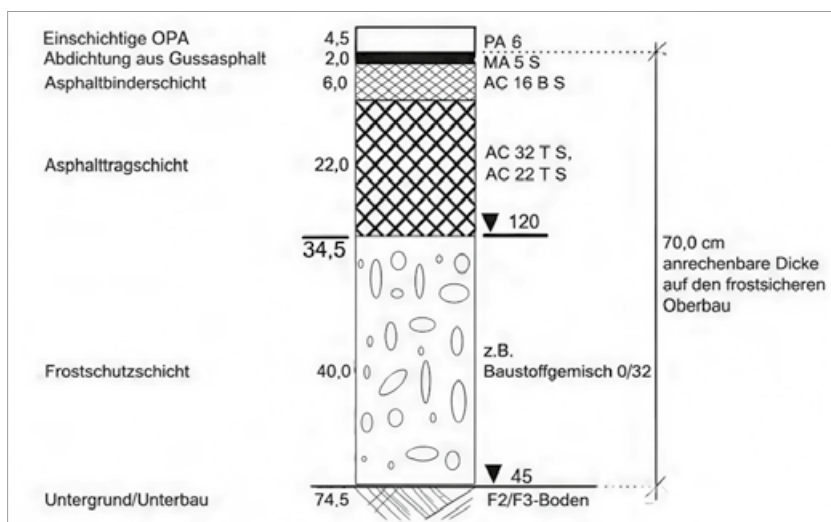


Abb. 4: Aufbau eines Fahrbahnaufbaus mit Offenporiger Asphaltdecke.

Quelle: Schäfer, Volker (2014): Das neue Merkblatt für Asphaltdeckschichten aus Offenporigem Asphalt (=Straße und Autobahn), Mönchengladbach, S. 784.

höheren Einbaudicke und der hohen Festigkeit des Materials weist die Betondecke auch eine hohe lastenverteilende Wirkung auf und kann neben der Aufgabe als Fahrbahndecke auch ganz oder zumindest teilweise die Funktion der Tragschicht übernehmen.⁵²

Die Ortbetondeckschicht ist ein starres Befestigungselement und weist quasi keinerlei plastische Verformbarkeit oder Relaxationsvermögen auf. Dadurch muss die Oberfläche der Fahrbahn mit Hilfe von Fugen zwischen Platten mit begrenzten Abmessungen aufgeteilt werden.⁵³

Bewertung

Die ERA2010 führt aus, dass Ortbetondecken aufgrund der notwendigen Fugen einen geringeren Fahrkomfort als maschinell hergestellte Asphaltdecken aufweisen und sie sich daher in der Regel eher für Außerortsbereiche eignen. Schäden an Betonradwegen zu beheben sei

aufwendiger als bei Asphaltoberflächen. Ihre erwartete Lebensdauer ist dagegen höher als bei wassergebundenen oder Asphaltbauweisen.⁵⁴

Die Erfahrungen mit Radverkehrsanlagen aus Beton aus den Pilotstrecken des LBV.SH sind bislang in Bezug auf ihre Langlebigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Baumwurzeleinwuchs positiv. An der Pilotstrecke L 119 sind nach fünf Jahren keine Schäden am Beton selbst sichtbar. Jedoch zeigte sich, dass die verwendeten Fugenmaterialien bei geringer Verkehrsbeanspruchung dazu neigen, zu vergrünen, da sie nicht wie bei befahrenen Fahrbahnen regelmäßig durch Reifenabrieb freigehalten werden. Dieser Bewuchs kann langfristig zu einer Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit der Fläche führen und verursacht einen erhöhten Unterhaltungsaufwand.

Die Herstellungskosten für Radwege in Betonbauweise sind grundsätzlich mit denen anderer Bauweisen vergleichbar, steigen jedoch abhängig vom Schichtaufbau und Komplexität der Örtlichkeit entsprechend an.

























52 Vgl. Beckendahl, Hartmut Johannes (2021): Straßenbau. In: Carsten Gertz (Hg.) Verkehrsplanung, Bau und Betrieb von Verkehrsanlagen. Technik, Organisation, Wirtschaftlichkeit. 3. Aufl. 2021. S. 113f.
53 Vgl. Ebd. S. 115.

54 Vgl. ERA (2010): S. 76.

Quelle: FGSV-Regelwerk Nr. 499, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012/Fassung 2024.

des Oberbaus von Verkehrslinien, Ausgabe 2017/Fassung 2024.

(Dickenangaben in cm; ∇ E_{y2}-Mindestwerte in MPa)

Zeile	Bauweisen	Asphalt		Beton		Pflaster (Plattenbelag)		ohne Bindemittel	
		30	40	30	40	30	40	30	40
Schotter- oder Kiestragschicht auf Schicht aus frostunempfindlichem Material									
1	Decke		10 ⁶⁾		12 ¹⁷⁾		8 ¹⁴⁾		4
	Schotter- oder Kiestragschicht		15		15		15		25
	Schicht aus frostunempfindlichem Material		Σ 25		Σ 27		Σ 27		Σ 29
	Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material ¹⁶⁾	-	15	-	13	-	13	-	11
ToB auf Planum									
2	Decke		10 ⁶⁾		12 ¹⁷⁾		8 ¹⁴⁾		4
	Schotter-, Kiestragschicht oder Frostschutzschicht		Σ 10		Σ 12		Σ 12		Σ 4
			45		45		45		45
	Dicke der Schotter-, Kiestragschicht oder Frostschutzschicht	20	30	18	28	18	28	26	36

6) Asphalttragdeckschicht oder Asphalttrag- und Asphaltdeckschicht, siehe auch Abschnitt 3.3.3
14) Auch geringere Dicke möglich
16) Aus 12 cm aus frostunempfindlichem Material, geringere Restdicke ist mit dem darüber liegenden Material auszugleichen
17) Bei einer 12 cm dicken Betondecke ist keine Verdübelung bzw. Verankerung möglich
20) Kann keine Belastung durch Fahrzeuge (Wartung und Unterhaltung) erfolgen, so ist auch E_{y2} ≥ 80 MPa möglich

Abb. 5: Aufbau eines Radwegs nach RStO (12/24) mit Betondecke.

Vorteile:

- Im Vergleich zu anderen Bauweisen längere Nutzungsdauer. Dies kann ggf. höhere Anfangsinvestitionen langfristig ausgleichen
- Geringerer Rollwiderstand, hohe Akzeptanz bei Nutzerinnen und Nutzer
- Geringer Unterhaltungsaufwand
- Helle Betonoberfläche heizt sich weniger schnell auf als Asphalt
- Fahrbahnmarkierungen möglich

Nachteile:

- Abhängig vom Schichtaufbau und Komplexität der Maßnahme höhere Materialkosten möglich
- Treten dennoch Wurzelschäden auf, können sie gravierender ausfallen als z. B. bei einer Asphaltdeckschicht (z. B. Risse, hochstehende Platten)
- Eine Sanierung ist in der Regel aufwendiger und kostenintensiver (Beton aufbrechen und erneuern)
- Fugenmaterial evtl. anfällig für Krauteinwuchs
- Spezielle Geräte (z. B. Gleitschalungsfertiger) und Fachwissen erforderlich
- Längere Aushärtungszeiten als andere Bauweisen (verzögerte Freigabe für Radverkehr)
- Begrenzter Wettbewerb in Ausschreibungen
- Durch Risse kann Feuchtigkeit eindringen; Frost-Tau-Wechsel können zu Betonbeschädigungen, wie Abplatzungen oder Schlaglöchern führen

12.4. Pflasterbauweise

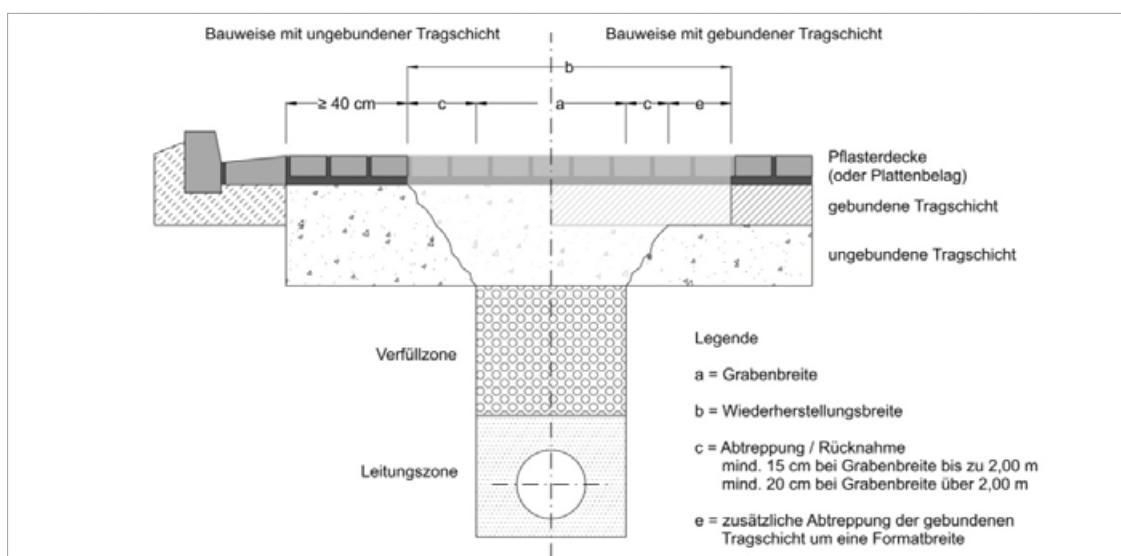
Der Oberbau besteht aus den Pflastersteinen, einer Pflasterbettung sowie der darunterliegenden Tragschicht. Die Fugen zwischen den Pflastersteinen werden mit geeigneten Materialien wie Fugensand oder Fugenmörtel verfüllt.

Es wird zwischen gebundener und ungebundener Pflasterbauweise unterschieden. In beiden Fällen ist die Tragschicht in wasserdurchlässiger Ausführung herzustellen, da auch die Pflasterdecke in der Regel eine anfängliche Wasserdurchlässigkeit aufweist. Die ungebundene Bauweise stellt derzeit den Regelfall dar. Demgegenüber stehen gebundene, wasserdurchlässige Tragschichten, die beispielsweise aus Dränbeton oder durchlässigem Asphalt bestehen.⁵⁵

Die ungebundene Pflasterbauweise wird in der RStO (12/24, Tafel 3) und in der ZTV Pflaster-StB⁵⁶ beschrieben.

⁵⁵ Vgl. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (Hg.) (2020): Leitfaden für die Planung, den Bau und die Prüfung von Pflasterdecken und Plattenbelägen in gebundener Bauweise. Berlin, S. 4.

⁵⁶ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2020): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Herstellung von Verkehrsflächen mit Pflasterdecken, Plattenbelägen sowie von Einfassungen. Köln.



Quelle: www.braun-steine.de.

Abb. 6: Aufbau Pflasterbauweise.

Die gebundene Pflasterbauweise wird in der ZTV Pflaster-StB und in der DIN 18318⁵⁷ nicht umfassend geregelt. Die RStO (12/24) sieht für Geh- und Radwege eine Bauweise gemäß der Abbildung 7 vor.

Bewertung

Im LBV.SH liegen zu dieser Bauweise kaum Erfahrungen vor. Im urbanen Raum ist dies eine häufig verwendete Bauweise, da sie die notwendigen gestalterischen und bautechnischen Vorteile bietet. Ohne vegetationstechnische Maßnahmen (Kapitel 14.2., Seite 51) ist jedoch mit Wurzelaufbrüchen zu rechnen und es können sich Kanten durch hochstehende Pflastersteine bilden.

Vorteile:

- Gestalterische Vielfalt und gute Einbindung in die Umgebung möglich, insbesondere im urbanen Raum


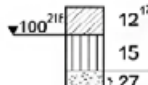
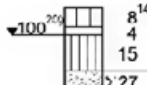
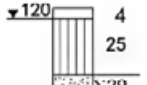
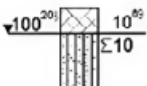
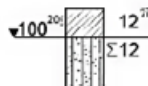
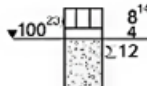
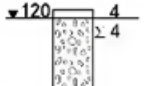
- Wiederverwendbarkeit der Pflastersteine bei entsprechender Aufbereitung
- Gewisse Wasserdurchlässigkeit vorhanden
- Einzelne schadhafte Steine lassen sich einfach, schnell und kostengünstig ohne Fräs- und Asphaltarbeiten austauschen
- Gut geeignet für kleinteilige Flächen

Nachteile:

- Bei mangelhafter Ausführung, Setzungen und Wurzeleinwuchs entstehen Unebenheiten und Höhenversätze
- Pflaster mit Fasse verursacht Vibrationen beim Radfahren
- Fugenauswaschung und Unkrautbewuchs möglich (entsprechend Nachverfugung und Instandhaltung erforderlich)
- Ungebundene Pflasterbauweise nicht für höhere Belastungsklassen geeignet.
- Hoher, kostenintensiver Herstellungsaufwand, vor allem bei aufwendigen Verlegemustern und/oder komplexen Anpassungen (z.B. spezielle Wegbreite; im Bereich von Einbauten wie Schachtabdeckungen)

57 DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2019): DIN 18318. VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Pflasterdecken und Plattenbeläge, Einfassungen. Berlin/Beuth.

Quelle: FGSV-Regelwerk Nr. 499, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012/Fassung 2024.

(Dickenangaben in cm; —▼— E ₀ -Mindestwerte in MPa)									
Zeile	Bauweisen	Asphalt		Beton		Pflaster (Plattenbelag)		ohne Bindemittel	
		30	40	30	40	30	40	30	40
Schotter- oder Kiestragschicht auf Schicht aus frostunempfindlichem Material									
1	Decke								
	Schotter- oder Kiestragschicht								
	Schicht aus frostunempfindlichem Material								
	Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material ¹²⁵	-	15	-	13	-	13	-	11
ToB auf Planum									
2	Decke								
	Schotter-, Kiestragschicht oder Frostschutzschicht								
	Dicke der Schotter-, Kiestragschicht oder Frostschutzschicht	20	30	18	28	18	28	26	36

6) Asphalttragdeckschicht oder Asphalttrag- und Asphaltdeckschicht, siehe auch Abschnitt 3.3.3

14) Auch geringere Dicke möglich

16) Aus 12 cm aus frostunempfindlichem Material, geringere Restdicke ist mit dem darüber liegenden Material auszugleichen

17) Bei einer 12 cm dicken Betondecke ist keine Verdübelung bzw. Verankerung möglich

20) Kann keine Belastung durch Fahrzeuge (Wartung und Unterhaltung) erfolgen, so ist auch E₀ ≥ 80 MPa möglich

Abb. 7: Aufbau eines Radwegs nach RStO (12/24) mit Pflasterdecke.

12.5. Wassergebundene Bauweise

Wassergebundene Wegedecken werden mit Schichten aus natürlicher Gesteinskörnung, die entweder ungebunden oder mit Bindemitteln gebunden sind, hergestellt. Die wassergebundene Bauweise wird häufig vor allem für landschaftlich sensible Bereiche aufgrund ihres günstigen Temperatur- und Feuchtigkeitsausgleiches sowie ihrer naturnahen Optik in Betracht gezogen. Sie bedarf gegenüber anderen Bauweisen eines höheren Unterhaltungsaufwands, da es ansonsten zu Einmischungen von Fremdmaterial, Einwachsen von Gräsern und Kräutern, Entmischung von Fein- und Grobkorn-Fractionen, Erosion durch Oberflächenwasser sowie zu einem Ausblasen der Feinmaterial-Fractionen kommen kann. Die Wartungsintervalle sind entsprechend abhängig vom Standort und der Nutzungsfrequenz des Radwegs anzupassen und ggf. zu erhöhen.

Die Herstellungskosten bleiben nur bei der 1-lagigen Bauweise deutlich unter den Kosten anderer Bauweisen (z. B. Asphaltbauweise nach RStO (12/24)). Aus den Erfahrungen des LBV.SH zeigt sich aber, dass ausschließlich der 3-schichtige Aufbau mit (natürlichem) Bindemittel und Körnungsgröße 0/5-0/8 mm in der Deckschicht dauerhaft ist.

Bei Einbau und Pflege der wassergebundenen Bauweise gilt es einige generelle sowie produktspezifische Aspekte zu beachten. Generell sollte hier den Empfehlungen der FLL aus dem „Fachbericht zu Planung, Bau und Instandhaltung von Wassergebundenen Wegen 2007“⁵⁸ gefolgt werden:

Um beim Einbau die Endfestigkeit des Produkts zu erhalten, muss dieses eine dreimalige Bewetterung (Wechsel zwischen nass und trocken) durchlaufen. Der Einbau selbst darf nur bei ausreichender Erdfeuchte erfolgen. Dieser Faktor ist ggf. durch entsprechende Bewässerung zu erzeugen, damit während dieser Phase keine Austrocknung erfolgt. Dieser Mehraufwand ist im Hinblick auf Kosten und Zeitfaktor mit zu berücksichtigen. Des Weiteren dürfen keine Borde gesetzt werden, da sich dort Stauwasser bilden würde und in der Folge mit einem erhöhten Pflanzenbewuchs (bspw. Moos) zu rechnen ist.⁵⁹

58 Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) (2007): *Fachbericht zu Planung, Bau und Instandhaltung von wassergebundenen Wegen*. Bonn.

59 Vgl. Ebd., S. 42.

Tab. 2: 3-, 2- und 1-Schichtbauweise

Quelle: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (2007).

Bauweise	3-Schichtbauweise	2-Schichtbauweise	1-Schichtbauweise
Schichten/ übliche Körnungen			
Zu den Mindeststärken des gesamten Oberbaues siehe Abschnitt 4 sowie RStO.	<p>E_{v2} [MN/m²]</p>	<p>E_{v2} [MN/m²]</p>	<p>E_{v2} [MN/m²]</p>
Deckschicht (DS)	0/3 0/5 0/8 0/11 mm	0/8 0/11 0/16 mm	Abstreuerung (Schaufelwurf) mit Sand-/Kies und Splittkörnungen, z. B. 0/4 2/5 2/8 4/8 5/11 8/16 mm
Dynamische Schicht (DYS)	0/11 0/16 0/22 mm	entfällt	entfällt
Tragschicht (TS)	0/22 0/32 0/45 mm	0/22 0/32 0/45 mm	0/22 0/32 0/45 mm

Abb. 8: Schematischer Aufbau von wassergebundenen Wegedecken.

Die ERA2010 rät von einer Verwendung der wasser- gebundenen Bauweise ab erforderlichen Längsneigung von etwa 5 % (Erosion) ab.⁶⁰ Die FLL rät dazu, die abflusswirksame Neigung (Resultierende aus Längs- und Quergefälle) von 1 % (Gefahr von Staunässe) nicht zu unterschreiten und maximal 6 % (Erosion) einzuhalten. Die FLL empfiehlt als Regelfall eine abflusswirksame Neigung von 2,5 %. Die Fließlänge und abflusswirksame Neigung sind gemäß FLL aufeinander abzustimmen.⁶¹

Bewertung

Es kommt zwar selten zu neuen Wurzelaufbrüchen, jedoch gilt es Hinsichtlich des Einbaus und der Pflege der wasser- gebundenen Bauweise einige Aspekte zu beachten. Zudem empfinden Radfahrende die Oberfläche als weniger angenehm, da diese einen mehr als doppelt so hohen Rollwiderstand wie Asphalt- oder Betondecken aufweist.⁶²

Vorteile

- Durch ungebundene Struktur bei ggf. neuem Wurzelwachstum keine Aufbrüche
- Gut an örtliche Geometrien anpassbar
- Bleibt bei regelmäßiger, korrekter Pflege und üblicher Frequentierung wasserdurchlässig
- Baumaterial besteht aus Naturmaterialien
- Keine Gefahr durch Glatteis/Blitzeis
- Naturnahe Gestaltung
- Heizt sich im Sommer nicht so stark auf

Nachteile

- Durch Setzungen und Abtrag entstehen Kanten zu anderen Bauweisen (Belag-/Deckschichtwechsel)
- In offener Dammlage Winderosion der Feianteile
- Erhöhter Unterhaltungsaufwand mit speziellem Planierhobel oder Heißwasserdampf notwendig
- Weiche Oberfläche in Tau- und längerer Feuchtphase
- Nicht für Senken-Lagen, größere Gefälle oder Staunässe geeignet
- Geringere Nutzer-Akzeptanz durch erhöhten Fahrwiderstand und geringem Fahrkomfort
- Winterdienst nur eingeschränkt möglich
- Beim Bau sind spezifische Wetterverhältnisse mit Nass- und Trockenphasen notwendig

13. Bewertung der Bauweisen aus der Sicht betroffener Akteure

Jede Bauweise weist spezifische Stärken und Schwächen auf, sodass eine pauschale Empfehlung für oder gegen ihren Einsatz nicht möglich ist. Die Wahl der Bauweise und Deckschicht bei einer Instandsetzung sollte nach sorgfältiger Grundlagenermittlung und Abwägung im Einzelfall erfolgen, unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten sowie der geplanten Nutzung und Interessen der beteiligten Akteursgruppen.

Die Radverkehrsinfrastruktur sollte aus Sicht der Straßenbaulastträger verkehrssicher und wirtschaftlich zu unterhalten sein. Gemäß Bundesfernstraßengesetz sowie Straßen- und Wegegesetz des Landes Schleswig-Holstein sind auch Radwege von den „Trägern der Straßenbaulast nach ihrer Leistungsfähigkeit [...] in einem dem regelmäßigen Verkehrsbedürfnis genügenden Zustand zu bauen, zu unterhalten, zu erweitern oder sonst zu verbessern; dabei sind die sonstigen öffentlichen Belange einschließlich des Umweltschutzes sowie die Belange der Menschen mit Behinderungen und der Menschen mit Mobilitätsbeeinträchtigungen mit dem Ziel, möglichst weitreichende Barrierefreiheit zu erreichen, zu berücksichtigen.“⁶³

Für Radfahrende sind Sicherheit und Komfort beim Befahren die wichtigsten Qualitätsmerkmale eines Radwegs. Um den Fahrkomfort möglichst hoch zu bewerten, ist zudem ein möglichst geringer Rollwiderstand notwendig. Hierfür sollte der Radweg eine dauerhafte, durchgängig ebene, feste Oberfläche aufweisen und gereinigt sein.

Naturschutzverbände kritisieren die zunehmende Flächenversiegelung und sprechen sich verstärkt für alternative, wasserdurchlässige Beläge aus, um den ökologischen Auswirkungen klassischer Bauweisen entgegenzuwirken.

Die eingangs bereits erwähnte Arbeitsgruppe „Wurzelaufbrüche“ mit Vertreterinnen und Vertretern aus

⁶⁰ Vgl. ERA (2010), S. 77.

⁶¹ Vgl. FLL (2007), S. 18.

⁶² Vgl. ERA (2010), S. 76.

⁶³ Bundesfernstraßengesetz (FStrG), § 3 Straßenbaulast.

verschiedenen Fachressorts und Interessengruppen, beschäftigt sich bereits seit 2022 mit den verschiedenen Anforderungen an die Instandsetzung von Radwegen mit Wurzelaufbruchsschäden. Entsprechend wurde in dieser AG eine Tabelle (siehe Seite 32) erarbeitet, die explizit diese Aspekte wiedergibt.⁶⁴

Aus Sicht der Radfahrenden liegt die Priorität vor allem auf dem Fahrkomfort und dem Sicherheitsgefühl. Um die Deckschichten dahingehend objektiv einzuordnen, wurde eine Befragung der Anwohnenden an vier der insgesamt acht Pilotstrecken durchgeführt, deren Ergebnisse in die folgende Tabelle (siehe Seite 32) eingeflossen sind.

Die Naturschutzverbände legen den Fokus auf die Gesundheit der anliegenden Bäume sowie die Auswirkungen der Beläge auf die bestehende Fauna. Die Kriterien der Naturschutzverbände wurden daher anhand von wissenschaftlichen Quellen und Studien ebenfalls ergänzt und in die Tabelle integriert.

Die Tabelle dient als Hilfestellung bei der Gesamtbeurteilung der verschiedenen Instandsetzungsmaßnahmen und stellt neben den Anforderungen für die Bau- lastträger auch die Interessen der Nutzenden und der Akteursgruppen des Natur- und Umweltschutzes dar.

Ausführlichere Hintergründe zu den einzelnen Kriterien und den Bewertungsmaßstäben der Tabelle finden sich in den nachfolgenden Kapiteln.

13.1. Bewertung der Bauweisen hinsichtlich des Naturschutzes

Die Bewertung der naturschutzfachlichen Kriterien erfolgte auf Basis einer Literaturrecherche, bei der, aktuell verfügbare, wissenschaftliche Studien berücksichtigt wurden (siehe Kapitel 18). Es lagen keine eigenen belastbaren Quellen oder empirischen Nachweise der Teilnehmenden der „AG Wurzelaufbrüche“ vor, sodass diese nicht in die Bewertung eingeflossen sind.

⁶⁴ Vereinbarung zum Umgang mit Wurzelaufbrüchen in Radwegen (2022), S. 9ff.

Insbesondere das Kriterium der Versickerungsfähigkeit von Niederschlagswasser durch den Oberbau stellte sich im Rahmen der Recherche als unzureichend erforscht dar. Entsprechend konnte dieses Kriterium nur eingeschränkt wissenschaftlich fundiert dargestellt werden.

13.1.1. Temperaturanstieg bei Sonneneinstrahlung

Bei der Versiegelung von Flächen im Radwegebau beeinflusst die Sonneneinstrahlung die Temperaturentwicklung der verwendeten Materialien und heizt das Oberflächenmaterial sowie die Umgebung insbesondere bei dunklen Oberflächen teilweise stark auf. Dieser Themenbereich ist aus dem urbanen Raum bekannt, wo die negativen Auswirkungen sowohl auf die Umwelt als auch auf die menschliche Gesundheit unter dem Begriff der „Urban Heat Islands“ (städtische Wärmeinseln) zusammengefasst werden. Diese Effekte sind nicht nur spürbar, sondern auch wissenschaftlich dokumentiert.⁶⁵

Eine zentrale Rolle bei der thermischen Aufheizung von Oberflächen spielt deren Rückstrahlvermögen, insbesondere in Bezug auf kurzwellige solare Einstrahlung. Maßgeblich hierfür ist die sogenannte Albedo, ein dimensionsloser Kennwert zwischen 0 (keine Reflexion, vollständige Absorption, z. B. schwarze Flächen) und 1 (vollständige Reflexion, weiße Fläche). Die Albedo hängt wesentlich von der Farbe, der Materialzusammensetzung und der Oberflächenstruktur ab. Je niedriger die Albedo, desto stärker heizt sich die Fläche auf.

Unterschiedliche Materialien weisen dabei charakteristische Albedo-Werte auf:

- Asphaltflächen besitzen eine niedrige Albedo von etwa 0,05 bis 0,25
- Betonflächen reflektieren mit 0,10 bis 0,40 etwas mehr Sonnenlicht
- Ungebundene, helle Deckschichten erreichen Albedo-Werte von 0,20 bis 0,60
- Eisflächen erreichen ca. 0,70, frischer Schnee sogar bis zu 0,90
- Zum Vergleich: Die mittlere Albedo der Erdoberfläche liegt bei ca. 0,30.⁶⁶

⁶⁵ Vgl. <https://www.klimafakten.de/klimawissen/fakt-ist/fakt-ist-der-einfluss-von-staedten-auf-temperaturdaten-wird-oft-ueberschaetzt> (Stand: 06.08.2025).

Darüber hinaus unterliegt die Albedo tageszeitlichen und saisonalen Schwankungen, da sie sich mit dem Sonnenstand, dem Alter der Oberfläche sowie der Oberflächenverschmutzung verändert. Internationale Studien belegen, dass eine Erhöhung der Albedo um 0,1 die maximale Oberflächentemperatur um mehr als 3 Kelvin reduzieren kann, eine Erkenntnis, die auch für Verkehrsflächen von Relevanz ist.⁶⁷

Die thermischen Eigenschaften von asphaltierten Verkehrsflächen können direkte Auswirkungen auf die Tierwelt haben. In einer Literaturstudie von Irene Glitzner⁶⁸ zu anlage- und betriebsbedingten Auswirkungen von Straßen auf Tiere stellt sie fest, dass sich Asphaltdecken im Sommer stärker aufheizen, als die umgebende Landschaft und deutlich langsamer abkühlen.⁶⁹ Infolge dieser Eigenschaft halten sich Insekten länger im Bereich der Straße auf, was wiederum Prädatoren (z. B. Vögel oder Kleinsäuger) anlockt und die Gefahr erhöht, von einem Fahrrad erfasst zu werden.⁷⁰ Auch Reptilien nutzen die sich schnell erwärmenden Flächen nach kühlen Nächten gezielt zur Wärmeregulation. Gleichzeitig stellen aufgeheizte Fahrbahndecken für viele andere Arten eine thermische Barriere dar, die aufgrund von Austrocknungs- oder Erschöpfungsfahrer nicht mehr überquert werden kann.⁷¹

Die Studie macht jedoch keine konkreten Aussagen zu Flächenbreiten, ab denen diese Effekte signifikant auftreten. Eine direkte Übertragbarkeit auf Radwege muss daher im jeweiligen Einzelfall geprüft werden. Für den konkreten Anwendungsfall des Radwegebaus liegen derzeit keine belastbaren Studien zu den temperaturbedingten Auswirkungen auf Flora und Fauna vor. Die tatsächlichen Auswirkungen von stark erwärmten Beton- oder Asphaltbelägen auf das Ökosystem können daher bislang nur als Annahmen gewertet werden.

Im Hinblick auf die thermische Belastung im Bereich versiegelter Verkehrsflächen sollten temperaturneutralisierende Maßnahmen geprüft werden. Dazu zählen insbesondere die Teilentsiegelung, die Begrünung angrenzender Flächen sowie die Verwendung heller, wärmereflektierender Beläge. Solche Maßnahmen können zur Abmilderung lokaler Hitzebelastungen beitragen und gleichzeitig das Mikroklima stabilisieren.

Eine Untersuchung der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)⁷² zeigt, dass durch den gezielten Materialeinsatz eine spürbare Temperaturreduzierung im gebundenen Oberbau erreichbar ist. Dabei kamen u. a. helle, wärmeleitende Asphaltdeckschichten auf Quarzitbasis mit pigmentierten Bindemitteln in Kombination mit Asphaltbinder- und Asphalttragschichten aus Elektroofenschlacke (EOS) zum Einsatz. Die Variante mit wärmeleitfähiger Deckschicht in Verbindung mit wärmedämmender EOS in den unteren Schichten führte im Vergleich verschiedener Varianten zu den geringsten Temperaturen an der Unterseite des gebundenen Oberbaus.⁷³ Auch Varianten mit heller Gesteinskörnung und höherer Wärmeleitfähigkeit trugen signifikant zur Senkung der Oberflächentemperatur bei.⁷⁴

66 Vgl. ebd., S. 2.

67 Vgl. Forschungsgesellschaft (FGSV) (2023): Arnd Bartholomäus: Aufgehellte Deckschichten: Verbesserung des städtischen Mikroklimas? Teil 2. In: Kolloquium Kommunales Verkehrswesen 2023 (FGSV 002/136). Köln, S. 2.

68 Glitzner, Irene, et al. (1999): Literaturstudie zu anlage- und betriebsbedingten Auswirkungen von Straßen auf die Tierwelt. Endbericht. Graz.

69 Vgl. Ebd., S. 5f.

70 Vgl. Reimoser, F. (2005): Freizeitaktivitäten und Wildtiere: Folgen für den Wald. In: Ingold, P., (Hg.), Freizeitaktivitäten im Lebensraum der Alpentiere. Bern, S. 311-321.

71 Vgl. ebd. S. 5f.

72 Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) (2021): Asphaltroterbau und extreme Temperaturen. Straßenbau, Heft S. 156. Bergisch Gladbach.

73 Vgl. ebd. S.65.

74 Vgl. ebd. S.64.

Asphaltbauweise

Straßenbaulastträger		Naturschutz		Radfahrende	
Wirtschaftlichkeit	++	Aufheizen bei Sonneneinstrahlung	--	Allgemeiner Fahrkomfort	++
Nutzungsdauer	+	Versickerung des Niederschlagswassers durch den Oberbau	-	Fahrkomfort unter witterungsbedingten Einflüssen	++
Unterhaltungsaufwand (Reinigung und Winterdienst)	++	Barrierewirkung für bodengebundene Tierarten	0	Auswirkungen bei Belagswechsel	0
Anforderungen an den Einbau	+	Umweltbelastungen durch Materialien	0	Verkehrssicherheit	++
gesamt	++	gesamt	-	gesamt	++

Betonbauweise

Straßenbaulastträger		Naturschutz		Radfahrende	
Wirtschaftlichkeit	-	Aufheizen bei Sonneneinstrahlung	-	Allgemeiner Fahrkomfort	+
Nutzungsdauer	++	Versickerung des Niederschlagswassers durch den Oberbau	-	Fahrkomfort unter witterungsbedingten Einflüssen	+
Unterhaltungsaufwand (Reinigung und Winterdienst)	++	Barrierewirkung für bodengebundene Tierarten	0	Auswirkungen bei Belagswechsel	0
Anforderungen an den Einbau	0	Umweltbelastungen durch Materialien	-	Verkehrssicherheit	++
gesamt	+	gesamt	-	gesamt	+

Pflasterbauweise

Straßenbaulastträger		Naturschutz		Radfahrende	
Wirtschaftlichkeit	0	Aufheizen bei Sonneneinstrahlung	-	Allgemeiner Fahrkomfort	0
Nutzungsdauer	+	Versickerung des Niederschlagswassers durch den Oberbau	0	Fahrkomfort unter witterungsbedingten Einflüssen	0
Unterhaltungsaufwand (Reinigung und Winterdienst)	0	Barrierewirkung für bodengebundene Tierarten	0	Auswirkungen bei Belagswechsel	0
Anforderungen an den Einbau	0	Umweltbelastungen durch Materialien	-	Verkehrssicherheit	0
gesamt	0	gesamt	-	gesamt	0

Wassergebundene Bauweise

Straßenbaulastträger		Naturschutz		Radfahrende	
Wirtschaftlichkeit	0	Aufheizen bei Sonneneinstrahlung	+	Allgemeiner Fahrkomfort	-
Nutzungsdauer	0	Versickerung des Niederschlagswassers durch den Oberbau	-	Fahrkomfort unter witterungsbedingten Einflüssen	--
Unterhaltungsaufwand (Reinigung und Winterdienst)	--	Barrierewirkung für bodengebundene Tierarten	0	Auswirkungen bei Belagswechsel	--
Anforderungen an den Einbau	-	Umweltbelastungen durch Materialien	+	Verkehrssicherheit	-
gesamt	-	gesamt	0	gesamt	--

13.1.2. Barrierewirkung für bodengebundene Tierarten

Eine Barrierewirkung für bodengebundene Tierarten durch asphaltierte oder betonierte Deckschichten von Radwegen konnte durch Studien bislang noch nicht nachgewiesen werden. Bisherige Untersuchungen beziehen sich vor allem auf den Bau von Straßen (vor allem Autobahnen) und deren Wirkung auf verschiedene Arten wie vor allem Rotwild oder kleinere Säugetiere (wie die Haselmaus) Reptilien und Amphibien aber auch auf verschiedene Käferarten (brachypterer Laufkäfer).⁷⁵ Bei diesen Untersuchungen ergibt sich die Barrierewirkung für die untersuchten Arten nicht durch die Auswahl der Deckschichten, sondern durch die generelle Zerschneidung des Habitats. Ausschlaggebend für die Mortalitätsrate ist jedoch die Kollision mit dem (überwiegend motorisierten) Verkehr. Durch die vorwiegend bei Dämmerung und Nacht stattfindenden Überquerungen (vor allem bei den untersuchten Laufkäfern) steigt die Wahrscheinlichkeit einer gelungenen Überquerung bei abnehmendem Verkehrsaufkommen. Für Kleintiere und Insekten, wie beispielsweise Laufkäfer, stellen weder geschotterte noch asphaltierte Wege ein geeignetes Habitat dar.⁷⁶ Um sich zwischen Habitatfragmenten zu bewegen, müssen Wege von ihnen überquert werden.

Die Geschwindigkeit, in der ein Weg überquert werden kann, hängt maßgeblich von der mechanischen Behinderung der Tiere ab.⁷⁷ Asphaltierte Wege stellen demnach einen Vorteil gegenüber wassergebundenen Decken dar, da hier eine schnellere Überquerung möglich ist.

„Besonders für (noch) verbreitete Arten sollte ihre Durchlässigkeit über weite Strecken weiterhin gewährleistet werden. Hingegen ist eine erfolgreiche Querung bei seltenen und gefährdeten Arten mit individuenschwachen Beständen höchst unwahrscheinlich. Für diese sind populationsstützende und habitatverbessernde Maßnahmen sowie die Anbindung an Querungshilfen nötig.“⁷⁸

Auch für Fledermäuse kann es zu einer Einflussnahme auf das Habitatverhalten kommen, wenn neue Straßen oder Radwege gebaut werden. Rückschlüsse auf die Radwege können insofern daraus gezogen werden, dass bei der Neuanlage von Radwegen eine Zerschneidung bestehender Habitate im Sinne der „Richtlinie zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen“⁷⁹ berücksichtigt und entsprechend abgewogen werden sollten. Die verwendete Deckschicht ist in diesem Falle eher sekundär, da der Einfluss auf die Lebewesen durch die Zerschneidung als solche stattfindet.

75 Vgl. bspw. Reck, Heinrich/ Nissen, Henning (2014): *Laufkäfer auf der Autobahn, Die Laufkäferfauna (Carabidae) eines Autobahnmittelstreifens und einer benachbarten Grünbrücke. In Faunistisch-Ökologische Mitteilungen, Band 9, S. 371-384;* Holzgang, Otto et al. (2000): *Wildtiere und Verkehr, eine kommentierte Bibliographie. Schweizerische Vogelwarte (Hg.), Sempach; Bayrische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) (1999): Zerschneidung als ökologischer Faktor. (=Laufener Seminarbeiträge 2/00). Tittmoning; Koch, Sandra (2009): Landschaftszerschneidung und die Wiederausbreitung von Wildtieren. Grüne Infrastruktur, Barrierewirkungen, Lösungsansätze. Diplomarbeit Universität Kassel.*

76 *Spektrum Kompaktlexikon der Biologie (ohne Jahr): Carabidae. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/carabidae/2101> (Stand: 06.08.2025).*

77 Heydemann, B. (1957): *Die Biotopstruktur als Raumwiderstand und Raumfülle für die Tierwelt. In: Verhandlungen der deutschen. Zoologischen Gesellschaft Hamburg 50: 332-347.*

78 <https://orlis.difu.de/handle/difu/219798> (Stand: 09.07.2025).

79 *Richtlinie 92/43/EWG des Rates, vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. (=Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 206/7).*

13.1.3. Versickerung des Niederschlagswassers durch den Oberbau

Die Versiegelung des Bodens bzw. die Fähigkeit von Belägen zur Regenwasserversickerung ist ein wiederkehrendes Thema im Kontext des Radwegebaues. Die wassergebundene Bauweise wird in diesem Zusammenhang häufig als eine Ausführungsform betrachtet, die ohne vollständige Bodenversiegelung auskommt.

Diese Aussage ist jedoch kritisch zu hinterfragen. Ein Gutachten von 2008 aus Mecklenburg-Vorpommern hatte zum Ziel, die bislang angenommenen negativen Auswirkungen des Radwegebaus auf Bodenverdichtung und Wasserhaushalt wissenschaftlich zu überprüfen. Sie kam zu dem Ergebnis:

„Der Vergleich des Einflusses der gebundenen (Asphalt, Beton und nach den vorliegenden Ergebnissen auch die Pflasterdecke) und ungebundenen Befestigungen auf den natürlichen Wasserhaushalt bestätigt nicht die üblichen Annahmen, dass die ungebundene Decke ein Beispiel für ökologisches Bauen ist. Bei den ungebundenen Radwegekonstruktionen wird allgemein die Verdichtungswirkung von Fahrrädern unterschätzt. Es erfolgt durch die ständige Benutzung eine enorme Oberflächenverdichtung. Die ungebundene Bauweise ermöglicht eine Nachverdichtung durch die Walkkräfte des Gummiradverkehrs, so dass sich ein Verdichtungshorizont ausbildet, der wasserundurchlässig ist. Daraus resultiert eine ungleiche Wasserverteilung unter der Radwegekonstruktion. Die Verdichtungswirkung von Fahrrädern ist in ländlichen Regionen zu beobachten, unter dem Fahrrad werden Böden >103 % Proctordichte verdichtet.“⁸⁰

Nicht in diese Bewertung eingeflossen ist der Pflegezustand der Wegedecken.

Dem gegenüber stehen die Herstellerangaben, die wassergebundene Wegedecke weise eine ähnliche Versickerungsfähigkeit wie natürlich anstehende Bodenschichten auf, insofern sie nach Herstellerangaben eingebaut sowie regelmäßig unterhalten wird. Dies gilt jedoch nur, solange die Nutzungsfrequenz und entsprechend die Verdichtung gering bleiben.

Es liegen bislang keine aktuellen, herstellerunabhängigen Studien dazu vor, wie sich der Wasserhaushalt unterhalb der wassergebundenen Wegedecke darstellt, sofern sie entsprechend unterhalten wird. Eine vom Asphaltlabor im Auftrag von HanseGrand Bau Nord Anfang 2025 gemeinsam durchgeführte Untersuchung hat gute Versickerungsergebnisse ergeben.

Es gibt noch weitere Deckschichten, die als wasserdurchlässig deklariert werden, darunter auch wasserdurchlässige Pflastersteine, über deren Durchlässigkeit das Land NRW eine Untersuchung anfertigen ließ: Von den 23 untersuchten Entsiegelungsmaßnahmen wurden nach 4 bis 7 Jahren Liegezeit noch 21 Objekte als ausreichend (90 %) wasserdurchlässig bewertet. Maßgeblicher Faktor dafür sei die Verschmutzung des Belages. Dieser wird überwiegend durch Lage und Art der Nutzung der Fläche, weniger jedoch durch das Alter beeinflusst. So waren Bereiche der untersuchten Beläge, die überwiegend im Schatten bzw. unterhalb von Vegetationen liegen, oft vermoost und mit Feinpartikeln zugesetzt. Dagegen wiesen andere Bereiche derselben Beläge meist keine augenscheinlichen Verschmutzungen auf und lieferten i.d.R. höhere Versickerungsraten. Ebenfalls wiesen Bereiche, in die nutzungsbedingt Feinpartikel eingetragen wurden (z. B. Fahrspuren im Übergangsbereich zu Schotterfläche), z. T. deutlich geringere Infiltrationsraten als saubere Bereiche auf.⁸¹

80 RAP STra Prüfstelle – Adler Baustoff- und Umweltlabor GmbH (2009): Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen, Schwerin, S. 7.

81 IKT, Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen (2005): Abschlussbericht zum Forschungsprojekt „Prüfung wasserdurchlässiger Flächenbeläge nach mehrjähriger Betriebsdauer“, S. 76.

13.2. Bewertung der Bauweisen hinsichtlich der Akzeptanz durch die Radfahrenden

Die in der eingangs erwähnten AG „Wurzelaufbrüche“ mitwirkenden Vertreterinnen und Vertreter der Radverkehrsinteressen benannten Fahrkomfort und Verkehrssicherheit als zentrale Bewertungskriterien für die Eigenschaften von Radwegdeckschichten. Um den Radverkehr als attraktive Alternative zum motorisierten Individualverkehr (MIV) zu etablieren, ist die Qualität der Radverkehrsinfrastruktur entscheidend. Insbesondere ist eine durchgehend ebene, tragfähige und saubere Oberfläche notwendig, die es Radfahrenden ermöglicht, ihre Strecke mit geringem Rollwiderstand, ohne übermäßigen Energieaufwand und mit hoher Reisegeschwindigkeit zurückzulegen.

Sicherheit und Komfort sind jedoch Größen, die sich nur schwer messen lassen. Zum Fahrkomfort gibt es einige Ansätze, diesen zu quantifizieren. Das Thema Sicherheit wird häufig versucht über erfasste Unfallzahlen darzustellen, wodurch das subjektive Sicherheitsempfinden des Individuums jedoch nicht wiedergegeben werden kann. Um diese subjektiven Wahrnehmungen zu evaluieren, wurde im Rahmen dieses Projekts eine Befragung der Anwohnenden entlang ausgewählter Pilotstrecken des LBV.SH durchgeführt. Ziel war es, die nutzerbezogene Einschätzungen hinsichtlich der Eigenschaften unterschiedlicher Deckschichtvarianten zu erfassen.

Die Befragung richtete sich an Anwohnende folgender vier Pilotstrecken:

- L 259: wassergebundene Decke mit Betonrecycling
- L 119: Ortbetondecke
- L 308: Asphaltdeckschicht mit HGT-Unterbau
- Gutenbergstraße, Kiel: Pflasterbelag mit unterliegenden Wurzelbrücken aus Stahl

Die Auswahl der Pilotstrecken erfolgte unter Berücksichtigung des Fertigstellungsdatums sowie der jeweils eingesetzten Deckschichttypen, um eine möglichst breite Varianz an Belagsarten abzubilden. Da sich im Zuständigkeitsbereich des LBV.SH zum Erhebungszeitpunkt kein gepflasterter Radweg befand, wurde in Abstimmung mit der Landeshauptstadt Kiel ein Abschnitt der Gutenbergstraße in die Untersuchung einbezogen. Dieser Abschnitt

wurde im Rahmen eines vegetationstechnischen Maßnahmenpakets mit stählernen Wurzelbrücken ausgestattet und anschließend mit einer Pflasterdeckschicht versehen.

Bei der allgemeinen Bewertung wurde von einem baulichen Idealzustand der Oberfläche ausgegangen, also etwa einer wassergebundenen Decke mit feiner Körnung, ohne seitlichen Bewuchs, Verschmutzungen oder sonstigen Schäden. Um die Oberflächen zu visualisieren, wurde mit Abbildungen gearbeitet (Abbildung 9) gezeigt.

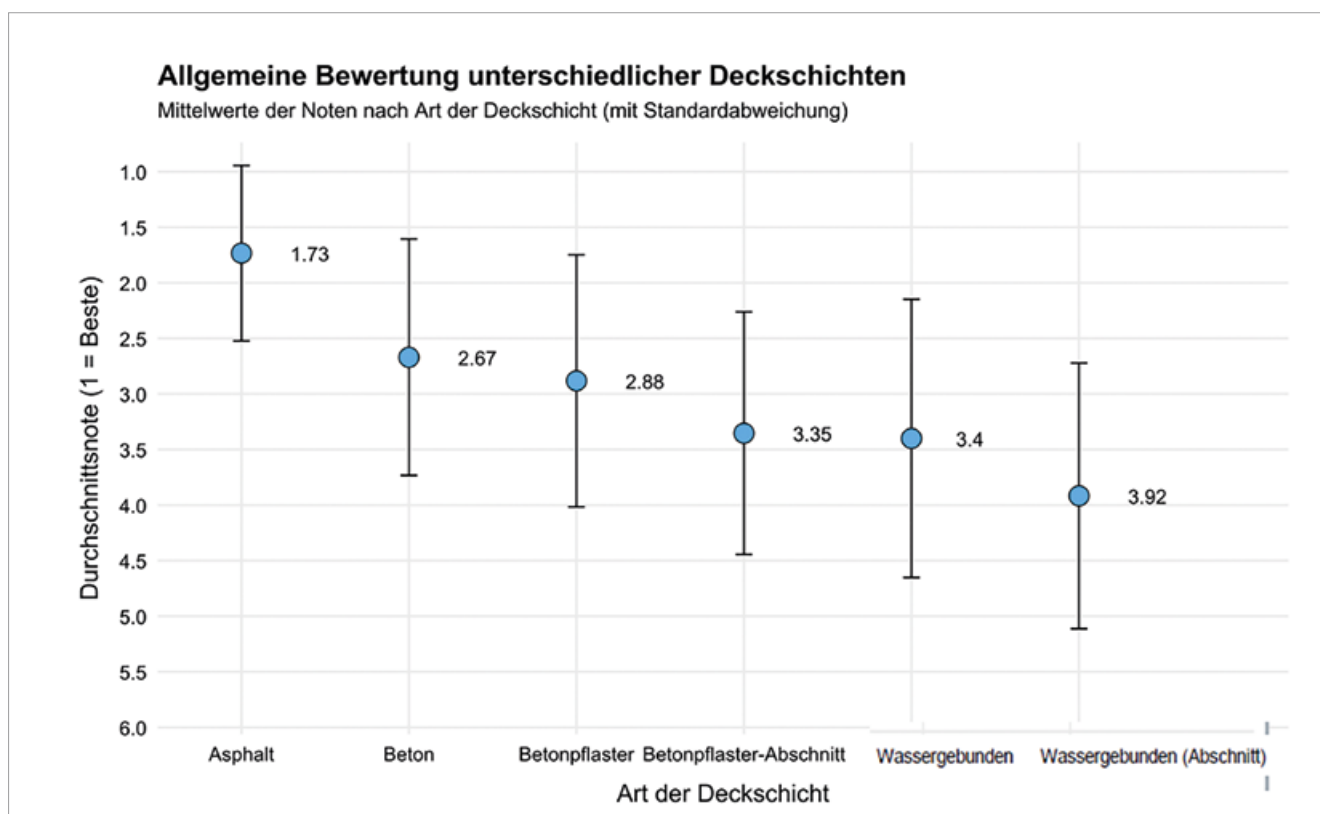
Aus dem Gesamtbestand der Anwohnenden entlang dieser Strecken wurde eine zufällige Stichprobe von 6.200 Personen gezogen und postalisch zur Teilnahme an einer Online-Befragung eingeladen. Diese Bruttostichprobe ergibt sich aus einer Power-Analyse zur Berechnung der notwendigen Stichprobengröße für die im Rahmen der Befragung angestrebten Schätzungen. Sie basiert auf der Annahme, dass eine Ausschöpfungsquote zwischen 10 und 15 % erreicht werden kann. Insgesamt nahmen 791 Personen an der Online-Befragung teil. 630 Fälle konnten für die Analyse vollständig verwendet werden. Daraus ergibt sich eine Ausschöpfungsquote von 10,16 %.

Die relativ geringe Ausschöpfungsquote birgt die Gefahr einer systematischen Verzerrung der Ergebnisse. Es ist daher wichtig, dass die Teilnahme an der Befragung nicht mit einer der erhobenen Zielgrößen (wie der Bewertung der Pilotstrecken) oder mit der Zielgröße korrelierenden



Quelle: Biedermann.

Abb. 9: Abbildung aus dem Fragebogen, der den Umfrageteilnehmerinnen und Umfrageteilnehmer gezeigt wurde, um den Begriff „Wassergebundene Deckschichten“ einordnen zu können.



Quelle: Biedermann.

Abb. 10: Allgemeine Bewertung unterschiedlicher Deckschichten.

Drittvariablen⁸² zusammenhängt. Bereits in der Entwicklung der Befragung wurde mit einer Ausschöpfungsquote in der letztendlichen Größenordnung geplant. Es wurden deshalb Variablen gemessen, bei denen davon ausgegangen wurde, dass sie mit den Zielgrößen statistisch zusammenhängen. Auf diese Weise konnten mögliche Selektionseffekte, welche die Schätzung verzerren, durch ein Gewichtungsverfahren ausgeglichen werden.

Inhaltlich gliedert sich der Fragebogen in drei thematische Bereiche: (1) allgemeines Mobilitätsverhalten, (2) generelle Präferenzen hinsichtlich Radwegdeckschichten sowie (3) konkrete Bewertungen der jeweils benachbarten Pilotstrecke. Im Fokus stehen insbesondere verschiedene Dimensionen von Fahrkomfort (z. B. Oberflächen-einheit, Vibrationsverhalten, Abrollverhalten) sowie die subjektiv empfundene Sicherheit im Fahrbetrieb.

Eine zentrale Erkenntnis der Auswertung ist, dass die Befragten bei den verschiedenen Belagsarten eine klare Präferenz äußern. Die einzelnen Bewertungskriterien (Optik, Komfort oder Sicherheit) der Fragebogenitems zu generellen Präferenzen korrelieren stark miteinander. Die Antworten auf die generellen Präferenzen spiegeln daher eine übergreifende Gesamtwahrnehmung wider statt differenzierter Einzelurteile zu einzelnen Kriterien. Aus statistischer Sicht ist es deshalb nicht sinnvoll, die Bewertungen einzelner Aspekte isoliert zu interpretieren. Sie sind Ausdruck einer allgemeinen Bewertung der unterschiedlichen Deckschichten.

Abbildung 10 zeigt die Bewertung für jede untersuchte Deckschichtvariante. Die blauen Marker markieren jeweils den Mittelwert. Es zeigt sich, dass Asphalt mit Abstand am besten bewertet wurde, signifikant besser als alle anderen Beläge, in moderatem bis starkem Ausmaß. Beton belegte den zweiten Platz, schnitt aber merklich schlechter ab als Asphalt. Betonpflaster wurde wiederum schlechter als Beton und deutlich schlechter als Asphalt beurteilt. Die wassergebundene Decke erhielt die insgesamt schlechteste Bewertung, sie lag signifikant unter

⁸² Eine Variable, die einen Einfluß auf die Höhe des Zusammenhanges zwischen zwei anderen Variablen ausübt und diesen dadurch verzerren kann.

Asphalt, Beton und Betonpflaster. Der Unterschied zum Betonpflaster ist dabei gering, aber messbar. Insgesamt verschlechtern sich die Bewertungen wassergebundener Abschnitte mit zunehmender Intensität deutlich im Vergleich zu anderen Belägen.

Die befragten Anwohnenden sprechen sich in allen Aspekten deutlich für Asphalt und gegen wassergebundene Beläge aus. Dieser Unterschied ist über alle in der Befragung erhobenen Merkmale vorhanden. Es gibt zwar numerische Unterschiede im Ausmaß des Unterschiedes zwischen Befragten mit unterschiedlichen Arten von Fahrrädern, ob ein selbstfahrendes Kind mitfährt oder ein Kind als Sozios dabei ist, unterschiedlichen Lebensaltern sowie unterschiedlichen Radfahr-Jahreszeiten. Diese sind jedoch nicht gravierend genug, um sie mit der vorliegenden Stichprobengröße nachweisen zu können.

13.2.1. Verkehrssicherheit

Im Fahrradmonitor 2023 gibt etwa die Hälfte aller Nicht-Radfahrenden an, aus Gründen der mangelnden Sicherheit bzw. aufgrund eines erhöhten Unfallrisikos auf das

Fahrrad zu verzichten.⁸³ Zwar wird die Beschaffenheit der Radwegoberfläche von den meisten Radfahrenden nicht als Hauptfaktor für das Sicherheitsgefühl genannt, jedoch geben 38 % an, dass der schlechte Zustand von Radwegen bei ihnen ein Gefühl der Unsicherheit hervorruft.⁸⁴

Die Verkehrssicherheit wird üblicherweise anhand von gemeldeten Unfallzahlen bewertet. Dabei bleiben viele Alleinunfälle, insbesondere solche mit geringen oder ohne Verletzungen, unerfasst, was auf eine hohe Dunkelziffer schließen lässt. In den offiziellen Unfallberichten werden Oberflächenschäden nur selten explizit genannt.

⁸³ Vgl. https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/fahrradmonitor-langfassung.pdf?__blob=publicationFile, S. 86 (Stand: 06.08.2025).

⁸⁴ Vgl. https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/fahrradmonitor-langfassung.pdf?__blob=publicationFile, S. 101 (Stand: 06.08.2025).

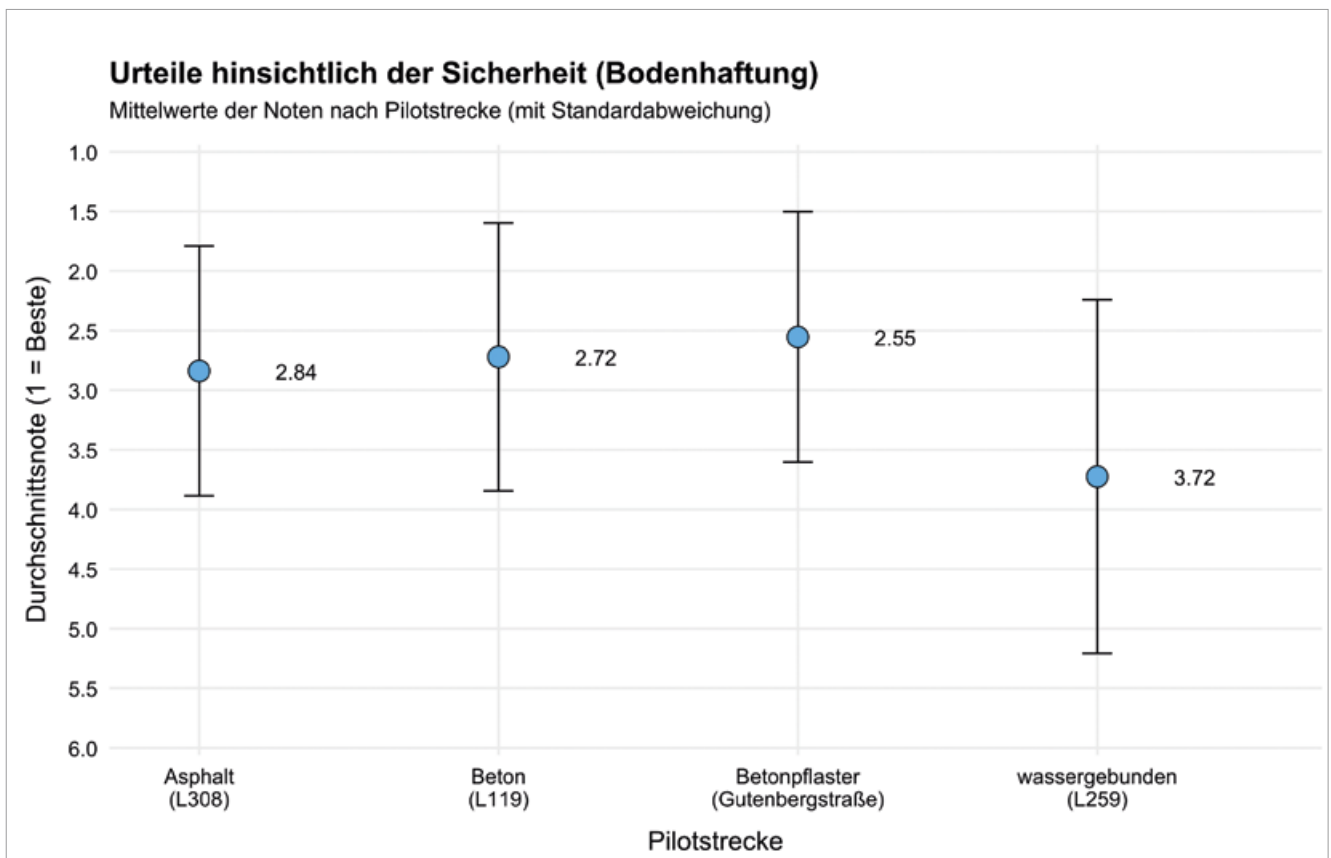


Abb. 11: Urteile hinsichtlich der Sicherheit (Bodenhaftung).

So wurden in einer Auswertung lediglich in 9 von 1.481 Unfallhergangsbeschreibungen Schlaglöcher erwähnt.⁸⁵ Wurzelaufbrüche wurden in den polizeilichen Berichten nicht spezifisch erfasst.

Eine Befragung von Radfahrenden durch den Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) zeigt ein anderes Bild: Dort nannten die Teilnehmenden ungünstige Oberflächenmerkmale häufiger als unfallbegünstigend. Insgesamt waren laut der Befragten etwa 8 % der Stürze auf Oberflächen in schlechtem Allgemeinzustand zurückzuführen. Unebenheiten wurden in 39 von 1.521 Fällen konkret erwähnt, wobei darunter auch Wurzelaufbrüche oder andere nicht näher beschriebene Schäden fallen könnten.⁸⁶

Diese Zahlen erlauben jedoch keine verlässliche Aussage zur subjektiv empfundenen Sicherheit. Viele Unfälle durch mangelhaften Untergrund werden nicht gemeldet, insbesondere, wenn keine schweren Verletzungen oder Sachschäden vorliegen, die der Polizei oder der Versicherung gemeldet werden müssen. Dennoch können solche Erfahrungen zu einem vermeidenden Verhalten führen.

Die für dieses Projekt durchgeführte Befragung der Anwohnenden zeigt, dass die Pilotstrecken von den Befragten hinsichtlich der Sicherheit der Oberflächen anders bewertet wurden als bei den generellen Präferenzen (Abbildung 12). Auf den Pilotstrecken bewerten die Anwohnenden die Sicherheit der Oberfläche bei Asphalt, Beton und Betonpflaster ähnlich (Abbildung 11).

⁸⁵ siehe Tabelle 31 im Anhang des Forschungsberichts für eine detaillierte Aufschlüsselung. ebd.

⁸⁶ Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) (2024): Forschungsbericht Nr. 98. Alleinunfälle von Radfahrenden. Berlin.

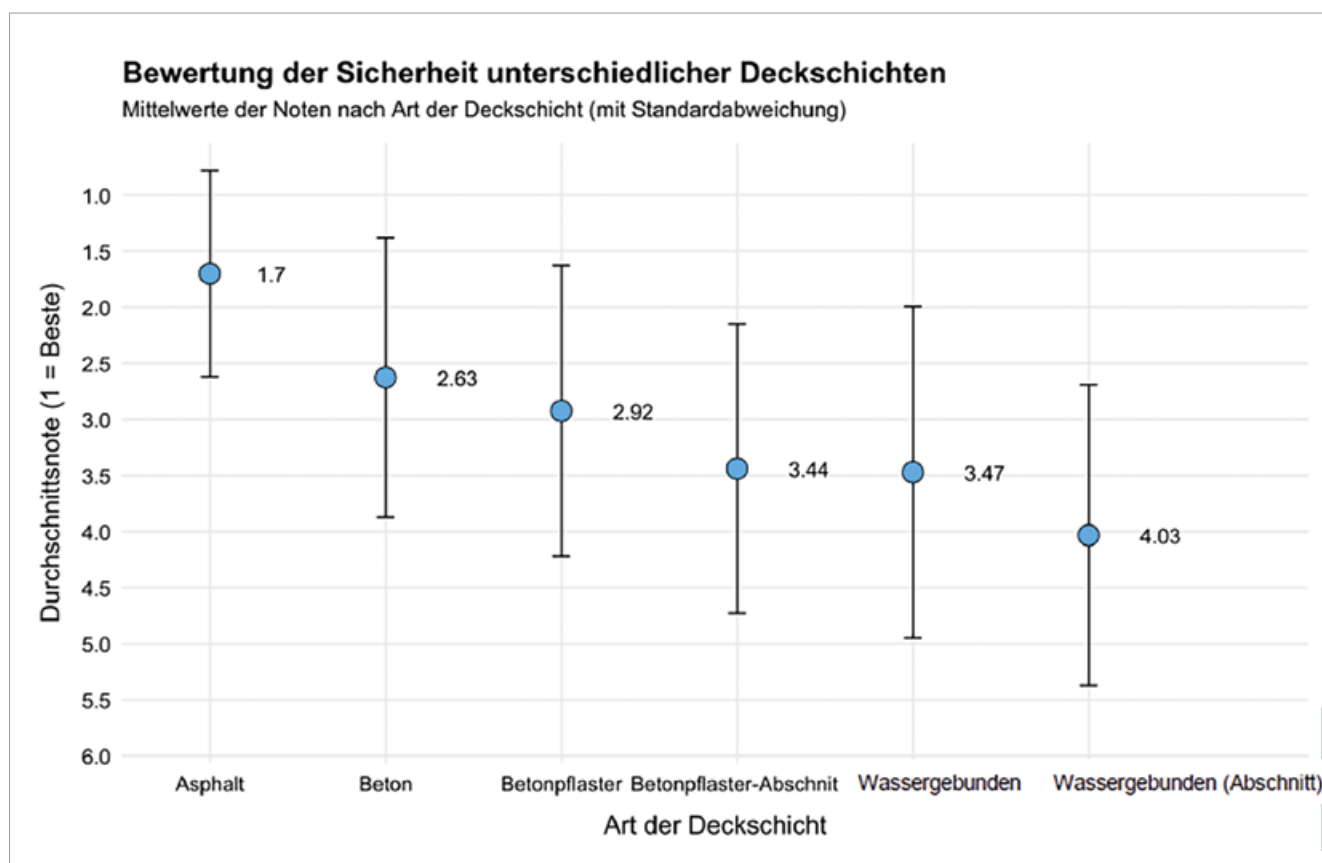


Abb. 12: Urteile hinsichtlich der Sicherheit (Bodenhaftung).

Der für die generellen Präferenzen gemessene Unterschied zur Strecke mit wassergebundener Decke bleibt jedoch bestehen: Diese wird im Durchschnitt um einen vollen Notenpunkt schlechter bewertet als die anderen drei Strecken.

In der Befragung wurde das Sicherheitsgefühl differenziert abgefragt, unter anderem in Bezug auf den Untergrund (z. B. Bodenhaftung) sowie auf weitere Faktoren, die das Sicherheitsempfinden beeinflussen könnten. Auch Kreuzungsbereiche wurden gesondert betrachtet, um sie für die hier zu beantwortende Fragestellung ausschließen zu können, da dort, vor allem innerorts, statistisch die meisten Unfälle zwischen Kfz und Radfahrenden stattfinden.⁸⁷

13.2.2. Fahrkomfort

Das Swedish Road Transport and Research Institute (VTI) hat den Einfluss von Unebenheiten unterschiedlicher Ausprägungen auf den Fahrkomfort und die Verkehrssicherheit in verschiedenen Studien untersucht. Dabei wurden künstliche Hindernisse mit unterschiedlichen Höhen auf die Oberfläche des Radweges aufgebracht und in Probandenstudien die Auswirkungen auf den Fahrkomfort und das Sicherheitsempfinden erfragt. Im Ergebnis hat sich gezeigt, dass stoßartigen Unebenheiten (i. d. R. Kanten) mit 10 mm Höhendifferenz als unangenehm wahrgenommen werden. Unebenheiten mit mehr als 60 mm Höhendifferenz stellen eine Unfallgefährdung dar, da sich die Probanden nicht mehr auf die Umgebung konzentrieren können.⁸⁸

„Für den Radfahrenden spielt der Rollwiderstand eine große Rolle, da dieser seinen Kraftaufwand beeinflusst. Physikalisch betrachtet entspricht der Rollwiderstand der Abnahme der kinetischen Energie, die beim Abrollen des Reifens auf der Fahrbahn verloren geht. Der Energiever-

lust resultiert im Wesentlichen aus der fortwährenden Materialverformung im Reifen.“⁸⁹

In Rahmen einer Bachelorarbeit an der FH Aachen wurden mithilfe von Sensoren an einem Fahrrad Werte der Vertikalbeschleunigung gemessen, um anhand dieser Werte Aussagen zum Fahrkomfort treffen zu können. Für die Auswertung wurden zwei Streckenabschnitte in Asphalt- und Pflasterbauweise ausgewählt, die neu hergestellt worden waren und daher nahezu keine Unebenheiten aufweisen. Auf diesen wurden auch Einzelhindernisse installiert und anschließend mit dem Messfahrrad befahren. Anhand der gemessenen Werte wurde deutlich, dass auf den neu hergestellten Oberflächen sowohl am Lenker als auch am Sattel nur geringe Vertikalbeschleunigungen auftreten. Der Radfahrende nimmt entsprechend kaum Körperschwingungen wahr, weshalb diese Streckenabschnitte einen guten Fahrkomfort aufwiesen.⁹⁰

Weitere Erkenntnisse aus diesem Forschungsprojekt⁹¹ zeigen, dass Radwege zwar eine große Bandbreite an MPD-Werten⁹² aufweisen, diese jedoch überwiegend im Bereich hoher Makrotexturwerte liegen. Für den Kraftabschluss zwischen dem Reifen des Fahrrads und der Oberflächentextur des Radwegs ist das insbesondere bei Nässe aus Sicht der Verkehrssicherheit ein positiver Aspekt, da die Beläge weniger rutschig werden. Der Rollwiderstand steigt jedoch mit höheren Makrotexturwerten und demzufolge ist der Kraftaufwand beim Radfahren etwas höher. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Roll-

⁸⁷ Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) (2013): *Unfallforschung kompakt. Innerörtliche Unfälle mit Fußgängern und Radfahrern*. Berlin, S. 8.

⁸⁸ Vgl. Sjögren, Leif. (2022): *Determination of Riding Comfort of Cycleways*, 9th Symposium on Pavement Surface Characteristics (SURF2022), Mailand.

⁸⁹ Vgl. Stöckert, Ulrike (2024): *Neue Entwicklungen bei der Zustandserfassung von Radwegen (=Straße und Autobahn, Heft 2.2024)*, Bonn-Bad Godesberg. S. 121.

⁹⁰ Vgl. Wirtz, M. (2022): *Entwicklung eines fahrradgestützten Messprogramms zur Bewertung des Fahrkomforts auf Radwegen*, Bachelorarbeit FH Aachen.

⁹¹ BMDV-Forschungsprogramm Stadtverkehr (FoPS): FE 70.0957 „Erfassung und Bewertung des baulichen Zustandes von städtischen Radverkehrsanlagen“, laufendes Forschungsprojekt.

⁹² Mean Profile Depth: beschreibt die Makrotextur der Fahrbahnoberfläche zur Charakterisierung der Rauigkeit.

widerstand beim Radfahren auch von anderen Faktoren beeinflusst wird. Hierzu zählen neben dem Reifendruck das Gewicht von Fahrrad und Radfahrendem sowie die Längsneigung (Steigung bzw. Gefälle) des Radweges.⁹³

Die in diesem Projekt befragten Anwohnenden bewerteten die Radwegoberflächen Asphalt, Beton und Betonpflaster annähernd gleichwertig gut. Die Pilotstrecke mit der wassergebundenen Deckschicht hingegen wurde mit einer ganzen Schulnote schlechter bewertet (Abbildung 13). Hinzuzufügen ist hier noch, dass die Pilotstrecke L 308 mit der Asphaltdeckschicht zum einen nur ein sehr kurzer Abschnitt ist (900 m) und ein Drittel dieses Abschnitts bereits wieder mit Wurzelaufbrüchen durchzogen ist. Wäre der Abschnitt in einem durchgängig gleichwertigen Erhaltungszustand, hätte die Bewertung besser abschneiden können.

⁹³ Vgl. Stöckert (2024), S. 122.

13.3. Bewertung der Bauweisen durch die Straßenbaulastträger

Die Radverkehrsinfrastruktur soll verkehrssicher und wirtschaftlich zu unterhalten sein. Gemäß Bundesfernstraßengesetz sowie Straßen- und Wegegesetz des Landes Schleswig-Holstein sind Straßen und Radwege von den Straßenbaulastträgern nach ihrer Leistungsfähigkeit in einem dem regelmäßigen Verkehrsbedürfnis genügenden Zustand zu unterhalten. Die Oberfläche und der Aufbau von Radwegen muss für die gelegentliche Befahrbarkeit durch Kraftfahrzeuge geeignet sein und die entsprechenden Lasten für Reinigungsfahrzeuge, Winterdienst und zur baulichen Erhaltung aufnehmen können.

Da die begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen der Straßenbaulastträger zielgerichtet eingesetzt werden müssen, liegt es im allseitigen Interesse, Radweganlagen zu installieren, die sowohl eine lange Nutzungsdauer aufweisen, als auch einen geringen Unterhaltungs-

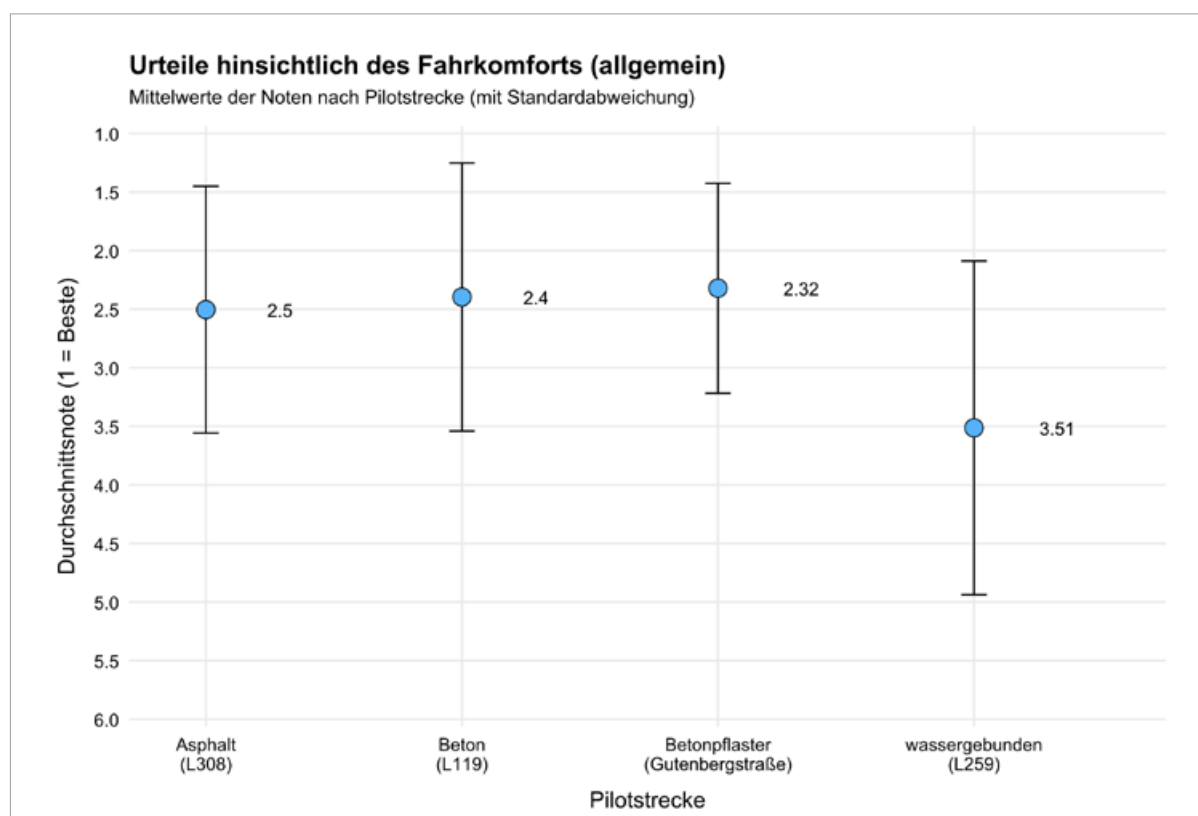


Abb. 13: Urteile hinsichtlich des Fahrkomforts der Pilotstrecken.

aufwand nach sich ziehen. Eine übergeordnete, aber aufgrund von sehr individuellen Fragen nur schwer zu beantwortende Frage ist die Wirtschaftlichkeit neuer, alternativer Bauweisen, die zunächst häufig höhere Baukosten erzeugen, sich aber durch eine lange schadensfreie Liegezeit wirtschaftlich dennoch rentieren können.

Als wichtigste Abwägungsfaktoren haben sich in der Erarbeitung die Fragen der Wirtschaftlichkeit, des Unterhaltungsaufwands sowie der Anforderungen an den Einbau hervorgehoben.

13.3.1. Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit einer Bauweise im Radwegebau setzt sich aus den Herstellungskosten und den laufenden Kosten der baulichen Erhaltung zusammen.

Einflussfaktoren auf die Herstellungskosten sind z. B.:

- Kosten für die Entsorgung des Altmaterials
- Gewählte Bauweise
- Eigenständige Maßnahme oder im Rahmen von Straßenerneuerung
- Grunderwerb

Neben den Herstellungskosten spielen auch die laufenden Pflege- und Instandhaltungskosten eine zentrale Rolle bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Radwegs. Je nach gewählter Bauweise variiert der Aufwand für die Unterhaltung erheblich. Wassergebundene Decken benötigen regelmäßige, jährliche Nachbearbeitungen wie etwa die Nachprofilierung und Pflege der Entwässerungseinrichtungen. Zudem sind sie besonders empfindlich gegenüber Witterungseinflüssen und müssen häufig nachgebessert werden. Im Gegensatz dazu erfordern Asphalt- und Betonoberflächen weniger regelmäßige Erhaltungsarbeiten, sind jedoch ebenfalls nicht frei von Problemen. Insbesondere Asphaltdecken, die ohne vegetationstechnische Maßnahmen (Kapitel 14.2., Seite 51) ausgeführt werden, sind anfällig für Wurzelaufbrüche. Diese Schäden müssen im Rahmen von Erhaltungsmaßnahmen behoben werden, was wiederum zusätzliche Kosten verursacht. In einigen Fällen können zusätzliche Maschinen oder spezielle Schulungen für das Personal notwendig sein, um diese Aufgaben effizient durchzuführen.

Nutzungsdauer

Ein entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit ist die zu erwartende Nutzungsdauer der einzelnen Bauteile des Radwegs. In der Regel wird für Radwege gemäß der AfA-Tabelle⁹⁴ eine pauschale Nutzungsdauer von 35 Jahren angenommen. Allerdings variiert die tatsächliche Lebensdauer je nach Bauweise und Nutzung. In der RStO (12/24) sind keine Angaben zu der Nutzungsdauer von Radwegen gemacht worden. Zu Straßenbefestigungen ist dort eine Lebensdauer von etwa 30 Jahren angegeben. Jedoch können einzelne Schichten des Straßenaufbaus unterschiedliche Nutzungszeiten aufweisen. Eine Asphaltdeckschicht etwa hält in der Regel zwischen 12 und mehr als 25 Jahre, abhängig von der Beanspruchung und der Qualität der Ausführung. Dagegen kann eine tieferliegende Tragschicht, bei der mit hydraulischen Bindemitteln wie Zement gearbeitet wurde, eine Lebensdauer von 60 bis 80 Jahren erreichen, sofern sie nicht durch äußere Faktoren beschädigt wird. Für die umfassende Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Radwegs ist es daher ratsam, die Lebenszykluskosten (LCC) zu berechnen und die Instandhaltungskosten über die gesamte Lebensdauer hinweg zu berücksichtigen. Nur so lässt sich eine fundierte Entscheidung darüber treffen, welche Bauweise langfristig die günstigste ist.

Herstellungs- und Erhaltungskosten

Betonradwege werden oft als kostenintensivere Maßnahme angegeben, dies ließ sich in diesem Projekt bislang nicht bestätigen. Der Vorteil von Beton liegt in seiner Langlebigkeit, geringen Pflegeanforderungen und damit geringen Erhaltungskosten.

Die wassergebundene Bauweise wird hingegen noch häufig als vergleichsweise kostengünstige Alternative genannt. Allerdings basiert diese Einschätzung oft auf

⁹⁴ AfA-Tabellen sind ein Hilfsmittel, um die Nutzungsdauer von Anlagegütern zu schätzen. Die in ihnen festgehaltenen Werte beruhen auf Erfahrungswissen. Die AfA-Tabellen stellen keine bindende Rechtsnorm dar. Dennoch werden die in den AfA-Tabellen festgelegten Abschreibungssätze sowohl von der Rechtsprechung, der Verwaltung als auch der Wirtschaft allgemein anerkannt, da sie umfangreiches in der Praxis gewonnenes Fachwissen widerspiegeln.

der Betrachtung von einfachen, zweischichtigen Bauweisen, die in der Praxis jedoch für Radwege wenig geeignet sind. Solche Konstruktionen bieten in der Regel nicht die notwendige Stabilität und Haltbarkeit, um den Anforderungen des Radverkehrs standzuhalten. In vielen Fällen zeigt sich, dass diese Bauweise schneller verschleißt und häufiger ausgebaut werden muss.

Die für Radwege besser geeignete dreischichtige wasser-gebundene Bauweise mit organischem Bindemittel hat sich als die optimale Lösung für diesen Einsatzbereich herausgestellt. Diese Bauweise bietet eine gute Kombination aus Tragfähigkeit und Flexibilität. Der Materialkostenanteil dieser dreischichtigen Konstruktion liegt zum aktuellen Stand (2025) nahezu auf dem gleichen Niveau wie der von Asphalt- oder Betonbauweisen, was die Anfangsinvestitionen in etwa vergleichbar macht. In wie weit diese Bauweise durch ihren erhöhten Unterhaltungsaufwand teurer wird, muss in den folgenden Jahren evaluiert werden.

Die Wahl der richtigen Bauweise für einen Radweg sollte nicht nur auf den anfänglichen Herstellungskosten basieren, sondern eine langfristige Betrachtung der Lebenszykluskosten einbeziehen. Nur durch die umfassende Analyse der Kosten über den gesamten Lebenszyklus hinweg einschließlich der anfänglichen Herstellungskosten, der laufenden Pflegeaufwendungen und der zu erwartenden Nutzungsdauer, kann die reelle Wirtschaftlichkeit eines Projekts ermittelt werden. Eine vorausschauende Planung, die den langfristigen Erhalt und die Wartung des Radwegs berücksichtigt, stellt sicher, dass die Investition nicht nur kurzfristig, sondern auch langfristig sinnvoll und wirtschaftlich bleibt.

13.3.2. Anforderungen an den Einbau

Asphaltbauweise

In der Praxis zeigt sich, dass die ausführenden Baufirmen über umfangreiche Erfahrungen mit dieser Bauweise verfügen. Die notwendige Maschinenteknik, vom Fräsen bis zum Einbau der Asphaltmischung, ist flächendeckend vorhanden und wird routiniert eingesetzt. Dies gewährleistet in der Regel eine hohe Ausführungsqualität und wirtschaftliche Bauzeiten.

Betonbauweise

Die Bauweise mit Betonflächen ist im Radwegebau bislang wenig etabliert und wurde im Projektkontext nur vereinzelt betrachtet. Die wenigen vorliegenden Erfahrungen zeigen, dass insbesondere die Herstellung und dauerhafte Funktionsfähigkeit der Fugen eine Herausforderung darstellen. Ein Hemmnis für die breitere Anwendung der Betonbauweise im Radwegebau ist die derzeit begrenzte Expertise der ausführenden Firmen für diesen Anwendungsbereich.

Wassergebundene Bauweise

Die wassergebundene Bauweise wurde im Rahmen des Projektes an mehreren Pilotstrecken evaluiert, so dass umfangreiche Erkenntnisse gewonnen werden konnten. Dabei traten insbesondere in der Anfangsphase zahlreiche Herausforderungen auf. Zu den häufigsten Fehlern zählte der Einsatz ungeeigneter Verdichtungstechnik. Statt der fachlich gebotenen statischen Verdichtung wurde teilweise dynamisch verdichtet, was zu einer Entmischung des Materials führt.

Zudem wurde anfangs nicht die optimal abgestimmte Korngröße verwendet. Erst im Verlauf des Projekts konnte durch Praxistests eine geeignete Körnung gefunden werden.

Ein weiterer kritischer Punkt ist die starke Abhängigkeit der Bauweise von Wetterbedingungen. Um die erforderliche Bindung des Materials zu erreichen, ist ein mehrfacher Witterungswechsel notwendig. In regenarmen Bauphasen musste daher künstlich bewässert werden. In dieser Zeit darf der Radweg von den Radfahrerinnen und Radfahrern nicht befahren werden.

Pflasterbauweise

Für den Radwegebau außerorts mit Pflasterbauweise ist ein wesentliches Hemmnis der hohe manuelle Arbeitsaufwand bei der Herstellung auf längeren Strecken. Obwohl maschinelle Verlegesysteme existieren, erfolgt ein Großteil des Einbaus in Handarbeit. Dies würde zu erhöhten Bauzeiten und höheren Kosten führen.

In kommunalen Projekten hingegen wird die Pflasterbauweise häufiger eingesetzt, insbesondere in innerörtlichen Bereichen, wo gestalterische Anforderungen, Verkehrsberuhigung und historische Ortsbilder eine Rolle spielen und punktuelle Aufgrabungen schnell wieder in ihrer ursprünglichen Form hergestellt werden müssen.

13.3.3. Unterhaltungsaufwand

Der Unterhaltungsaufwand für Radwege spielt eine entscheidende Rolle bei der Gesamtwirtschaftlichkeit von Radverkehrsanlagen. Dieser Aspekt bedingt und ergänzt das vorangegangene Kapitel 13.3.1 zur Wirtschaftlichkeit, da die langfristigen Pflege- und Instandhaltungskosten maßgeblich zur tatsächlichen Gesamtkostenbetrachtung eines Radweges beitragen.

Radwege stellen je nach Deckschicht unterschiedliche Anforderungen an die Pflege und Instandhaltung. Wassergebundene Deckschichten etwa erfordern regelmäßig intensivere Pflegemaßnahmen als Asphalt-, Beton- oder Pflasterdeckschichten. Diese wassergebundenen Oberflächen haben im Vergleich zu festen Belägen (Asphaltdeckschicht, Betondeckschicht, Pflasterdeckschicht) den Nachteil, dass sie sich stärker abnutzen. Besonders in den Herbst- und Wintermonaten stellen sich hier ganz spezifische Herausforderungen, sowohl für Herbst- als auch Winterdienste.

Die Pflege von wassergebundenen Deckschichten ist nicht nur arbeitsintensiver, sondern verlangt auch spezialisierte Ausrüstungen und Fachkenntnisse. Während Asphalt oder Beton relativ unempfindlich gegenüber Witterungseinflüssen sind, unterliegen wassergebundene Deckschichten einer höheren Abnutzung durch mechanische Belastungen und Umwelteinflüsse (z. B. Winderosion, Wassererosion, Eintrag von Huminstoffen, Einwachsen von Kräutern). Das bedeutet, dass nicht nur die Oberfläche regelmäßig nach profiliert, sondern auch die Entwässerungseinrichtungen erhalten und gesichert werden müssen. Insbesondere in Zeiten mit hohem Niederschlag können sich Pfützen bilden, die die Nutzbarkeit des Radweges stark beeinträchtigen. Auch das Wachstum von Gräsern und Kräutern sowie durch Tiere verursachte Schäden können dazu führen, dass die Oberfläche zusätzliche Pflege benötigt.

Im Vergleich dazu erfordern Asphalt- und Betonbeläge in der Regel weniger regelmäßige Pflege, da sie widerstandsfähiger gegenüber äußeren Einflüssen sind. Hier kann die Unterhaltung auf das Entfernen von Schmutz, das Einwachsen von Vegetation und die Reparatur kleinerer Schäden beschränkt werden. Pflasterdecken wiederum, insbesondere bei nicht ordnungsgemäßer Verfüllung, sind anfällig für den Durchwuchs von Pflanzen

und können im Laufe der Zeit Setzungen erfahren, die ebenfalls regelmäßige Nachbesserungen erforderlich machen.

Für die Akzeptanz und die kontinuierliche Nutzung der Radwege ist es unerlässlich, dass die Oberflächen jederzeit in einwandfreiem Zustand gehalten werden. Eine regelmäßige Kontrolle der Radwege sollte deshalb nicht weniger häufig erfolgen, als die Kontrolle des allgemeinen Straßennetzes. Dies gilt besonders für benutzungspflichtige Radverkehrsanlagen, die eine besondere Schutzfunktion für die Nutzenden erfüllen. Eine solche Verkehrsanlage muss jederzeit sicher und benutzbar sein, was einen hohen Standard in der Wartung und Instandhaltung erfordert.

Reinigung, Pflege und Winterdienst

Die Verkehrssicherungspflicht für Radverkehrsanlagen fällt grundsätzlich in den Aufgabenbereich des Baulastträgers, der gemäß den landesgesetzlichen Regelungen für die ordnungsgemäße Reinigung und Instandhaltung verantwortlich ist.⁹⁵ Dazu gehört unter anderem die Beseitigung von Verschmutzungen wie Laub, Sand, Müll oder anderen Ablagerungen, die die Benutzbarkeit des Radwegs gefährden könnten. Besonders in den Übergangszeiten im Herbst und Frühjahr, wenn Laub von Bäumen fällt und die Oberflächen rutschig werden, sind erhöhte Anforderungen an die Reinigung und Pflege zu stellen.

Die Herausforderung des Winterdienstes auf Radwegen stellt einen weiteren wichtigen Aspekt des Unterhaltungsaufwands dar. Im Winter sind größere Schneemengen regelmäßig zu entfernen, um die Benutzbarkeit der Radverkehrsanlagen auch bei Temperaturen um den Gefrierpunkt sicherzustellen. Dies ist insbesondere für benutzungspflichtige Radwege von hoher Bedeutung, da diese eine besonders hohe Verantwortung für die Sicherheit der Nutzerinnen und Nutzer tragen.

⁹⁵ Vgl. ERA (2010), S. 82.

Im Gegensatz zum Straßenverkehr sind Radwege im Winterdienst oft unterrepräsentiert, was zu gefährlichen Situationen führen kann. Der Einsatz von Streusalz oder Sole zur Bekämpfung von Eis und Schnee ist dabei eine gängige Praxis, wird jedoch zunehmend kritisch hinterfragt – einerseits wegen der ökologischen Auswirkungen auf die Umwelt, andererseits aufgrund der Kosten für die Anschaffung und den Einsatz dieser Mittel. In diesem Kontext müssen sowohl ökologische als auch ökonomische Überlegungen in die Entscheidung einfließen, um eine umweltverträgliche und gleichzeitig wirtschaftlich tragbare Lösung zu finden.

Es wird empfohlen, sich mit den neuesten technischen und wissenschaftlichen Erkenntnissen auseinanderzusetzen, um den Winterdienst auf Radwegen sowohl umweltfreundlich als auch effizient zu gestalten. Dabei können innovative Verfahren wie die Verwendung von umweltfreundlicheren Streugutalternativen und die optimierte Steuerung des Winterdienstes eine Rolle spielen. In diesem Zusammenhang geben Fachmaterialien und Empfehlungen wie das „Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen“⁹⁶ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen sowie das Dokument „Umweltfreundlicher und effektiver Winterdienst, kein Widerspruch“⁹⁷ des VKU/FGSV-Ausschusses Winterdienst wertvolle Orientierung.

Die regelmäßige Unterhaltung und Pflege von Radwegen ist ein unverzichtbarer Bestandteil einer funktionierenden Infrastruktur. Besonders bei wassergebundenen Deckschichten ist der Pflegeaufwand aufgrund der spezifischen Anforderungen deutlich höher als bei Asphalt- oder Betondeckschichten. Um eine hohe Nutzerakzeptanz und Sicherheit zu gewährleisten, müssen Radwege in einwandfreiem Zustand gehalten werden, was regelmäßige Reinigungsmaßnahmen, den Winterdienst und gegebenenfalls auch Vegetationskontrollen umfasst.

96 Vgl. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2020): Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen. Köln.

97 Vgl. Verband Kommunalen Unternehmen (VKU)/Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2023): Umweltfreundlicher und effektiver Winterdienst – kein Widerspruch.

Eine sorgfältige Abwägung zwischen den ökologischen und wirtschaftlichen Aspekten der Wartung sowie die Einbeziehung aktueller Forschungsergebnisse sind entscheidend für eine nachhaltige und kosteneffiziente Unterhaltung von Radverkehrsanlagen.

14. Instandsetzungsmaßnahmen

Bei der Auswahl geeigneter baulicher Maßnahmen ist eine sorgfältige Abwägung zwischen den Anforderungen an die Radverkehrsanlage und den Standortbedingungen der vorhandenen Bäume erforderlich. Sowohl die Bodenverhältnisse, der Grundwasserstand, Konflikte mit Versorgungsleitungen, Anpassungsmöglichkeiten der Gradienten betreffend als auch der bestehende Wurzelraum stellen individuelle Rahmenbedingungen dar, die bei Planung und Ausführung zu berücksichtigen sind. Grundsätzlich lassen sich folgende Situationen unterscheiden:

1. Die Reparatur einzelner Wurzelaufbrüche
2. Die grundsätzliche Erneuerung eines Radweges

Reparatur einzelner Wurzelaufbrüche

Ein alternativer Tragschichtaufbau kommt bei abschnittswisen Instandsetzungen nicht in Frage. Stattdessen sollten bei der Planung mögliche Konflikte mit Versorgungsleitungen bedacht werden. Sollten keine Versorgungsleitungen oberflächennah verlaufen, kommen folgende Maßnahme in Betracht:

- Wurzelbrücken aus Beton mit Beton-Streifenelementen
- Beton-U-Stein-Wurzelbrücken
- Wurzelbrücken mit Stahlgitterrosten mit Asphalt- oder Pflasterdeckschicht
- Fertigteil-Profilelemente
- Ungebundene Bauweise
- Beton-Trag-Deckschicht

Bei vereinzelten Fällen empfehlen sich die Anwendung der Sanierungshinweise des M EvB⁹⁸:

- Wurzelumbettung unter fachlicher Begleitung
- Punktuelle oder flächige Belüftungssysteme im Wurzelraum

Grundhafte Erneuerung

Für die grundhafte Erneuerung ist zu unterscheiden, ob eine Anhebung der Gradienten möglich ist oder nicht. Auch das abschnittsweise Anheben der Gradienten kann eine Option sein, um in problematischen Bereichen schadenvorsorgende Maßnahmen zu ergreifen.

Ist eine Anhebung durchgehend oder abschnittsweise möglich, kommen als Maßnahmen in Frage:

- Der sonstige frostsichere Aufbau mit kapillARBrechender Schicht, z. B. Methode analog zur Alternativen Radwegebauweise mit luftführender Tragschicht
- Vollgebundene Tragschicht
- Hydraulisch gebundene Tragschicht
- Tragschicht mit Geozellen (Kapitel 14.2.2.5)
- Bodengitter (Kapitel 14.2.2.4)

Ist eine Anhebung nicht möglich und sind oberflächennahe Versorgungsleitungen gegeben:

- Wurzelbrücken mit Stahlgitterrosten mit Asphalt- oder Pflasterdeckschicht
- Ungebundene Bauweise
- Verlegung der Versorgungsleitungen prüfen
- Fertigteil-Profilelemente
- Beton-Trag-Deckschicht

Sind keine oberflächennahen Versorgungsleitungen vorhanden:

- Wurzelbrücken aus Beton mit Beton-Streifenelementen
- Beton-U-Stein-Wurzelbrücken
- Wurzelbrücken mit Stahlgitterrosten mit Asphalt- oder Pflasterdeckschicht (Schraub- oder Betonpunktfundamente)
- Fertigteil-Profilelemente
- Ungebundene Bauweise
- Beton-Trag-Deckschicht

Der alleinige Einsatz verstärkter Frostschutzschichten hat sich bei der Projektstrecke L 100 als nicht zielführend erwiesen, da nach nur zwei Jahren erneut Wurzelaufbrüche zu erkennen waren (Kapitel 15.2).

Grundsätzlich ist sicherzustellen, dass durch bauliche Maßnahmen keine zusätzliche Einschränkung des ohnehin begrenzten Wurzelraums erfolgt. Eingriffe, die zu

nachhaltiger Schädigung des Baumbestands führen, sind unbedingt zu vermeiden. Insbesondere ist darauf zu achten, dass, wenn möglich, vorhandene Bäume erhalten bleiben, da deren Verlust durch Neupflanzung an anderer Stelle weder ökologisch noch (stadt)klimatisch kompensiert werden kann.

Bei der Planung und Ausführung von Radwegebaumaßnahmen im Umfeld bestehender Bäume ist ein integrativer, fachübergreifender Ansatz erstrebenswert. Ziel muss es sein, sowohl die Anforderungen an die Radverkehrsinfrastruktur als auch den dauerhaften Erhalt vitaler, standortangepasster Bäume in Einklang zu bringen.

Im folgenden Kapitel werden Alternativen zu den Standardbauweisen vorgestellt, mit denen sich zukünftig Schäden durch Wurzelaufbrüche vermeiden lassen sollten.

14.1. Alternative Tragschichten

Im Straßenbau wird grundsätzlich zwischen Tragschichten ohne Bindemittel und solchen mit Bindemitteln unterschieden. Die technischen Anforderungen an die verwendeten Baustoffe, die Mischgüter sowie die daraus herzustellenden Schichten sind in den jeweils einschlägigen Regelwerken normativ festgelegt.

Für Tragschichten ohne Bindemittel gelten die „Technischen Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (TL SoB-StB 2020)“⁹⁹ sowie die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel (ZTV SoB-StB 2007)“.¹⁰⁰ Für Asphalttragschichten gelten die „Techni-

⁹⁹ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2020): *Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (TL SoB-StB 2020)*. Köln.

¹⁰⁰ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2007): *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel (ZTV SoB-StB 2007)*. Köln.

schen Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (TL Asphalt-StB 07/13)¹⁰¹ sowie die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 07/13)“.¹⁰²

Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln werden durch die „Technischen Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (TL Beton-StB 07)“¹⁰³ sowie durch die „ZTV Beton-StB 07“¹⁰⁴ geregelt.

14.1.1. Hydraulisch gebundene Tragschicht (In-situ)

Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln (HGT) lassen sich sowohl im klassischen Mischverfahren als auch im sogenannten In-situ-Verfahren herstellen.

101 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2013): *Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (TL Asphalt-StB 07/13)*. Köln.

102 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2013): *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 07/13)*. Köln.

103 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2007): *Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (TL Beton-StB 07)*. Köln.

104 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2007): *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (ZTV Beton-StB 07)*. Köln.

Beim In-situ-Verfahren werden geeignete, zuvor geprüfte und als unbedenklich eingestufte Materialien vor Ort aufbereitet, durch tiefgründiges Fräsen gelöst, mit einem hydraulischen Bindemittelzusatz versetzt, ggf. muss das Material zerkleinert werden und anschließend eingebaut und verdichtet. Dieses Verfahren eignet sich allerdings nicht für alle Einsatzbereiche, insbesondere dort nicht, wo tiefeingehende Eingriffe in den Baugrund aufgrund sensibler Randbedingungen (z. B. Wurzelbereiche, Versorgungsleitungen) vermieden werden müssen. In solchen Fällen ist der Einsatz des klassischen Mischverfahrens mit werkseitig hergestelltem Baustoffgemisch vorzuziehen.

Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln können nach ZTV Beton-StB¹⁰⁵ in drei Kategorien unterteilt werden:

- Verfestigungen
- Hydraulisch gebundene Tragschichten (HGT)
- Betontragschichten

Diese Schichten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Materialzusammensetzung, ihrer bautechnischen Funktion und den erforderlichen Festigkeitseigenschaften, die in Abhängigkeit von der Art des Oberbaus (Asphalt oder Beton) sowie der zu erwartenden Verkehrsbeanspruchung definiert sind.

Verfestigungen

Verfestigungen dienen in erster Linie der Verbesserung der Widerstandsfähigkeit nicht bindiger Böden oder ungebundener Tragschichten (ToB) gegenüber klimatischen und mechanischen Beanspruchungen. Sie bestehen aus nicht frostempfindlichen Böden oder Gesteinskörnungsgemischen, Wasser sowie hydraulischen Bindemitteln. Die Herstellung erfolgt entweder im Zentralmischverfahren oder direkt auf der Baustelle im Bau(misch)verfahren, wobei abschließend eine intensive Verdichtung durchgeführt werden muss.

Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT)

Hydraulisch gebundene Tragschichten (HGT) bestehen aus sorgfältig zusammengesetzten Gesteinskörnungsgemischen, Wasser und einem geeigneten hydraulischen Bindemittel.

105 Vgl. ebd. S.113.

Zulässige Bindemittelarten sind insbesondere Zemente nach DIN 1164¹⁰⁶, aber auch hydraulische Tragschichtbinder nach DIN EN 13282-1¹⁰⁷. Das Baustoffgemisch wird in stationären Mischanlagen hergestellt, per Lkw zur Baustelle transportiert, in der Regel mit einem Straßenfertiger eingebaut und anschließend mit statisch und dynamisch wirkenden Geräten lagenweise verdichtet. Um der Bildung klaffender Risse entgegenzuwirken, sind schnell erhärtende Bindemittel für HGT und Verfestigungen nicht zulässig.¹⁰⁸

Für HGT unter Asphaltbefestigungen ist ein Zielwert für die Druckfestigkeit vorgegeben. Gleichzeitig muss die Druckfestigkeit nach oben begrenzt werden, um Reflexionsrissbildungen in den darüber liegenden Asphalt-schichten zu vermeiden. Die Anforderungen ergeben sich aus der ZTV Beton-StB.¹⁰⁹

HGT unter Pflasterdecken müssen gemäß dem Merkblatt für Dränbetontragschichten (M DBT) als wasserdurchlässig ausgebildet werden. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Entwässerung und den Frostschutz zu beachten.¹¹⁰

Zur gezielten Risssteuerung in Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln sind geeignete Maßnahmen zu treffen, sofern keine Kerben oder Pressfugen vorgesehen sind. Dies betrifft insbesondere den Einsatz unter Betondecken, bei denen die Lage der Fugen in der HGT mit der Lage der Quer- und Längsscheinfugen der Betondecke übereinstimmen muss. Ist keine Rissbeeinflussung durch Fugen angeordnet, muss vor dem Einbau der nächsthöheren Schicht geprüft werden, ob alternative Maßnahmen zur Rissbildung erforderlich sind. Solche Maßnahmen können z. B. das Entspannen der Schicht durch Baustellenverkehr oder Vibration sowie der Einsatz eines Fallschwerts (bei Schichtdicken > 20 cm, Rissabstände ca. 1,50 m) sein.

Betontragschicht

Betontragschichten werden nach betontechnologischen Grundsätzen aus Zuschlägen, Wasser und Zement hergestellt. Die Bemessung erfolgt für Druckfestigkeitsklassen zwischen C 12/15 und C 20/25, abhängig von der Art der Überbauung. Die erforderlichen Nachweise sind im Rahmen der Erstprüfung nach DIN EN 206¹¹¹, DIN EN 1992-1-1¹¹² (inkl. nationalem Anhang) sowie nach Anhang E der TL Beton-StB 07¹¹³ zu erbringen. Betontragschichten werden i. d. R. unter Betondecken eingesetzt. Die Anordnung der Quer- und Längsfugen erfolgt analog zu den Fugen in der Betondecke, um Spannungsübertragungen und Rissbildungen zu vermeiden.¹¹⁴

Die Verwendung einer HGT in Bereichen mit bestehendem Baumbestand ist nur dann fachlich vertretbar, wenn die Wurzelbereiche entweder gezielt ausgespart und beispielsweise mittels Wurzelbrücken überspannt werden oder wenn durch eine Anhebung der Gradienten ausreichend Raum für eine luftführende Tragschicht geschaffen werden kann, da Dr. Clemens Heidger (Sachverständiger für Garten- und Landschaftsbau, Hannover) ansonsten die Gefahr besteht, dass die Baumwurzeln aufgrund eines Mangels an Bodenluft ersticken und absterben. Alternativ weichen die Wurzeln in oberflächennahe Bodenschichten aus, in denen der Luftgehalt höher ist, was jedoch in der Regel mit einer erhöhten Schadensanfälligkeit durch mechanische Einflüsse (z. B. Verkehrsbelastung, Frost) einhergeht.

111 DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (Hrsg.) (2021): DIN EN 206. Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206:2013+A2:2021. Berlin/Beuth.

112 DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (Hrsg.) (2025): DIN EN 1992-1-1. Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für Hochbauten, Brücken und Ingenieurbauwerke; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2023. Berlin/Beuth.

113 FGSV (2007): TL Beton-StB 07.

114 Vgl. Beckedahl, S. 113.

106 Vgl. ebd. S.113.

107 Vgl. ebd. S.113.

108 Vgl. ebd. S.113.

109 Vgl. ebd. S.113.

110 Vgl. FGSV (2024): RSTO 12/24, S. 24.

Gemäß Aussage von Dr. Heidger ist für die dauerhafte Sicherstellung der Luftversorgung im Wurzelraum eine Tragschicht aus grobkörnigen, porösen Gesteinskörnungen erforderlich. Entscheidend sei dabei, dass die Hohlräume dieser Schicht nicht mit Feinanteilen aufgefüllt werden, um den Gasaustausch durch die Porenstruktur zu ermöglichen. In diesen Hohlräumen findet die notwendige Bodenbelüftung statt, unabhängig von der darüber liegenden HGT. Die HGT selbst spiele für die Luftversorgung der tieferliegenden Wurzelräume keine funktionale Rolle. Sie stellt lediglich die Tragschicht dar. Aus diesem Grund sei der Einsatz einer HGT im Baumumfeld nur dann nachhaltig funktionsfähig, wenn sie zwingend mit einer luftführenden Tragschicht im Untergrund kombiniert wird.

Vorteile:

- Besonders langlebig
- Resistenter gegen Wurzelaufbrüche
- Kann an verschiedene Boden- und Witterungsbedingungen angepasst werden
- Recycling des alten Radwegmaterials ist möglich und verbessert die Umweltbilanz

Nachteile:

- Unterschiedliche Witterungsbedingungen können den Aushärtungsprozess beeinflussen
- Extreme Temperaturen oder unvorhersehbare Wetteränderungen können die Zeit bis zur vollständigen Aushärtung verzögern und die Tragschicht anfällig für Risse und andere Schäden machen.

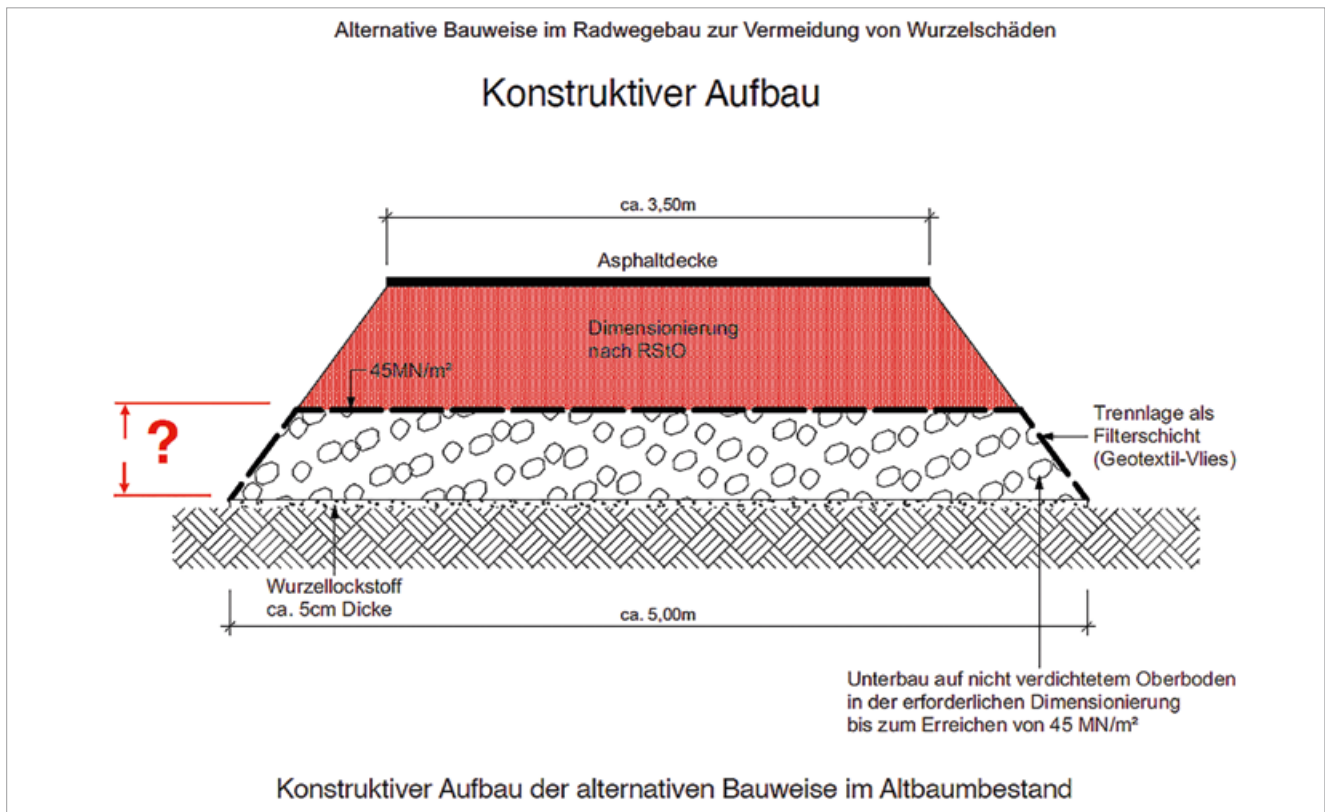
14.1.2. Alternative Radwegebauweise mit luftführender Tragschicht

Die Planung und Realisierung einer innovativen Versuchsstrecke, um einen alternativen Radwegeaufbau zu erproben, erfolgte im Rahmen eines Pilotprojekts, das gemeinsam mit der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLStBV) und dem Geschäftsbereich Wolfenbüttel am 23.05.2016 in Hannover initiiert wurde. Ziel war die Erprobung alternativer Bauweisen für die Neuanlage eines Radwegs, um Wurzel- und Bodenschäden im Bereich bestehender Altbaumbestände zu minimieren. Durchgeführt wurde der Testaufbau unter Leitung von Dr. Clemens Heidger im Landkreis Gifhorn (Niedersachsen).

Der Testaufbau verlief als Neubau an der Bundesstraße 4 im Landkreis Gifhorn. Zwischen den Ortschaften Meine und Rötgesbüttel bestand bislang keine durchgehende Radwegeverbindung. Die ausgewählte Versuchsstrecke beginnt nördlich der Ortsdurchfahrt Meine und umfasst eine Gesamtlänge von ca. 890 m. Davon wurden rund 310 m in dieser alternativen Bauweise errichtet, die übrigen Abschnitte (ca. 580 m) wurden nach RStO (12/24) ausgeführt (inkl. ca. 120 m noch zu entwässernder Bereich, ca. 100 m Bahnkörper und ca. 360 m südlich des Bahnkörpers).

Um Eingriffe in das vorhandene Bodengefüge weitgehend zu vermeiden, wurde auf eine Abtragung der organischen Bodenschicht verzichtet. Lediglich die oberste Vegetationsschicht wurde zu Beginn der Maßnahme abgetragen. Die Humusschicht blieb vollständig erhalten. Die vorhandenen Bodenverhältnisse waren ungünstig (stark vernässt und versumpft). Altbäume (vorwiegend Eichen) wurden in Teilbereichen durch Neupflanzungen ergänzt; gefälltte Bäume wurden mit Wurzelstöcken belassen, um Stockausschläge zu fördern.

Zur Lastverteilung wurde ein Grobschotter-Unterbau (Korngruppe 8/45) unmittelbar auf den Oberbodenhorizont aufgebracht. Auf eine zusätzliche Verdichtung des Untergrunds wurde bewusst verzichtet, um das natürliche Bodengefüge und die Wurzelräume nicht zu beeinträchtigen. Die geforderte Tragfähigkeit von 45 MN/m² wurde dennoch auf der Oberkante des Schotteraufbaus erreicht.



Quelle: Dr. Clemens Heidger, ö. b. v. Sachverständiger, Hannover.

Abb. 14: Konstruktiver Aufbau der luftführenden Tragschicht.

Die Schottertragschicht übernimmt im alternativen Radwegbau ausschließlich die Funktion der Flächenbelüftung im Untergrund unterhalb des Bauwerks. In dem derzeit in Bearbeitung befindlichen Regelwerk wird diese Schicht daher zutreffend als luftführende Tragschicht bezeichnet.

Eine Entwässerungsfunktion ist für diese Schicht ausdrücklich nicht vorgesehen. Ebenso spielt die kapillare Unterbrechung (Kapillarbruch) in diesem Zusammenhang für das Wurzelwachstum keine Rolle. Entscheidend ist vielmehr, dass die verwendete Grobschottertragschicht weitgehend frei von feinkörnigen Bodenbestandteilen ist. Diese Eigenschaft verhindert einen unerwünschten Wurzeleinwuchs in den Oberbau.

Zur Förderung des Wurzelwachstums in tiefere Bodenschichten wurde auf etwa der Hälfte der Versuchsstrecke ein humusreicher Bodenhilfsstoff mit wurzelstimulierender Wirkung eingebaut. Dieser Wurzellockstoff besitzt ähnliche Eigenschaften wie Terra-Preta-Erden und wurde den Wurzelräumen dauerhaft als Nährstoffdepot zur Verfügung gestellt.

Die Bauausführung begann Mitte August 2016. Die Fertigstellung des Radwegs erfolgte im November 2016.

Am 28.11.2016 wurden abschließend 20 Eichen neugepflanzt.

Für den Einbau des Wurzellockstoffs wurden Mehrkosten von ca. 40 €/l/m kalkuliert, welche jedoch teilweise durch den Wegfall der Humusabtragung kompensiert wurden. Eine abschließende Kostenbetrachtung erfolgte nach Projektabschluss.

Fünf Jahre nach Fertigstellung wurde am 29.07.2021 eine detaillierte Wurzelerkundung durchgeführt, um die Auswirkungen der alternativen Bauweise auf die Wurzelentwicklung zu untersuchen. Die Sondierungen erfolgten ausschließlich mittels Großsaugtechnik zur möglichst schonenden Freilegung des Wurzelraums.

Die Untersuchungsergebnisse belegen eine signifikant tiefere Wurzel Ausbildung als bei Radwegen in konventioneller Bauweise. Die Flächenbelüftung durch den Grobschotterunterbau fördert die Luftzirkulation im Wurzelraum und erhält die Bodenfunktionen auch nach Bauausführung. Ein signifikanter Unterschied im Wurzelverhalten zwischen Abschnitten mit und ohne Wurzellockstoff ließ sich anhand der vorliegenden Daten bisher nicht feststellen.

Zwischen 2018 und 2020 wurden jährlich visuelle Begutachtungen zur Kontrolle der Asphaltdeckschicht auf mögliche Rissbildung durchgeführt. In keinem der Abschnitte konnten Schäden oder Risse festgestellt werden.

Der bislang ausschließlich im Rahmen von Neubau-maßnahmen eingesetzte alternative Radwegeaufbau erfordert aufgrund der fehlenden Tiefergründung und der beabsichtigten Schonung des Wurzelraumes eine deutliche Anhebung der Gradienten. Eine Anwendung im Bestand, insbesondere im Rahmen von Erneuerungsmaßnahmen mit vorhandener Höhenbindung, ist derzeit nicht umsetzbar. Aufgrund der besonderen Anforderungen an den Flächenbedarf und die Ausführungsweise ist das Verfahren derzeit nicht mit den anerkannten Regelwerken (z. B. RStO (12/24)¹¹⁵ oder ZTV Asphalt-StB¹¹⁶) kompatibel.

Trotzdem wird das Verfahren aufgrund seines innovativen Beitrags zum Baum- und Bodenschutz weiterentwickelt. Es ist vorgesehen, dass die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) ein Merkblatt „Erhaltung von Bäumen beim Radwegbau (M EBR)“¹¹⁷ veröffentlicht, in dem dieser alternative Aufbauansatz fachlich vorgestellt und eingeordnet wird.

Erfahrungen aus dem LBV.SH

Derzeit wird auch im LBV.SH an der Weiterentwicklung des alternativen Radwegbauverfahrens gearbeitet, um es künftig auch im Rahmen von Erneuerungen anwenden zu können. In einigen Pilotprojekten werden abgewandelte Varianten des Verfahrens erprobt, die eine bessere Anpassung an bestehende Höhenlagen und vorhandene Randbedingungen ermöglichen sollen.

Im Rahmen eines Pilotprojektes testet der LBV.SH den Aufbau mit einer Schottertragschicht, einem Geotextil (Vlies) als Filterschicht, kombiniert mit einer tragfähigen Betondeckschicht (Kreisstraße 32/33 OD bei Mollhagen), welcher sich für Bestandsradwege mit begrenztem Höhenfreiraum eignet. Ein weiteres Erprobungsmodell umfasst den gezielten Einsatz von Schottertragschichten ausschließlich in kritischen Bereichen mit erhöhtem Wurzelaufkommen. Dies wurde beispielsweise an der Landesstraße L 50 bei Fiefbergen umgesetzt.

Diese Erprobungsmaßnahmen zielen darauf ab, boden- und wurzelschonende Bauweisen auch in Erhaltungsmaßnahmen von Radwegen zu integrieren, ohne vollständig auf konventionelle Standards zu verzichten.

Vorteile:

- Keine Störung des vorhandenen Bodengefüges
- Kein Einwurzeln unterhalb der Asphaltdecke, daher keine Aufbrüche
- Positive Erfahrungen mit einer Neubauerprobungsstrecke an der B 4 (Niedersachsen) über einen Zeitraum von 8 Jahren

Nachteile:

- Entspricht nicht den Regelwerken (Gewährleistungsfrage)
- Bisherige Erfahrungen sind nicht ausreichend
- Aufgrund des Aufbaus zur Erreichung der geforderten Tragfähigkeit wird eine vergleichsweise große Grundfläche benötigt, was den Einsatz in beengten Querschnitten oder städtischen Räumen einschränkt
- Anpassung des Verfahrens an die Erfordernisse von Instandsetzungen ist notwendig

¹¹⁵ FGSV (2024): RStO (12/24).

¹¹⁶ FGSV (2007): ZTV Asphalt-StB.

¹¹⁷ <https://www.fgsv.de/netzwerk/gremien/ag-2-strassenentwurf/29-umwelt-und-naturschutz/297-merkblatt-fuer-die-erhaltung-von-baeumen-beim-radwegbau-m-ebr> (Stand 01.10.2025).

14.2. Vegetationstechnische Maßnahmen/Bautechnischer Wurzelschutz

Begriffsklärung: Vegetationstechnische Maßnahmen

Vegetationstechnische Maßnahmen umfassen Arbeiten zur Pflanzung, Pflege, Erhaltung und Wiederherstellung von Vegetationsflächen. Dazu gehören insbesondere:

- Boden- und Pflanzarbeiten
- Der Schutz bestehender Gehölze
- Die Verbesserung und Aufwertung von Vegetationsflächen im Zusammenhang mit Bauvorhaben

Ein zentraler Bestandteil dieser Maßnahmen ist der Schutz von Baumwurzelsystemen sowie die Optimierung der Bodenverhältnisse, insbesondere an sensiblen Standorten wie im Bereich von Stadtbäumen oder straßenbegleitender Vegetation.

Begriffsklärung: Technischer Wurzelschutz

Unter technischem Wurzelschutz werden bautechnische Maßnahmen verstanden, die:

- Das Wurzelwerk vor Schäden während Baumaßnahmen schützen
- Verhindern, dass Wurzeln in bauliche Anlagen eindringen und dort Schäden verursachen

Zum Einsatz kommen dabei verschiedene Konstruktionen und Materialien, die das Wurzelwachstum entweder gezielt umlenken oder physisch begrenzen. Ziel aller Maßnahmen ist der langfristige Erhalt des Baumbestandes bei gleichzeitiger Sicherstellung der Verkehrssicherheit und der uneingeschränkten Funktionalität von Radverkehrsanlagen.

Kategorisierung der Maßnahmen

In den letzten Jahren wurden unterschiedliche Verfahren für vegetationstechnische Maßnahmen entwickelt, die sich hinsichtlich ihrer baulichen Ausgestaltung, Anwendungsbereiche, Wirksamkeit und Akzeptanz unterscheiden. Die Maßnahmen lassen sich grundsätzlich zwei Hauptkategorien zuordnen, wobei in der Praxis häufig hybride Lösungen Anwendung finden:

Wurzellenkungsmaßnahmen

Diese Maßnahmen zielen darauf ab, das natürliche Wurzelwachstum gezielt zu beeinflussen. Hierzu wird das Bodengefüge so gestaltet, dass Wurzeln in tiefere, konfliktfreie Bodenschichten gelenkt werden. Ziel ist es, oberflächennahem Wurzelwachstum und damit Schäden an angrenzenden Verkehrsflächen vorzubeugen.

Beispiele:

- Belüftungsmaßnahmen zur Verbesserung des Luftgehalts im Boden (Kapitel 14.2.4)
- Mechanische Sperren (z. B. Wurzelschutzfolien, Wurzelvlies) zur Umlenkung oder Blockierung des Wurzelwachstums (Kapitel 14.2.3)

Anpassung des Radwegeaufbaus

Ein alternativer Ansatz ist die bauliche Anpassung des Radwegeaufbaus an die Erfordernisse des Wurzelraums. Ziel ist es, bauliche Konflikte zu minimieren, ohne das Wurzelwachstum zu behindern.

Beispiele:

- Verwendung alternativer Belagsmaterialien mit höherer Elastizität oder Wasserdurchlässigkeit (Kapitel 12.5)
- Einsatz von Wurzelbrücken, um ausreichend Raum zwischen Radweg und Wurzelraum zu schaffen (Kapitel 14.2.2)

Solche Maßnahmen können sowohl im Bestand zur Instandsetzung bestehender Schäden als auch präventiv bei der Neuanlage von Radwegen und Baumpflanzungen berücksichtigt werden.

14.2.1. Wirkung und Anwendungsbereiche

Vegetationstechnische Maßnahmen leisten einen wichtigen Beitrag zur Standortverbesserung und zur Gesunderhaltung der Bäume. In Kombination mit bautechnischen Maßnahmen ermöglichen sie eine nachhaltige Nutzung des Straßenraums bei gleichzeitiger Reduzierung von Nutzungskonflikten zwischen Wurzelsystemen und Verkehrsflächen.

Die in diesem Projekt berücksichtigten vegetations- und bautechnischen Verfahren werden in den folgenden Kapiteln ausführlich dargestellt. Viele davon eignen sich bereits zur präventiven Anwendung bei Neupflanzungen und sollten daher frühzeitig in die Planung integriert werden.

14.2.2. Wurzelbrücken

Die Anwendung von Wurzelbrücken erstreckt sich auf Altbaumbestände mit oberflächennaher Starkwurzelschicht in der Verkehrsfläche. Freitragende Wurzelbrücken müssen selbst größere Verkehrslasten aufnehmen, ohne dass der Wurzelraum darunter verdichtet wird. Mittels tragender Betonpunktfundamente, Schraubfundamente aus Stahl, Streifenfundamente aus Beton und horizontal angeordneter Abdeckelemente (aus Stahl oder Beton) oder schwimmender Wurzelbrücken wird der betroffene Wurzelbereich überspannt und vor Verdichtung geschützt. Wichtig ist, dass der Kontakt der Wurzel mit den Abdeckelementen der Wurzelbrücke vermieden wird und den Wurzeln ausreichend Bodenluft zur Verfügung steht. Andernfalls kommt es zu Hebungen durch den Kraftabtrag der überspannten Starkwurzeln. Zu diesem Zweck werden weiche Baustoffe, z. B. Dämmstoffe aus Mineralstofffasern bzw. luftführende Substrate zwischen Wurzel und Betonelementen eingebaut.¹¹⁸

Der Einbau beginnt mit dem Rückbau der vorhandenen Deckschicht im betroffenen Bereich. Insbesondere im Bereich von Baumwurzeln sollte dieser Rückbau händisch erfolgen, um mechanische Verletzungen zu vermeiden. Der Einsatz eines Saugbaggers ist hier ebenfalls möglich und kann eine schonende Freilegung der Wurzeln unterstützen. Nach Freilegung erfolgt die Prüfung der Wurzeln auf eventuelle Schäden. Diese sind, falls erforderlich, fachgerecht zu behandeln. Starkwurzeln mit einem Durchmesser von 50 mm oder mehr müssen erhalten bleiben; feinere Wurzeln können, sofern technisch möglich, in tiefere Bodenschichten umgelagert werden. Die Beteiligung eines qualifizierten Baumfachpflegers wird in diesem Zusammenhang ausdrücklich empfohlen.

14.2.2.1. Wurzelbrücken, Beton

Wurzelbrücken aus Stahlbeton sind in unterschiedlichen Ausführungen erhältlich, deren Konstruktionsweise und Lieferform herstellerabhängig variieren. Typische Systeme umfassen: U-förmige Fertigelemente (Abbildung 15), die als monolithisches Bauteil geliefert und eingebaut werden, Systeme mit separaten Fundamentstreifen und Abdeckelementen, wobei die Abdeckung entweder als durchgehendes Element (Abbildung 16) oder in Form mehrerer schmaler Betonstreifen ausgeführt ist (Abbildung 17). Bei Ausführung mehrerer schmaler Betonstreifen entstehen Längsfugen, die den Fahrkomfort und die Sicherheit für die Nutzenden negativ beeinflussen können. Zu bevorzugen sind daher Quertypen oder einteilige Abdeckelemente.

Die Betonfertigteile können je nach Hersteller maßgeschneidert produziert werden, um sich an die örtlichen Wurzelverläufe anzupassen. Voraussetzung hierfür ist eine fachgerechte Wurzelortung, z. B. durch Suchschachtung oder Radarverfahren.

In begründeten Fällen kann eine Umlagerung schwacher Feinwurzeln erfolgen. Bei unvermeidbarem Konflikt mit stärkerem Wurzelwerk kann in Abstimmung mit einem qualifizierten Baumfachpfleger bzw. der zuständigen unteren Naturschutzbehörde ein selektiver Wurzelrückschnitt mit fachgerechter Nachversorgung durchgeführt werden.

118 Vgl. (FGSV) (M EvB), S. 29.

Die Bauteile aus Stahlbeton weisen ein erhebliches Eigengewicht (mehrere Tonnen) auf. Für Transport, Lagerung und Einbau sind geeignete Hebezeuge und Geräte vorzuhalten. Ein manuelles Versetzen ist nicht möglich.

Systeme mit getrennt gelieferten Abdeckstreifen können nach dem Einbau rillenartige Fugen in Fahrtrichtung aufweisen. Diese können unter Umständen den Fahrkomfort, insbesondere bei Radverkehr, beeinträchtigen.

Weder die Betonabdeckung noch die Fundamentstreifen dürfen direkt auf Wurzeln aufliegen. Daraus ergibt sich ggf. eine erforderliche Anhebung der Gradienten des Radwegs im betreffenden Bereich.

Die Wurzelbrücke wird durch Arbeitsfugen vom angrenzenden Asphalt- bzw. Pflasteraufbau getrennt. Dies dient dem Schutz vor Rissbildung infolge unterschiedlicher Setzungsverhalten der Bauteile.

Eine Überasphaltierung der Wurzelbrücke ist nicht erforderlich.

In die Abdeckelemente können bei Bedarf Belüftungs- und Bewässerungseinrichtungen integriert werden, um die Vitalität des Baumbestands langfristig zu sichern (Abbildung 15).

Vorteile:

- Hohe Langlebigkeit
- Effektiv gegen Wurzelaufrüche
- Hoher Fahrkomfort (ohne Längsfugen)

Nachteile:

- Hohe Kosten, dafür längere Haltbarkeit des Oberbaus
- Keine Standardausführung für Kurven vorhanden
- Die Streifenfundamente sind zum Teil nur schwer neben den Wurzeln zu positionieren und daher nicht bei jeder Wurzellage geeignet

Längsfugen können den Fahrkomfort negativ beeinflussen.



Abb. 15: U-förmiges Fertigelement aus Beton.

Quelle: LBV.SH



Abb. 16: Durchgehende Wurzelbrücke aus Beton mit integrierten Belüftungselementen.

Quelle: fuchs-soehne.de



Abb. 17: Betonwurzelbrücke auf Betonstreifenfundamenten.

Quelle: LBV.SH

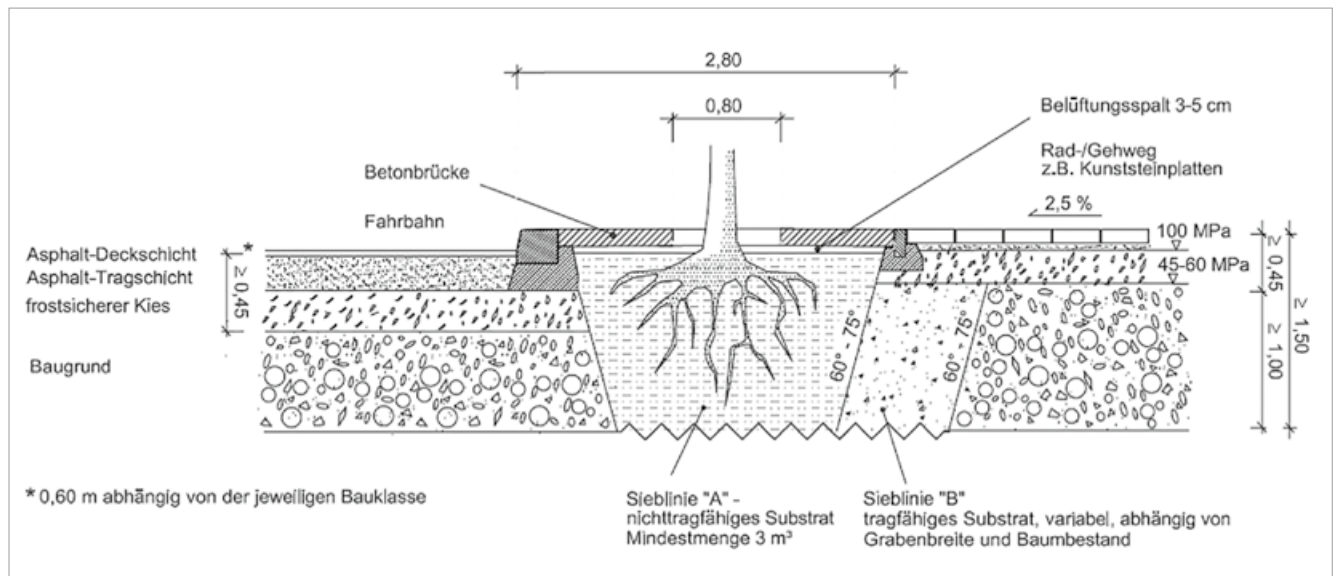


Abb. 18: Querschnitt Betonwurzelbrücke.

Quelle: ZTV-Vegtra MÜ.

14.2.2.2. Wurzelbrücken, Metall

Wurzelbrücken aus Stahl werden von verschiedenen Anbietern angeboten und stellen eine flexible Alternative zu Betonlösungen dar: aufgrund ihrer geringen Aufbauhöhe (abhängig vom jeweiligen Produkthersteller) können sie meist ohne nennenswerte Anhebung der Gradienten eingebaut werden. Das macht sie besonders geeignet für Bestandsflächen mit begrenzten Höhenreserven.

Die Verankerung der Stahlbrücke erfolgt über spezielle Schraubfundamente oder Betonpunktfundamente, die in den Untergrund eingebracht werden. Vor deren Einbau ist eine Prüfung der Bodenbeschaffenheit und Tragfähigkeit erforderlich. Die Brückenkonstruktion darf keinesfalls auf den Wurzeln selbst aufliegen. Während der Montage ist sicherzustellen, dass das passende Werkzeug zur Verfügung steht.

Nach dem Einbau der Fundamente werden die freigelegten Wurzeln und die Stahlkonstruktion mit geeignetem Material abgedeckt. Anschließend wird die Stahlbrücke montiert. Bevor die Asphalt- oder Pflasterdecke eingebaut wird, kommen je nach System Lochbleche oder

Geotextilien zum Einsatz, um die grobe Gitterkonstruktion zu verschließen (Abbildung 19). Die konkreten Angaben des Herstellers sind dabei zwingend zu beachten. Im Anschluss kann die Deckschicht nach den technischen Anforderungen ausgeführt werden. In einem Anwendungsbeispiel (Abbildung 19) wurde auf die Stahlbrücke eine Deckschicht aus Gussasphalt aufgebracht. Damit eignet sich diese Bauweise auch für punktuelle oder abschnittsweise Instandsetzungen.

Ein wesentlicher Vorteil von Stahlbrücken gegenüber Betonkonstruktionen liegt in ihrer Formflexibilität: Sie lassen sich leichter an geschwungene oder kurvige Trassen anpassen (Abbildung 20). Zudem können bei Bedarf individuell gefertigte Sonderformen realisiert werden. Dies setzt eine frühzeitige Abstimmung mit dem jeweiligen Hersteller voraus. Hinsichtlich der Belastbarkeit ist zu beachten, dass die Brücken temporär einer Radlast von bis zu fünf Tonnen standhalten können. Somit ist auch die gelegentliche Befahrung durch Unterhaltungsfahrzeuge möglich. Darüber hinaus können Stahlbrücken geeignet eingebaut werden, um notwendige Entwässerungsprofile in der Oberfläche herzustellen.

Vorteile:

- Geringere Aufbauhöhe als Betonwurzelbrücken
- Größere Flexibilität durch die Schraub- bzw. Punktfundamente
- Kurvenelemente möglich
- Kann asphaltiert oder überpflastert werden (unsichtbar für den Nutzenden)
- Geneigter Aufbau für Entwässerung möglich
- Seitlich zufließendes Oberflächenwasser kann unter der Wurzelbrücke versickern
- Bei zukünftigen baulichen Veränderungen des Radwegs (z. B. Erhöhung oder Verbreiterung) kann die Wurzelbrücke durch ergänzende Fundamente angepasst werden

Nachteile:

- Hohe Kosten, dafür längere Haltbarkeit
- Evtl. Konflikte zwischen Leitungen und Schraubfundament

14.2.2.3. Kunststoffplanken aus Brückenbau

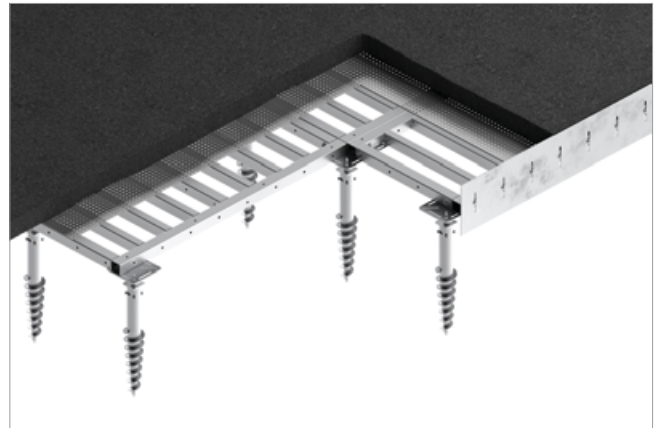
Glasfaserverstärkte Kunststoffplanken (GFK-Planken) stellen ein alternatives Material für den Bau von Wurzelbrücken dar. Ursprünglich stammen sie aus dem Bereich des Brückenbaus und sind dort für ihre hohe Widerstandsfähigkeit, Elastizität und geringe Aufbauhöhe bekannt. Ihr Einsatz im Bereich von Wurzelbrücken ist bislang nur in einem Hamburger Pilotprojekt erfolgt, sodass derzeit noch kaum belastbare Erfahrungswerte vorliegen.

Die Planken zeichnen sich durch eine besonders hohe Elastizität bei gleichzeitig hoher Stabilität aus. Dies ermöglicht eine flexible Anpassung an wechselnde Lasten und Bodenunebenheiten, ohne die strukturelle Integrität zu beeinträchtigen.

Verschiedene Ausführungen ermöglichen eine bedarfsgerechte Anpassung an örtliche Gegebenheiten.

Tragfähigkeit

Die Belastbarkeit liegt je nach Ausführung zwischen 5 t und 20 t. Um punktuelle Belastungen zu dämpfen, können die Hohlräume unterhalb der GFK-Elemente mit Splitt verfüllt werden. Dadurch wird eine gleichmäßigere Lastverteilung erreicht.



Quelle: <https://humberg-baumschutz.de>.

Abb. 19: Wurzelbrücke aus Metall mit Asphaltdeckschicht.



Quelle: kopp-stahl.de

Abb. 20: Kurvenelemente für Wurzelbrücken aus Stahl.



Quelle: <https://gfk-brueckenbelag.de>.

Abb. 21: Glasfaserverstärkte Kunststoffplanken.

Entwässerung

Die Entwässerung erfolgt über eine entsprechende Querneigung und/oder Längsneigung der Brückenkonstruktion.

Fundamentierung und Montage

Für die Gründung der Wurzelbrücken können sowohl Schraubfundamente als auch Beton-Punktfundamente verwendet werden. Je nach baulicher Anforderung und Geländeprofil stehen unterschiedliche Montagelösungen zur Verfügung:

- Aufschrauben auf vorbereitete Stahlkanten
- Befestigung mittels Klemmmechanismus

Diese Montagemethoden ermöglichen eine flexible Installation, auch in sensiblen oder schwer zugänglichen Bereichen.

Die Planken bieten als Material für Wurzelbrücken interessante Vorteile in Bezug auf Aufbauhöhe, Elastizität und Widerstandsfähigkeit. Ihr Einsatz ist jedoch mit höheren Kosten und planerischen Unsicherheiten verbunden. Aufgrund der fehlenden Langzeiterfahrungen und der nicht standardisierten Einbaumethoden sollte ein Einsatz derzeit nur nach gründlicher technischer Prüfung und in enger Abstimmung mit dem Hersteller erfolgen.

Vorteile:

- Niedrige Aufbauhöhe: Ideal für Anwendungen mit begrenztem Höhenprofil oder sensiblen Wurzelbereichen
- Hohe Elastizität: Das Material reagiert flexibel auf Belastungseinwirkungen, was insbesondere bei punktuellen Lasten (z. B. Radverkehr, Fußgänger) von Vorteil ist
- Widerstandsfähigkeit: Hohe Beständigkeit gegen über Witterung, Feuchtigkeit und mechanischer Beanspruchung

Nachteile:

- Hohe Materialkosten
- Begrenzte Erfahrungswerte: Der Einsatz als Wurzelbrücke ist noch wenig erprobt. Es liegen derzeit keine standardisierten Einbauempfehlungen vor
- Aufgrund fehlender Normierungen sollte der Einbau direkt mit dem Hersteller abgestimmt werden, um technische Details (z. B. Befestigung, Unterbau, Lastannahmen) abzuklären

Entsorgung am Nutzungsende

Die umweltgerechte Entsorgung bzw. Wiederverwertung von GFK-Materialien ist aktuell nur eingeschränkt geregelt und muss projektspezifisch geklärt werden.

14.2.2.4. Bodengitter mit Pflastersteinen

Fertigteil-Profilplatten stellen eine alternative Lösung zu klassischen Wurzelbrücken aus Beton oder Stahl dar. Sie erfordern keine Punkt- oder Streifenfundamente und können als schwimmende, flächig aufliegende Gitter ohne Eingriff in den Wurzelraum eingesetzt werden. Bei fachgerechter Ausführung und unter Einhaltung aller erforderlichen Schutzmaßnahmen während der Bauphase können sie baumschonend eingesetzt werden.

Die Elemente bestehen je nach Hersteller aus (z. T. recyceltem) Kunststoff. Die offene Struktur des Materials ermöglicht eine hohe Versickerungsleistung und fördert gleichzeitig die Bodenbelüftung. Die Plattenelemente werden direkt auf eine grobporige, luft- und wasser-durchlässige Tragschicht aufgebracht. Nur durch diese Kombination ist ein ausreichender Gasaustausch im Wurzelbereich gewährleistet. Zusätzliche Belüftungsmaßnahmen im Randbereich können bei geeigneten Standortbedingungen entfallen. In verdichteten urbanen Räumen kann ergänzend der Einbau von Belüftungssystemen erforderlich sein.

Gemäß Hersteller erfolgt die Lastverteilung analog zu einem Schneeschuh: Die Kräfte werden breitflächig verteilt, wodurch Wurzeln und Boden vor punktuellen Belastungen geschützt werden. Dies ermöglicht im Vergleich zu konventionellen Bauweisen eine deutlich reduzierte Aufbauhöhe der Tragschicht. Die Befestigung erfolgt entweder über Erdanker oder eine seitliche Einfassung mittels Stahlband oder Bordstein.

Ein Abtrag der oberen Bodenschichten ist im Regelfall nicht notwendig. Im Gegensatz zu herkömmlichen Wurzelschutzbrücken mit Punktfundamenten entfällt ein direkter Eingriff in den sensiblen Wurzelbereich vollständig.

Das System kann sowohl als tragfähiger Unterbau für Pflaster- oder Plattenbeläge als auch für wasser-gebundene Decken oder begrünbare Flächen genutzt werden. In der Praxis hat sich insbesondere die Kombination mit Pflastersteinen bewährt, wobei diese lose in die Kunststoffkammern eingelegt werden.

Quelle: https://www.huebner-lee.de/download/wurzelschutz_4_seiter_mail.pdf. Stand 30.07.2025.

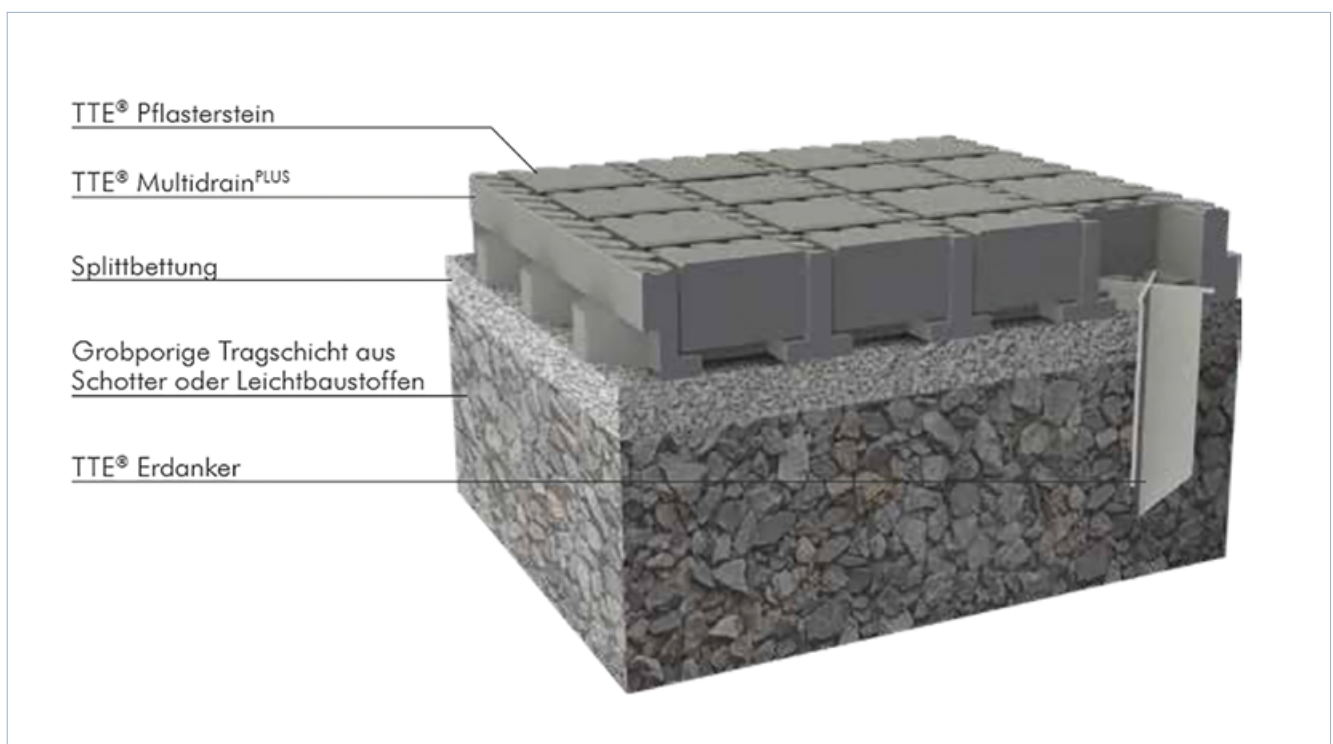


Abb. 22: Aufbau eines Radwegs mit Bodengittern und Pflastersteinen.

Dies kann bei höheren Fahrgeschwindigkeiten zu akustischen Effekten (Klappern) führen, ein Aspekt, der bei Einsatz in Wohngebieten berücksichtigt werden sollte. Im Radverkehr ist dies i.d.R. unproblematisch.

Untersuchungen des Herstellers belegen hohe Wasseraufnahme- und Versickerungskapazitäten. Der ermittelte kf-Wert der Pflastervariante liegt bei $3,28 \times 10^{-2}$ m/s, jener der begrünten Variante bei $3,12 \times 10^{-3}$ m/s (Messungen im Neuzustand, ohne Verkehrslast). Die Speicherkapazität des Oberbaus übertrifft die relevanten Bemessungsniederschläge deutlich, wodurch das System auch bei Starkregenereignissen als leistungsfähig gilt. Die Versickerungsleistung hängt jedoch maßgeblich von den örtlichen Bodenverhältnissen ab.¹¹⁹

Eine vom Hersteller beauftragte Umweltstudie weist das System zudem als mikroplastikunbedenklich aus. Im Gegensatz zu Reifenabrieb oder Bitumen zeigt das Material keine relevante Umweltbelastung. Darüber hinaus wurde das System vom TÜV als UV-beständig zertifiziert.

Die Stadt Wittenberg berichtet nach sieben Jahren Einsatz im Straßenraum (Tempo-30-Zone) von positiven Erfahrungen: Der Oberbau bleibt elastisch, zeigt keine Spurrinnenbildung und stellt sich nach Belastung in die Ausgangslage zurück. Nachträgliche Aufgrabungen konnten problemlos ausgeführt werden.¹²⁰

Vorteile:

- Kein Eingriff in den Wurzelraum erforderlich (baumschonend)
- Flächige Lastverteilung nach dem „Schneeschuhprinzip“
- Geringe Aufbauhöhe
- Hohe Versickerungsleistung durch offene Struktur
- Luft- und wasserdurchlässig, fördert Bodenbelüftung
- Kein Abtrag des Oberbodens notwendig
- Recycelter Kunststoff (umweltfreundlich, wiederverwertbar)
- Einfache Verlegung und Rückbau möglich
- Belastbar durch Unterhaltungsfahrzeuge (bei geeignetem Unterbau)
- Vielfältige Einsatzmöglichkeiten (Radwege, Gehwege, Zufahrten, überbaubare Baumstandorte)

Nachteile:

- Schubempfindlichkeit ohne seitliche Einfassung (z. B. in Kurven, Einmündungen)
- Bei verdichteten Böden sind zusätzliche Bodenverbesserungsmaßnahmen erforderlich
- Sichtbare Kunststoffstruktur, optisch ggf. weniger ansprechend
- Zuschnitt bei unregelmäßigen Flächen kann aufwendig sein
- Tragfähigkeit stark vom Unterbau abhängig
- Umwelt- und Leistungszertifikate sind herstellerspezifisch (nicht automatisch auf andere Systeme übertragbar)

119 LWG Würzburg (2006): *Untersuchungsbericht: Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit und Wasserspeicherfähigkeit von TTE, Systemen mit Pflasterfüllung und Begrünungsaufbau. Kurzfassung.*
 120 Przygode, Tino (2021): *Erfahrungen der Lutherstadt Wittenberg mit dem TTE-Baukonzept, Wittenberg.*

14.2.2.5. Geozellen

Die Geozellen oder auch Geogitter stammen ursprünglich aus der Hangbefestigung. Sie bestehen aus dreidimensionalen, flexiblen Wabenelementen, die aus thermisch verfestigten Vliesstoffstreifen gefertigt sind. Sie dienen als lastverteilende Struktur und werden oberhalb des bestehenden Wurzelraums verlegt. Die Geozellen werden dabei manuell aufgezogen, in ihrer Endlage mit Stahllankern fixiert und anschließend lagenweise mit geeignetem, tragfähigem Schottermaterial verfüllt und verdichtet.

Die stabilen Zellwände der Wabenstruktur sorgen für einen formstabilen Zusammenhalt des eingebrachten Verfüllmaterials. Durch die horizontale Lastverteilung innerhalb der Zellen wird die Punktbelastung auf den Untergrund erheblich reduziert. Gleichzeitig wird das darunterliegende Wurzelwerk geschont, da auf einen Bodenaushub im Wurzelbereich vollständig verzichtet werden kann. Damit eignen sich Geozellen insbesondere für Maßnahmen im sensiblen Wurzelraum von Bestandsbäumen, z. B. beim Neubau oder der Sanierung von Radwegen.

Der Hersteller empfiehlt folgende Punkte beim Einbau zu beachten¹²¹:

Vor dem Einbau der Geozellen ist die Fläche sorgfältig zu räumen. Es sind sämtliche Fremdkörper, größere Partikel sowie organische Reste zu entfernen, die als Unebenheit oder Hindernis wirken könnten. Die Fläche ist anschließend möglichst eben herzustellen. Ist ein geringer Bodenaushub notwendig, z. B. zur Angleichung oder zur Aufnahme der Geozellenhöhe, muss dieser wurzelschonend erfolgen. Dabei ist sicherzustellen, dass keine Wurzeln beschädigt werden.

Falls ein ebenerdiger Einbau aufgrund flachliegender Wurzeln nicht möglich ist, empfiehlt sich eine seitliche Einbettung der Geozellen. Der Einbau erfolgt in diesem Fall oberflächennah, mit seitlicher Rückverfüllung und zusätzlicher Stabilisierung durch eine geeignete Randein-

fassung. Die Randeinfassung sollte aus einem dauerhaft witterungs- und formbeständigen Material bestehen, z. B. aus Naturstein, Betonwinkelsteinen oder Recyclingkunststoffprofilen. Sie dient der seitlichen Fixierung und dem Erhalt der Wabenstruktur unter Verkehrslast.

Als Trennlage ist ein geeignetes Geotextil (Vliesstoff) auf der vorbereiteten Fläche zu verlegen. Dieses wirkt als Filter- und Trennschicht und verhindert das Durchmischen des Geozellenfüllmaterials mit dem Untergrund. Beim Einsatz mehrerer Vliesbahnen oder Zuschnitte sind die Überlappungen mit mindestens 150 mm auszuführen.

Die Geozellen werden vor Ort manuell entfaltet und entsprechend der vorgesehenen Projektfläche ausgezogen. Zur Befestigung der Wabenstruktur werden Stahllanker (Pins) verwendet. Die äußeren Zellstrukturen sollten mit ca. 3–4 Pins/m² fixiert werden. Die Pins sind dabei so zu setzen, dass sie auf den Zellverbindungen aufliegen, ohne das Material der Zellen einzudrücken oder zu beschädigen. Ebenso ist bei der Fixierung darauf zu achten, dass keine unterliegenden Wurzeln verletzt werden. Die tatsächliche Anzahl und Länge der Pins kann projektspezifisch variieren, abhängig von Bodenart, Topographie und Belastungsanforderung.

Die befüllten Geozellen werden mit einem geeigneten, qualifizierten Mineralgemisch (z. B. gemäß TL SoB-StB¹²²) verfüllt. Die Materialauswahl richtet sich nach der geplanten Nutzung und der erforderlichen Tragfähigkeit. Generell gilt: Je gröber die Körnung, desto höher die Belastbarkeit.

Die Verfüllung beginnt entlang der Ränder manuell, um die Wabenstruktur gleichmäßig aufzuspannen und zu stabilisieren. In ausreichend zugänglichen Bereichen kann die Hauptverfüllung anschließend maschinell (z. B. mit einem Radlader) erfolgen. Alternativ ist auch eine vollständige Handverfüllung möglich.

Die Verfestigung erfolgt mit einer handelsüblichen Rüttelplatte (mind. 200 kg Betriebsgewicht) in mehreren Lagen. Nach vollständiger Verdichtung muss die Fläche mit einer geeigneten Deckschicht versehen werden.

¹²¹ Terram Geozellen: file:///C:/Users/Benutzer1/Downloads/Einbauempfehlung%20TERRAM%20Geozellen_Tragschicht_11_2022.pdf (Stand 30.07.2025).

¹²² FGSV (2020): TL SoB-StB.

Durch den Einsatz der Geozellenkonstruktion kann die notwendige Aufbauhöhe der Tragschicht um bis zu 70 % reduziert werden (Abbildung 24), ohne dass die Tragfähigkeit oder der Wurzelschutz beeinträchtigt wird.

Wichtig: Das Belassen der Schottertragschicht ohne Deckschicht stellt eine erhebliche Gefährdung für Radfahrende dar und ist daher nicht geeignet. Eine abschließende Deckschicht ist zwingend erforderlich. Aus technischer Sicht ist hier eine Asphaltdeckschicht zu bevorzugen, da die Verwendung einer wassergebundene Decke in Kombination mit einer Geozellenstruktur in der Regel nicht notwendig ist, vorausgesetzt, die wassergebundene Schicht wird normgerecht mit bindemittelhaltigen Zuschlägen eingebaut.

Vorteile:

- Deutlich geringere Tragschichthöhe
- Lastverteilendes System; Wurzeln werden vor Beschädigungen und Druckbelastungen geschützt
- Unterschiedliches Füllmaterial verwendbar
- Lokaler Boden kann wiederverwendet werden
- Günstige Bauweise, geringe Transportkosten

Nachteile:

- Wenige Erfahrungen, vor allem mit einer abschließenden Asphaltdeckschicht
- Aufwendig im Einbau
- Bei bestehenden Starkwurzeln wird eine Anhebung der Gradienten notwendig



Abb. 23: Geozellen mit Verfüllung und Asphaltdeckschicht

Quelle: <https://www.terrakala.de/terram-geozellen-wabensystem-zur-tragschichtbewehrung/c122/> (Stand 30.07.2025).

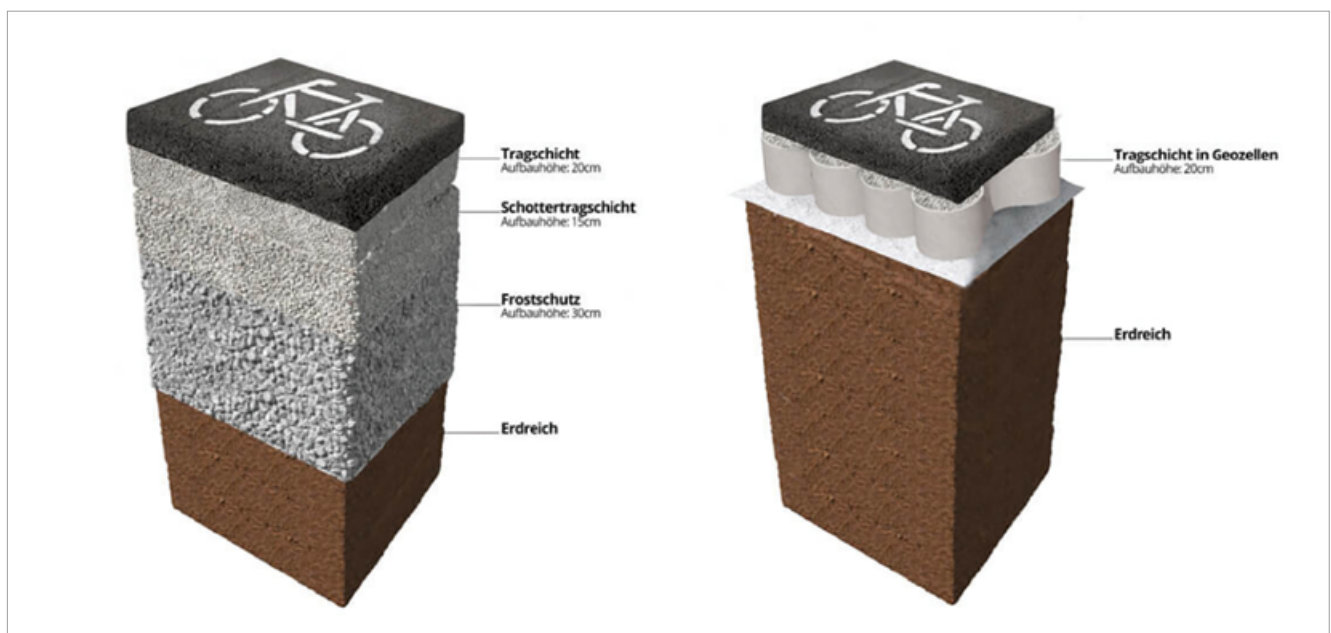


Abb. 24: Schematische Gegenüberstellung eines Radwegeaufbaus mit und ohne Geozellen.

Quelle: <https://www.ecotrade-leipzig.de/blog/wurzelbruecke-erhalt-und-schutz-des-baumbestandes-im-stadtgruen> (Stand: 30.07.2025).

14.2.3. Wurzelvlies, Wurzelfolie, Wurzelschutzfräse

Die Wurzelvliese dienen üblicherweise zur Herstellung der Trenn- und Filterstabilität zwischen ungebundenem Tragschichtmaterial und dem darunterliegenden Planum und entsprechen Geotextilien der Robustheitsklasse 4.¹²³ Hinsichtlich eines Schutzes vor Wurzeleinwuchs bleibt die Wirksamkeit konventioneller Geotextilien jedoch begrenzt. In der horizontalen Anordnung können sie zwar punktuell das Eindringen von Wurzeln in Schadstellen oder Risse behindern, bieten jedoch keinen wirksamen Widerstand gegen das Dickenwachstum der Baumwurzeln. Es besteht die Möglichkeit, den gesamten Aufbau des Radwegs mit einem solchen Material zu ummanteln, Erfahrungen zu der Effektivität dieser Methode liegen jedoch noch nicht vor.

Zur gezielten Wurzelsteuerung stehen sogenannte Wurzelsperren bzw. Wurzelschutzfolien zur Verfügung. Diese bestehen in der Regel aus durchwurzelungsresistentem Polypropylen und werden in einer Tiefe von bis zu ca. 0,75 m eingebaut. Je nach Ausführung verfügen sie über eine glatte oder geriffelte Oberfläche. Letztere soll das Wurzelwachstum gezielt vertikal in die Tiefe lenken.

Die Installation erfolgt in der Regel manuell im offenen Graben, was besondere Sorgfalt bei der Verlegung erfordert.

¹²³ Ihre primäre Funktion liegt dann darin, ein gegenseitiges Vermischen von Materialien zu verhindern: Sie unterbinden das Eindringen von feinen Bodenteilchen aus dem Untergrund in die Tragschicht ebenso wie das Absinken von Gesteinskörnungen aus der Tragschicht in den Untergrund. Dadurch wird die langfristige Funktionsfähigkeit des Oberbaus, z. B. bei wasserdurchlässiger Bauweise, sichergestellt. Zusätzlich erfüllen Geotextilien eine Filterfunktion, sofern mit aufsteigendem Grundwasser oder einsickerndem Oberflächenwasser gerechnet werden muss. Letzteres tritt nicht nur bei wasserdurchlässigen Decken auf (z. B. wassergebundene Decke oder Pflasterbauweise), sondern kann auch bei asphaltierten Radwegen mit bereits vorhandener Rissbildung erfolgen.

- Die Sperre muss oberflächenbündig eingebaut werden, um ein Überwachsen durch oberflächennahe Wurzeln zu verhindern
- Faltenwurf ist zu vermeiden, da dies die Materialintegrität beeinträchtigt und potenzielle Eintrittspunkte für Wurzeln schafft
- Die Sperre muss während der Verfüllung in Position gehalten werden und darf sich nicht umklappen
- Das verwendete Verfüllmaterial (z. B. Schotter) darf die Sperre nicht beschädigen
- Eine sorgfältige Verdichtung ist zwingend notwendig, um spätere Setzungen und damit verbundene Funktionseinbußen auszuschließen

Ein nachträglicher Einbau solcher Sperren ist nicht möglich, wenn vorhandene Wurzeln durchschnitten werden müssten. Der Einsatz empfiehlt sich daher vornehmlich bei Neupflanzungen oder in frühen Entwicklungsstadien von Jungbäumen, wenn ein ausreichender Pflanzabstand zum Bauraum vorhanden ist.



Abb. 25: Wurzelsperren.

Quelle: <https://greenleaf.de/blog/wurzelschutz-wie-unterscheiden-sich-die-technischen-moeglichkeiten>.

Wichtig: Vom Einsatz einer Wurzelfräse bei Baumbestand in unmittelbarer Nähe zu Radwege (oder an Radwegen, die bereits Wurzelaufrühe aufweisen) wird ausdrücklich abgeraten. Das blinde Durchschneiden der Baumwurzel führt zu irreparablen Schädigungen des Baumes.

Wurzelsperren sollen gemäß Herstellerangaben das Wurzelwachstum in eine bestimmte Richtung blockieren. Demnach wachsen die Wurzeln entlang der Sperre in horizontaler Richtung weiter. Um die Stabilität und Standfestigkeit des Baumes nicht zu beeinträchtigen, sollte ein Mindestabstand von 2 Meter zur Baumachse eingehalten werden. Häufig wird die Sperre einseitig, z. B. zur Straßenseite hin, eingesetzt, um Infrastruktur wie Leitungen oder Verkehrsflächen zu schützen.

Eine weitere Variante der Wurzelschutzsysteme stellen Wurzelführungssysteme dar. Diese Systeme verfügen über integrierte Lenkrippen, die das seitlich ansetzende Wurzelwachstum gezielt in die Tiefe umlenken. So wird verhindert, dass Wurzeln horizontale Infrastrukturbereiche (wie Leitungstrassen, Gehwege oder Radwege) beschädigen. Gleichzeitig wird die Standsicherheit des Baumes verbessert, da das Wurzelwerk in tiefere, tragfähige Bodenschichten geführt wird.

Die Höhe der Wurzelschutz oder -führungselemente richtet sich nach der Tiefe der Grabensohle und den Anforderungen des Einzelfalls. In Abhängigkeit von dieser Einbautiefe können Wurzeln unterhalb des Systems weiterhin in horizontaler Richtung weiterwachsen, jedoch außerhalb des geschützten Bereichs.

Ein weiterer Anwendungsbereich robuster Wurzelsperren (z. B. mit einer Materialstärke von mindestens 2 mm) ist der Schutz vor invasiven Pflanzenarten wie japanischem Knöterich, Bambus oder anderen stark wuchernden Arten. In diesen Fällen dient die Sperre als dauerhafte physikalische Barriere gegen das Durchdringen und Ausbreiten der Rhizome.

Der von den Herstellern angegebene Effekt konnte bisher in der Praxis nicht bestätigt werden. Es ist anzunehmen, dass die Wurzeln die Folien unterwachsen und wieder der Oberfläche und der dort verfügbaren Bodenluft zustreben. Das Verfahren wird zurzeit an der L 212 erprobt und kann in den folgenden Jahren weitere Ergebnisse liefern.

Vorteile:

- Schneller und einfacher Einbau

Nachteile:

- Kaum Erfahrungen vorhanden
- Vermutlich geringe Wirksamkeit



Abb. 26: Wannenförmiger Einbau von Wurzelsperren.

Quelle: <https://www.re-natur.de/boeschung-wege/wurzelsperren/wurzelsperre-root-protector.html>.

14.2.4. Belüftungsmaßnahmen/ Wurzelraumerweiterungen

Sowohl im urbanen Raum als auch entlang von Verkehrsanlagen befinden sich Bäume häufig in zu geringem Abstand zu befestigten Flächen. Dies führt nicht nur zu einer eingeschränkten Entwicklung des Wurzelraums, sondern insbesondere auch zu einer unzureichenden Bodenbelüftung im unterirdischen Wurzelbereich durch die stark verdichteten Böden. In Folge dieser Defizite tendieren die Baumwurzeln dazu, in oberflächennahe Bereiche vorzudringen, um dort besser belüftete Bodenabschnitte zu erschließen.

Eine sinnvolle und praxisbewährte Gegenmaßnahme besteht darin, den Bäumen ausreichend belüfteten und strukturstabilen Wurzelraum zur Verfügung zu stellen. Hierzu gehört, sofern technisch möglich, die Umlenkung bzw. kontrollierte Umlagerung der Wurzeln in tiefere Bodenschichten, kombiniert mit einer gezielten Belüftung dieser tieferliegenden Bereiche. Die Belüftung kann beispielsweise über spezielle Belüftungsschächte, -systeme oder Wurzelkammern erfolgen, die eine Sauerstoffversorgung dauerhaft sicherstellen.

Dieses Verfahren ist nicht nur fachlich anerkannt, sondern hat sich auch in der Praxis bewährt, u.a. im Kontext des M EvB¹²⁴. Dort werden entsprechende Techniken und Einbauweisen ausführlich beschrieben und empfohlen.

Die weiteren technischen Grundlagen sowie die praktische Umsetzung solcher Systeme werden im folgenden Abschnitt näher erläutert. Die hier genannten Vor- und Nachteile gelten für alle Umbettungs- bzw. Belüftungsmaßnahmen.

Vorteile:

- Die Wurzeln werden weg von der Oberfläche in (tiefere) wieder durchwurzelbare Zonen gelenkt

Nachteile:

- Sind bereits Starkwurzeln ausgebildet, lassen sich diese nicht mehr umlegen und müssen zusätzlich überbaut werden

¹²⁴ FGSV (2019): M EvB.

14.2.4.1. Wurzelumbettung

Das gezielte Umbetten von Baumwurzeln in tiefere Bodenschichten stellt eine bautechnisch anspruchsvolle, jedoch wirkungsvolle Maßnahme zur Verbesserung des Wurzelraumes dar. Diese Maßnahme ist jedoch nur dann fachlich vertretbar, wenn die betroffenen Wurzeln einen maximalen Durchmesser von 50 mm nicht überschreiten. Ab einem größeren Durchmesser gelten die Wurzeln als verholzt und sind in ihrer Struktur derart ausgehärtet, dass sie nicht ohne erhebliche Schädigung umgelagert werden können.¹²⁵

Ein Umbetten sollte stets mit bodenverbessernden und belüftungsfördernden Maßnahmen kombiniert werden, um das Wurzelwachstum in die neu geschaffenen tiefen Bodenbereiche zu ermöglichen und langfristig zu sichern. Wichtig ist dabei, dass die umgelagerten Wurzeln nicht direkt mit dem anstehenden Bodenmaterial überdeckt werden, sondern in eine mindestens 15 cm starke Schottertragschicht eingebettet werden. Diese dient sowohl der mechanischen Stabilisierung als auch der Belüftung.

Darunter sollte ein mindestens 20 cm mächtiger Unterbau aus Vegetationstragschicht angeordnet werden. Zum Einsatz kommt hierbei ein baumverträgliches, überbaubares Substrat nach den FLL-Empfehlungen¹²⁶. Die Umhüllung der Wurzeln mit einem luft- und wasserdurchlässigen Material wie Schotter oder Splitt unterstützt die Belüftung nachhaltig.

Zur Förderung des Wurzelwachstums kann diesem Baumsubstrat ein Wurzellockstoff zugesetzt werden. Dabei handelt es sich meist um ein Sand-Huminstoff-Gemisch, das als Depotdüngung wirkt und über mehrere Jahre hinweg eine attraktive Nährstoffquelle für Baumwurzeln darstellt.¹²⁷ Bislang konnte jedoch noch kein effektiver Einsatz nachgewiesen werden. Trotz des vielversprechenden Begriffs kann die Verwendung hier nicht empfohlen werden.

¹²⁵ Vgl. Heidger, Clemens (2008): *Die Sanierung von Belagsschäden. (=Technische Informationen der TerraTextura, Ausgabe 09/2008).* Isernhagen, S. 1f.

¹²⁶ Vgl. ebd., S. 4.

¹²⁷ Vgl. ebd., S. 4.

Im Bereich der Baumscheibe ist der Einsatz von Wurzelbrücken empfehlenswert, um oberflächennahe Starkwurzeln zu überbauen, ohne diese mechanisch zu belasten. Dabei ist sicherzustellen, dass die Konstruktion nicht direkt auf den Wurzeln aufliegt, um Schäden am Wurzelsystem zu vermeiden.

14.2.4.2. Flächenbelüftung

Bei der Flächenbelüftung erfolgt eine gezielte Durchlüftung des Bodens sowohl horizontal als auch vertikal, mit dem Ziel, den umgebenden Bodenraum für die Durchwurzelung aufzubereiten. Voraussetzung ist, dass die Wurzeln auf locker gelagertes, strukturstabiles und durchwurzelbares Substrat treffen. Wird die Durchwurzelung durch dichte oder undurchlässige Bodenschichten (z. B. Sandlinsen, verdichtete Planumbereiche) verhindert, bleibt der Effekt dieser Maßnahme auf die oberflächennahen Zonen beschränkt.

Erfahrungen aus der Praxis, insbesondere aus dem Pflanzgrubenmodell nach Heidger¹²⁸, zeigen, dass durch

den Einbau einer luftführenden Tragschicht im Seitenraum der Pflanzgrube der umgebende Raum mit signifikant geringerem Energieaufwand durchwurzelt wird als bei konventionellen Bauweisen. Die seitliche Ausdehnung des durchwurzelteten Bereichs wurde in der Praxis deutlich größer festgestellt als zuvor angenommen.

14.2.4.3. Grabenbelüftung

Die sogenannte Grabenbelüftung stellt eine weitere Möglichkeit dar, den Wurzelraum gezielt zu belüften und zu erschließen. Die technische Umsetzung dieser Maßnahme ist unter anderem im „Merkblatt zur Erhaltung von Verkehrsflächen mit Baumbestand“ (M EvB) sowie in den „Hinweisen zur Straßenbepflanzung in bebauten Gebieten“¹²⁹ beschrieben.

Die Planbarkeit und Durchführung einer Grabenbelüftung setzt eine detaillierte Bestandsaufnahme der vorhandenen Starkwurzelsarchitektur voraus. Hierzu wird zunächst das Niveau der Starkwurzeln durch Freilegung und Höhennivellement erfasst. Der am intensivsten

128 Vgl. Heidger, Clemens (2008a): *Straßenbäume – sind Wurzeln lenkbar? Vermeidung von Schäden im Erd- und Straßenbau durch Straßenbäume* (=Technische Informationen der TerraTextura, Ausgabe 09/2008). Isernhagen, S. 4.

129 Vgl. Heidger, Clemens (2008a): *Straßenbäume – sind Wurzeln lenkbar? Vermeidung von Schäden im Erd- und Straßenbau durch Straßenbäume* (=Technische Informationen der TerraTextura, Ausgabe 09/2008). Isernhagen, S. 4.

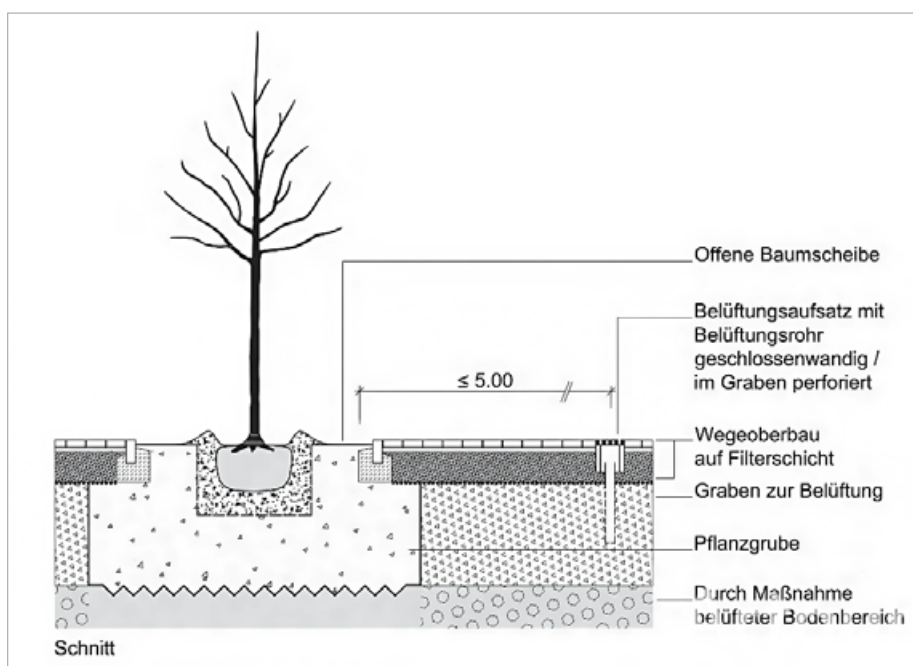


Abb. 27: Grabenbelüftung.
Quelle: FLL e. V. 2010.

durchwurzelter Bereich wird anschließend als Wurzelkorridor definiert, innerhalb dessen der Belüftungsgraben anzulegen ist. Die Lage und Tiefe dieser Korridore kann durch Suchschachtungen oder Georadaruntersuchungen bestimmt werden. Eine Kenntnis der unterirdischen Leitungsinfrastruktur ist dabei zwingend erforderlich.

Die Gräben sind möglichst wurzel- und bodenschonend herzustellen, idealerweise ohne Einsatz schwerer Baumaschinen. Die Mindestdiefe des Grabens beträgt 1,20 m, bei einer Breite von mindestens 0,50 m. Zur Belüftung werden darin senkrecht geführte, offenwandige Rohre (z. B. DN 100) eingebaut, die bis etwa 10 cm über der Grabensohle reichen. Der Abstand der Rohre sollte ca. 3,00 m betragen. Der obere Abschluss der Rohre erfolgt mittels durchlässiger Aufsätze, die eine Anbindung an die Oberfläche gewährleisten.

Erst die Kombination aus Belüftung und durchwurzelbarem Substrat innerhalb des Grabens schafft ein optimales Wurzelwachstums milieu. Studien belegen, dass ein grabenförmiger Belüftungskörper zu einer deutlich feststellbaren Reaktion des Wurzelsystems führt. Die Durchwurzelung erfolgt insbesondere entlang der Kontaktflächenzone zum Graben, wobei die intensivste

Wurzelaktivität im Sohlbereich beobachtet wurde. Die seitliche Erschließung reichte dabei über mehr als 3,00 m hinaus.¹³⁰

14.2.4.4. Tiefenbelüftung

In beengten urbanen Standorten, wie z. B. Grünstreifen zwischen Straße und Radweg, eignet sich die Tiefenbelüftung als platzsparende Methode zur Schaffung eines funktionalen Wurzelraums. Dabei werden punktuelle, vertikale Belüftungsschächte mit geringem Querschnitt angelegt. Das zentrale Element bildet ein Belüftungsröhr, das in eine ummantelnde Schicht aus offenporigem Substrat eingebettet wird. Diese Kombination ermöglicht sowohl eine Zufuhr von Sauerstoff als auch eine Durchwurzelung in der Tiefe.

Die Wirksamkeit der Tiefenbelüftung wurde analog zur Grabenbelüftung nachgewiesen: Auch hier kam es in sämtlichen dokumentierten Fällen zu einer signifikanten Veränderung der Wurzelverteilung und -richtung. Die Maßnahme bewirkte eine gezielte Verlagerung des Wachstums in tiefere Bodenschichten, was in der Praxis einer Umkehr des artspezifischen Wurzelverhaltens gleichkommt.

130 Vgl. Heidger (2008a), S. 2.

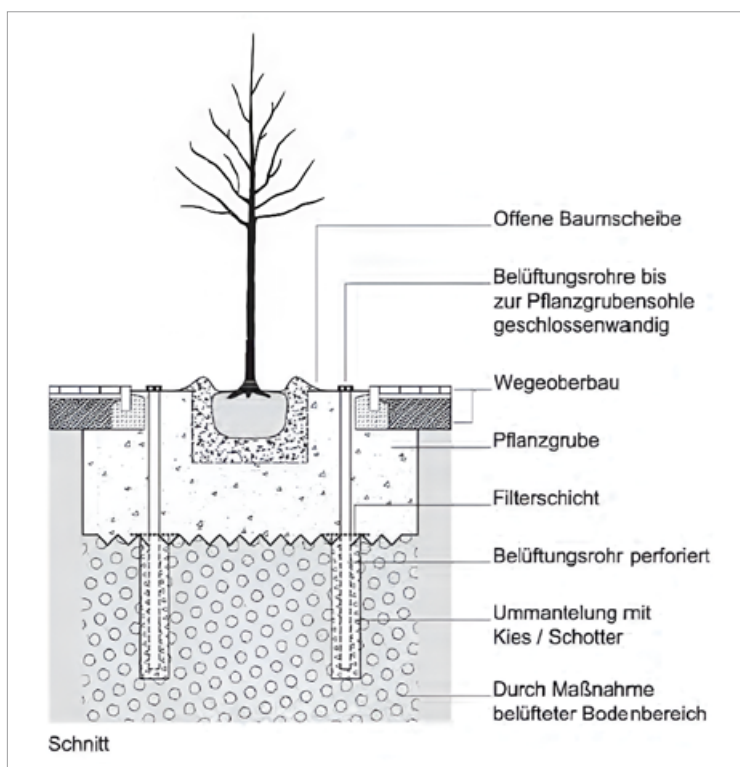


Abb. 28: Tiefenbelüftung.

Quelle: FLL e. V. 2010.

Während Bäume unter natürlichen Standortbedingungen primär eine geotrope Hauptwurzel (senkrecht nach unten) und horizontale Seitenwurzeln ausbilden, passen sich die Wurzeln unter urbanen Bedingungen der Kleinräumigkeit und Struktur der luftführenden Zonen flexibel an. Die Tiefenbelüftung fördert dieses adaptive Verhalten und ermöglicht ein nachhaltiges Wurzelwachstum auch unter beengten Standortverhältnissen.

„Wie bereits bei der Grabenbelüftung nachgewiesen, führt auch die Tiefenbelüftung immer zu einer deutlichen Reaktion am Wurzelsystem des Straßenbaumes. In sämtlichen Fällen kam es zu einer Änderung des Wurzelsystems. Die punktuellen Tiefenbelüftungen bewirkten eine Umkehrung des artspezifischen Wurzelwachstums.“¹³¹

14.2.4.5. Pneumatische Sanierung

Einige Baumpflegebetriebe bieten Verfahren an, die eine nachträgliche Verbesserung der Bodenverhältnisse im Wurzelraum von Bestandsbäumen ermöglichen, ohne dabei größere Eingriffe im Boden vorzunehmen. Eine etablierte Methode ist der Einsatz sogenannter Druckluftlanzen. Dabei wird komprimierte Luft mit pulsierendem, niedrigem Druck in den Boden eingebracht, um bestehende Verdichtungen zu lösen, Porenräume zu öffnen und so die Standortbedingungen gezielt zu verbessern und das Wurzelwachstum wieder in tiefere Bodenschichten zu lenken.

Diese Maßnahme eignet sich besonders für bereits befestigte Flächen, etwa unter bestehenden Radwegen, da sie ohne Grabungen durchgeführt werden kann und ganzjährig anwendbar ist. Die Druckluft provoziert Risse und Spalten im Wurzelraum, die anschließend mit einem lockeren, nährstoffreichen Substrat verfüllt werden. Dadurch wird nicht nur die Luft- und Wasserführung im Boden verbessert, sondern auch die Etablierung einer langfristig stabilen Bodenstruktur unterstützt. Hersteller geben eine Wirkdauer von 10 bis 12 Jahren an.

Ziel ist es, das Wurzelwachstum in tiefere, belüftete Bodenzonen zu lenken und dadurch eine oberflächennahe Durchwurzelung im Grobporenraum zwischen Trag- und Deckschicht zu vermeiden.

Die Maßnahme kann somit auch dort eingesetzt werden, wo das Höhenniveau der Verkehrsfläche (z. B. des Radwegs) nicht verändert werden darf.

Eine Untersuchung von Dr. Katharina Weltecke, Oliver Löwe und Prof. Dr. Thorsten Gaertig (2024) zeigt, dass der Sanierungserfolg stark von der Bodenart abhängig ist: Besonders in sandigen Böden konnte eine signifikante Strukturverbesserung erzielt werden, während in schluffigen und tonigen Böden geringere Effekte beobachtet wurden.¹³²

Weitere Ergebnisse zeigten, dass sich die Kombination aus Druckluft und Stützgranulat als am wirksamsten erwies. Die alleinige Verwendung von Wasser als Aufbruchmedium zeigte die geringste Wirkung. Ein weiterer entscheidender Faktor ist der Abstand der Injektionspunkte: Ein Raster von etwa 1 m gilt als optimal in Bezug auf Wirkung und Wirtschaftlichkeit.

Je höher die Verdichtung des Bodens, desto größer ist das Potenzial zur Bildung neuer Porenräume. Allerdings kann eine unzureichende Verzahnung zwischen verschiedenen Bodenschichten dazu führen, dass sich die Druckluft horizontal zwischen den Bodenschichten entlädt, was die Effizienz der Maßnahme mindert.

Auch die Qualität und Quantität des verwendeten Stützgranulats sind entscheidend. Das Material muss druckstabil sein und seine Korngröße dauerhaft beibehalten. In einigen Fällen war die eingebrachte Menge im Verhältnis zum geschaffenen Porenvolumen unzureichend, was die Langzeitwirkung einschränkte. Künftige Anwendungen sollten daher das Volumen des einzubringenden Granulats gezielt anpassen.

Da die Wirkung der Maßnahme innerhalb eines Jahres deutlich abnimmt, ist eine regelmäßige Wiederholung erforderlich, idealerweise ergänzt durch biologische Maßnahmen zur Reaktivierung des Bodenlebens. Die Belüftungstiefe sollte bei jeder Anwendung variieren, um eine möglichst flächendeckende Verbesserung im verdichteten Horizont zu erzielen.¹³³

¹³² Vgl. Weltecke/u.a. (2024): *Sanierung von Bodenschadverdichtung an urbanen Baumstandorten (SANURBAUM)*, Göttingen, S. 48.

¹³¹ Heidger (2008a): S. 2.

„Die Sanierung mit Druckluftlanzen ist ein vielversprechendes Verfahren zur Verringerung der Bodenverdichtung. In Anbetracht der Komplexität und der Vielzahl der beteiligten Parameter ist es jedoch nicht ratsam, im Sinne von „hinfahren und sanieren“ zu arbeiten. Die Bodenart und die Lage des Verdichtungshorizontes sollten vor der Sanierung bestimmt werden, um Parameter wie Sanierungsabstand, Belüftungstiefe, Druck, sowie die Menge erforderliche Menge an Stützgranulat anzupassen und ein optimales Ergebnis zu erzielen.“

Vor der Anwendung sind eine standortspezifische Bodenanalyse sowie die Ermittlung des Verdichtungshorizonts unerlässlich. Auf dieser Basis lassen sich zentrale Sanierungsparameter wie Rasterabstand, Eindringtiefe, Druckstufe und Granulatmenge optimieren.

Erfahrungen aus Hamburg zeigen, dass Belüftungssysteme mit pulsierendem Druck zu bevorzugen sind. Ein Pilotprojekt der Stadt kombinierte diese Form der Bodenverbesserung mit Flächenbelüftungsmaßnahmen und offenporige Materialien für die Sanierung von Parkraum im Altbaumbestand.¹³⁴

Gemäß Herstellerangaben können nach der Druckluftbehandlung oberflächennahe Wurzeln entfernt werden, ohne die Baumvitalität zu gefährden. Diese Maßnahme sollte jedoch nur durch einen Baumpflegefachbetrieb durchgeführt werden. Dadurch entfällt ihre negative Wirkung auf die Deckschicht, was diese Methode besonders für Bereiche interessant macht, in denen das Höhenniveau der befestigten Fläche nicht angehoben werden kann. Eine Sanierung im Bestandsniveau könnte somit möglich werden, ohne dass erneute Schäden durch Wurzelhebung zu erwarten sind. Die Bodenbeschaffenheit sollte jedoch regelmäßig kontrolliert werden und die Maßnahme entsprechend wiederholt angewendet werden.

Vorteile:

- Grabenloses Verfahren, keine großflächigen Erdarbeiten oder Eingriffe in bestehende Verkehrsflächen notwendig
- Ganzjährig anwendbar
- Geeignet für befestigte Flächen, wie bestehenden Radwege, Gehwege oder Pflasterflächen.
- Schonung des Wurzelraums
- Zielgerichtete Verbesserung der Bodenstruktur: Bildung von Poren, Rissen und Spalten zur Verbesserung von Luft- und Wasserhaushalt
- Förderung tiefreichenden Wurzelwachstums
- Kombinierbar mit Substrat- oder Granulateinbringung, Anreicherung des Bodens mit Nährstoffen, Verbesserung der langfristigen Bodenstruktur
- Flexible Sanierungsparameter: Anpassung von Rasterabstand, Druck, Eindringtiefe und Materialmenge möglich

Nachteile:

- Wirkung abhängig von Bodenart
- Begrenzte vertikale Wirkungstiefe, Wirkung beschränkt sich auf unmittelbaren Injektionsbereich
- Wirkung nimmt mit der Zeit ab. Deutlich reduzierter Effekt nach ca. einem Jahr, regelmäßige Wiederholung notwendig
- Abhängig von korrektem Sanierungsraster
- Erfordert genaue Standortanalyse
- Unzureichende Menge an Stützgranulat in der Praxis: Effektivität leidet, wenn Porenvolumen nicht ausreichend stabilisiert wird
- Nicht geeignet für stark tonige oder wassergesättigte Böden
- Hoher organisatorischer Aufwand bei großflächiger Anwendung

¹³³ Ebd., S. 49.

¹³⁴ <https://www.hamburg.de/politik-und-verwaltung/behoerden/bvm/aktuelles/pressemeldungen/2021-09-01-bvm-umbau-esplanade-519588>
(Stand: 04.08.2025).

15. Pilotstrecken

Im Folgenden erfolgt die detaillierte Darstellung der im Projektverlauf begleiteten und begutachteten Pilotstrecken. Ergänzend zur tabellarischen Übersicht werden, soweit verfügbar, der Ausgangszustand sowie der Zustand während und nach Durchführung der Instandsetzungsmaßnahmen dokumentiert. Liegt eine Bewertung der Maßnahme vor, ist diese jeweils am Ende des entsprechenden Abschnitts vermerkt.

15.1. Radweg an der L 92

Lage

Der Radweg entlang der Landesstraße L 92 verläuft vom Lübecker Stadtteil St. Jürgen in südwestlicher Richtung in den Kreis Ostholstein. Ausgangspunkt ist der Kreuzungsbereich der Kronsforde Landstraße (Richtung Lübeck). Der bauliche Zustand des Radwegs war insgesamt als sehr schlecht zu bewerten. In der Vergangenheit wurden bereits mehrfach punktuelle Instandsetzungen vorgenommen, die sich jedoch in Materialwahl und Ausführung deutlich unterscheiden.

Radweg an der L 92 Kronsforde (Kreis Lübeck)

Sanierungsgröße	Grundhafte Erneuerung
Umsetzungsstand	Bauende 2024
LRVN	Netzebene 2
Länge der Maßnahme	2.600 m
Erläuterung Aufbau und Material	<ul style="list-style-type: none"> • Sanierung erfolgt in Asphaltbauweise. • Erhöhung des Radweges um 13 cm • Erhöhung mit einer ca. 6 % Neigung von der Fahrbahn zum Radweg vorgesehen • Zusätzlich auf der verbleibenden Tragschicht ein Geotextil der Robustheitsklasse 4 verlegt, das 0,25 m pro Seite in den Bankettbereich überlappt • Neue Radwegbreite von 2,5 m • Tragschicht zum Höhenausgleich aus FSS 0/32 hergestellt • Aufbau nach RStO 12 Ausgabe 2012, Tafel 1, Zeile 3 • Über- und Feldzufahrten mit einer Tragschicht aus AC 16 TN vor profiliert und mit einer 3,5 cm Deckschicht AC 8 DN aufgebaut
Tragschicht	8,0 cm Asphalttragschicht AC 22 TN/ AC 32 TN
Frostschuttschicht	13,0 cm FSS 0/32
Deckschicht	2,5 cm Asphaltbeton AC 5 DL
Vegetationstechnische Maßnahme	Horizontale Wurzelsperre (Geotextil Kl. 4)
Kosten der gesamten Maßnahme	Kosten lagen zur Drucklegung noch nicht vor



Quelle: LBV.SH

Abb. 29: Lage der L92



Zustand vor der Instandsetzung

Die vorhandenen Sanierungsstellen erstrecken sich jeweils über die gesamte Breite des Radwegs und wiesen Längen zwischen ca. 0,70 m und 1,50 m auf. Verwendet wurden unterschiedliche Materialien, u. a. verschiedene Asphaltarten mit abweichender Körnung und Farbgebung sowie Betonpflaster. Zahlreiche Schadensstellen wurden zur Beseitigung von Wurzeleinwüchsen ausgebessert. Allerdings befinden sich nicht alle dieser Flickstellen in unmittelbarer Nähe von Bäumen, sodass weitere Schadensursachen zu vermuten sind. An nahezu allen reparierten Stellen sind erneute Schäden feststellbar. Teilweise heben sich Pflastersteine bereits wieder um ca. 2 cm an, was zu relevanten Unebenheiten führt.



Auch in baumfreien Abschnitten ist der Radweg flächendeckend von Querrissen durchzogen, in denen sich bereits Vegetation (Gräser, Kräuter) angesiedelt hat. Die Nähe mehrerer Altbäume (Abstände teils < 1,0 m zum Weg) begünstigt die Entstehung von Wurzelschäden. Da sich die Bäume im Grünstreifen zwischen Fahrbahn und Radweg befinden und der durch Verdichtung versiegelte Straßenunterbau nicht durchwurzelbar ist, steht den Bäumen nur ein begrenzter Wurzelraum zur Verfügung. Zudem liegt das Niveau des Radwegs unterhalb der Baumpflanzung.

Quelle: Müller (März 2024)

Abb. 30/31: Zustand des Radwegs an der L 92 vor der Instandsetzung.

Aufgrund des seitlichen Gefälles in Richtung des Radwegs und des dahinterliegenden Entwässerungsgrabens erfolgt der Wasserabfluss verstärkt in Richtung der Baumseite, was die Durchwurzelung und Schädigung des Radwegs zusätzlich begünstigt.

Das Schadensbild ist vielgestaltig und umfasst Netzzrisse, Quer- und Längsrisse, kreisförmige Absackungen sowie randliche Abbrüche. Besonders ausgeprägt sind Quer- und Netzzrisse, in denen sich Vegetation etablieren konnte, wodurch eine fortschreitende Schädigung zu erwarten ist. Auch im Bereich von Zufahrten, insbesondere durch landwirtschaftliche Nutzung, sind strukturelle Schäden vorhanden.

Instandsetzungsmaßnahme

Aufgrund des Umfangs und der Tiefe der Schäden ist eine grundlegende Sanierung des Radwegs zwingend erforderlich. Die Sanierung erfolgt in Asphaltbauweise unter vollständiger Erneuerung des Aufbaus. Geplant ist eine Erhöhung des Radwegs um 13 cm gegenüber dem Bestand, bei einem seitlichen Quergefälle von ca. 6 % von der vorhandenen Fahrbahn hin zum Radweg.

Nach dem Ausbau des vorhandenen Asphalts wird auf der verbleibenden Tragschicht ein Geotextil der Robustheitsklasse 4 verlegt. Dieses überlappt seitlich jeweils 0,25 m in den Bankettbereich, sodass sich eine Gesamtbreite des Einbaubereichs von 2,50 m ergibt. Zur Höhenanpassung wird eine zusätzliche Tragschicht aus Frostschutzmaterial FSS 0/32 eingebaut.

Darauf erfolgt der Einbau des neuen Asphaltoberbaus gemäß RStO 12, Tafel 1, Zeile 3, wie folgt:

- Asphalttragschicht (AC 22 TN): 8,0 cm
- Asphaltdeckschicht (AC 5 DL): 2,5 cm

Im Bereich von Überfahrten und landwirtschaftlichen Zufahrten erfolgt der Aufbau wie folgt:

- Tragschicht (AC 16 TN): profiliert
- Deckschicht (AC 8 DN): 3,5 cm

Bewertung der Maßnahme

Für eine abschließende Bewertung ist eine weitere Überprüfung nach einigen Jahren notwendig.



Quelle: Müller (Oktober 2024)

Abb. 32: Eingebautes Wurzelvlies

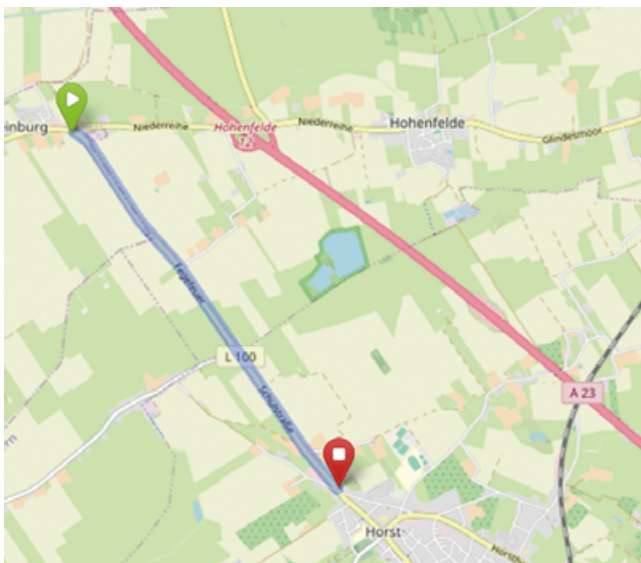


Quelle: Müller (2025)

Abb. 33: Zustand nach Fertigstellung L 92

15.2. Radweg an der L 100

L 100 Horst (Kreis Steinburg)	
Sanierungsgröße	Grundhafte Erneuerung
Umsetzungsstand	Bauende 2018
LRVN	Netzebene 2
Länge der Maßnahme	5.300 m
Erläuterung Aufbau und Material (Bauabschnitt 1)	
Frostschuttschicht	10,0 cm Frostschuttschicht 0/45
Deckschicht	<ul style="list-style-type: none"> • 4,0 cm wassergebundene Deckschicht 0/11 • HanseGrand Robust ohne Stabilizer • Wegen geringer Scherfestigkeit nachgebessert mit: 2,5 cm HanseGrand Robust 0/5 mit Stabilizer
Vegetationstechnische Maßnahme	keine
Erläuterung Aufbau und Material (Bauabschnitt 2)	
Tragschicht	8,0 cm Asphalttragschicht AC 16 T N
Frostschuttschicht	10,0 cm starke Frostschuttschicht 0/45 überhöht eingebaut
Deckschicht	2,5 cm Asphaltdeckschicht AC 5 D L
Vegetationstechnische Maßnahme	keine
Kosten der gesamten Maßnahme	400.000 €



Lage

Der entlang der Landesstraße L 100 im Kreis Steinburg verlaufende gemeinsame Geh- und Radweg wurde in zwei Bauabschnitten mit unterschiedlichen bautechnischen Maßnahmen auf gesamter Länge saniert. Ursprünglich war der Radweg durchgängig in Asphaltbauweise befestigt.

Quelle: openstreetmaps.de

Abb. 34: Lage der L 100

Zustand vor der Instandsetzung

Abschnittsweise befinden sich direkt neben dem Radweg zahlreiche Bäume. Der Radweg wies im Bereich der Bäume starke Wurzelaufbrüche auf, wobei sich die Wurzeln teilweise nur wenige cm unterhalb der Asphaltoberfläche befanden.

Instandsetzungsmaßnahmen

1. Bauabschnitt (2018)

Im Rahmen des ersten Bauabschnitts wurde die vorhandene Asphaltbefestigung vollständig entfernt. Im Bereich von Wurzelaufbrüchen erfolgte dies händisch. Anschließend wurde folgender Aufbau hergestellt:

- Frostschuttschicht (FSS 0/45): 10,0 cm
- Deckschicht (wassergebunden, HanseGrand Robust 0/11 ohne Stabilizer): 4,0 cm

Nach Inbetriebnahme zeigten sich Mängel hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit: Das Material ohne Stabilizer erwies sich als rollig und wies eine unzureichende Scherfestigkeit auf. Zur Verbesserung der Stabilität wurde nachträglich eine weitere Deckschicht aus HanseGrand Robust 0/5 mit Stabilizer in einer Stärke von 2,5 cm aufgebracht.

Der vorhandene Untergrund bestand aus Feinsanden bis in eine Tiefe von ca. 50 cm, welche als frostsicher einzustufen sind. Damit war die gemäß RStO 12 geforderte Dicke des frostsicheren Oberbaus erfüllt.

Entlang des Weges verläuft eine durchgehende Baumreihe (überwiegend Eichen, vereinzelt Ahorn) im Grünstreifen zwischen Straße und Radweg. Zwischen Bäumen und Straße befindet sich ein Entwässerungsgraben. Der Radweg wirkt auf den ersten Blick in einem ordnungsgemäßen Zustand, bei genauerer Betrachtung treten jedoch folgende Probleme auf:

- **Einwuchs durch Vegetation:** Gräser dringen bereits seitlich bis zu 40 cm in die Wegfläche ein
- **Ameisenaktivität:** Es sind zahlreiche Ameisenkolonien vorhanden, deren Ein- und Ausgänge sich sowohl am Wegrand als auch auf der Wegoberfläche befinden

- **Verlust des seitlichen Gefälles:** Das ursprünglich hergestellte seitliche Gefälle ist durch Materialverlagerung (insbesondere feines Material durch Wasser- oder Windabtrag) nicht mehr wirksam. In Richtung der Entwässerung hat sich eine Materialanhäufung gebildet, wodurch der Wasserabfluss behindert wird
- **Pfützenbildung und Störung der Entwässerung:** Durch die veränderte Topografie entstehen lokale Vertiefungen und Fehlentwässerungen (Pflege- und Nutzungsfehler)
- **Materialverlagerung:** Am oberen Ende des Gefälles ist vorrangig gröberes Material sichtbar; das feinkörnige Material wurde dort bereits abgetragen
- **Spurrillenbildung:** Trotz nachträglicher Auflage einer stabilisierten Deckschicht zeigen sich typische Spurrillen infolge der Befahrung durch Radfahrende



Abb. 35: Schaden durch Wühlmäuse im Radweg an der L 100.



Abb. 36: Schaden durch Ameisen im Radweg an der L 100.

Quelle alle Bilder: Müller (2025)

2. Bauabschnitt (Pilotmaßnahme)

Im zweiten Bauabschnitt wurde die vorhandene Asphaltbefestigung vollständig abgefräst bzw. im Bereich von Wurzelaufbrüchen händisch aufgenommen. Ziel war es, einen verbesserten Wurzel- und Schichtenabstand herzustellen.

Der Aufbau erfolgte wie folgt:

- Frostschutzschicht (FSS 0/45): 10,0 cm, überhöht eingebaut
- Asphalttragschicht (AC 16 TN): 8,0 cm
- Asphaltdeckschicht (AC 5 DL): 2,5 cm

Bewertung der Maßnahme

Trotz dieser konstruktiven Anpassungen zeigten sich nach einer Beobachtungszeit von rund zwei Jahren erneut erste Wurzelaufbrüche. Nach etwa sechs Jahren sind in diesem Abschnitt wieder deutliche Schäden durch Wurzeleinwuchs erkennbar.



Abb. 37:
Schäden durch Wühlmäuse im Radweg an der L 100.



Abb. 38: Zustand des Radwegs an der L 100 nach der Instandsetzungsmaßnahme.



Abb. 39: Zustand des Abschnittes mit Asphaltdecke fünf Jahre nach der Instandsetzung.

15.3. Radweg an der L 119

L 119 zwischen Neuenbrook und Grevenkop (Kreis Steinburg)	
Sanierungsgröße	Grundhafte Erneuerung
Umsetzungsstand	Bauende 2020
LRVN	Netzebene 2
Länge der Maßnahme	1.800 m
Erläuterung Aufbau und Material	<ul style="list-style-type: none"> • Kaltrecycling ohne Zugabe von Bindemitteln und Bau in Betonbauweise (Ortbetondecke) • Zwischenschicht als Vliesstoff nach M VuB
Schichtdicke	12 cm
Verstärkte Schichtdicke	16 cm
Festigkeitsklasse	C 30/37
Expositionsklasse	XF 4
Gesteinskörnung	Größer 8 mm 0 100 M. v. H. GK C90/1
Fugen	Anschlussfugen, Querscheinfugen, (Entspannung-) Raumbfugen
Kosten der gesamten Maßnahme	200.000 €

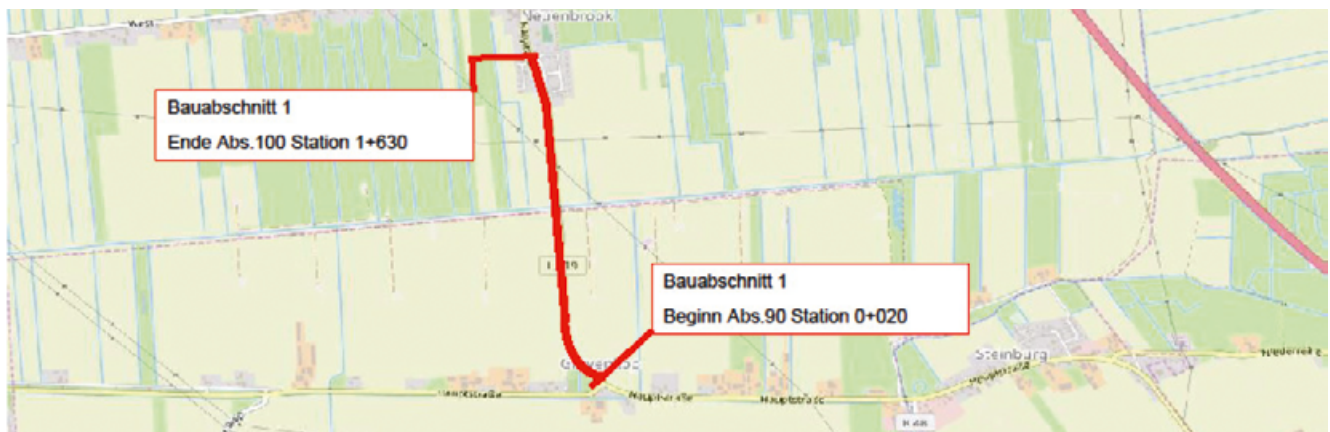


Abb. 40: Lage der L 119

Lage

Der im Jahr 2020 grundhaft erneuerte Radweg befindet sich im Kreis Steinburg, südlich von Itzehoe, zwischen den Gemeinden Grevenkop und Neuenbrook. Die Länge des in dieser Bauweise sanierten Abschnitts beträgt 1.773 m.



Abb. 41/42: Zustand des Radwegs an der L 119 vor der Instandsetzungsmaßnahme.



Zustand vor der Instandsetzungsmaßnahme

In der Fahrbahnoberfläche des Radweges der L119 waren etliche Netz-, Quer- und Längsrisse erkennbar. Hauptursache der Schäden an dem früheren Aufbau soll Ackerschachtelhalm gewesen sein.¹

Instandsetzungsmaßnahme

Die Erneuerung erfolgte in zwei Schritten:

- Kaltrecyclingverfahren ohne Bindemittelzusatz zur Wiederverwertung der vorhandenen Asphaltsschichten in einer Tiefe von 10,0 cm
- Neubau einer Ortbetondecke in einer Stärke von 12,0 cm

Ein zentrales Problem im Bestand war der massive Einwuchs von Ackerschachtelhalm, dessen weitreichende Wurzelausläufer die Asphaltdecke durchdringen konnten. Ziel der Umstellung auf Betonbauweise war eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber Wurzeldruck sowie eine gesteigerte Nutzungsdauer.

Der vorhandene Oberbau wurde zunächst vollständig abgefräst. Anschließend wurden sowohl die gebundenen als auch die ungebundenen Schichten in situ aufgefräst, aufbereitet und profiliert.

Gemäß dem Merkblatt für die Anwendung von Vliesstoffen unter Fahrbahndecken aus Beton (M VuB) wurde eine Zwischenschicht aus Vliesstoff eingebaut. Darauf wurde die Ortbetondecke einlagig mittels Gleitschalungsfertiger hergestellt. In Bereichen mit erhöhter Beanspruchung wurde der Beton zusätzlich durch Erhöhung der Deckendicke von 12 cm auf 16 cm verstärkt.

¹ Vgl. Study.Ing/LBV.SH (2022): Projektbericht. Lösung des Problems von Wurzelaufbrüchen bei Radwegsanierungen, S. 39.

Abb. 43/44: Zustand des Radwegs an der L 119 nach der Instandsetzungsmaßnahme.

Die Betonoberfläche wurde in Querrichtung mit einem Stahlbesen bearbeitet, um eine griffige Struktur zu erzeugen. Abschließend wurden die erforderlichen Fugen angelegt.

Bewertung der Maßnahme

Bei der erneuten Begehung des Radwegs zeigte sich die Betondecke selbst in sehr gutem Zustand:

- **Wurzeleinwuchs:** Es sind keine Schäden durch Baumwurzeln oder Krautwuchs (insbesondere Ackerschachtelhalm) feststellbar. Das zuvor dominante Wurzelkraut ist im gesamten Abschnitt nicht mehr vorhanden

- **Oberflächenbild:** Die Oberfläche wirkt auf den ersten Blick ebenmäßig und funktional. Vereinzelt ist ein geringfügiger Materialverlust sichtbar, der jedoch vermutlich bereits werkseitig bestand

Ein deutlich erkennbarer Nachteil stellt der Zustand der Fugenabdichtungen dar:

- Die eingesetzten Gummiprofile sind teilweise stark abgesunken, ausgetrocknet, porös und rissig
- Infolge der beschädigten Fugenabdichtung kommt es zu erheblichem Graseinwuchs (z. B. Quecke). Der Einwuchs beschränkt sich ausschließlich auf die Fugenbereiche, reicht dort jedoch teilweise bis zu 80 cm in die Fahrbahnfläche hinein

Die erneute Begehung in 2025 zeigte bearbeitete und erneuerte Fugen, bei denen dieser Zustand vereinzelt bereits wieder sichtbar wurde.

15.4. Radweg an der L 125

L 125 bei Oldenhütten	
Sanierungsgröße	Grundhafte Erneuerung
Umsetzungsstand	Bauende 2024
LRVN	Netzebene 2
Länge der Maßnahme	
Erläuterung Aufbau und Material	<ul style="list-style-type: none">• Ursprünglich geplant: verschiedene Varianten von Wurzelbrücken, überbaut mit Asphaltdeckschicht 0/5• Umgesetzt: verschiedene Varianten von Wurzelbrücken ohne Deckschichten, dazwischen Pflasterungen und ungebundene Deckschichten
Deckschicht	Keine Pflaster, ungebundene Deckschicht (HanseGrand)
Vegetationstechnische Maßnahmen	Geogitter, Wurzelbrücken aus Stahl, Wurzelbrücken aus Beton (U-Form)
Kosten der gesamten Maßnahme	Kosten sind nicht repräsentativ

Lage

Der instand zu setzende Radweg befindet sich im Kreis Rendsburg-Eckernförde, am südwestlichen Ortsausgang von Oldenhütten in Richtung Bargstedt. Die Baumaßnahme umfasst eine Strecke von insgesamt 230 m.

Zustand vor der Instandsetzungsmaßnahme

Die Zustandserfassung ergab zahlreiche Schädstellen entlang des Radwegs. Frühere kleinteilige Instandhaltungsmaßnahmen waren bereits vorhanden, zeigten jedoch nur temporäre Wirkung und führten langfristig zu einer weiteren Beeinträchtigung des Fahrkomforts.

Als Hauptursache für die Schäden wurde die Wurzelbildung der angrenzenden Bäume identifiziert. Die Bäume, welche sich zwischen Fahrbahn und Radweg befinden, verfügen über unzureichenden Wurzelraum.

Infolge dessen kam es zu:

- Wurzelhebungen, insbesondere unterhalb der Deckschicht
- Oberflächenaufbrüchen
- Absackungen, mit lokaler Pfützenbildung

Zusätzlich trat ein ca. 10 m langer Längsriss entlang des Wegrands auf. Auch Randabsenkungen wurden festgestellt (Abbildung 46/47).

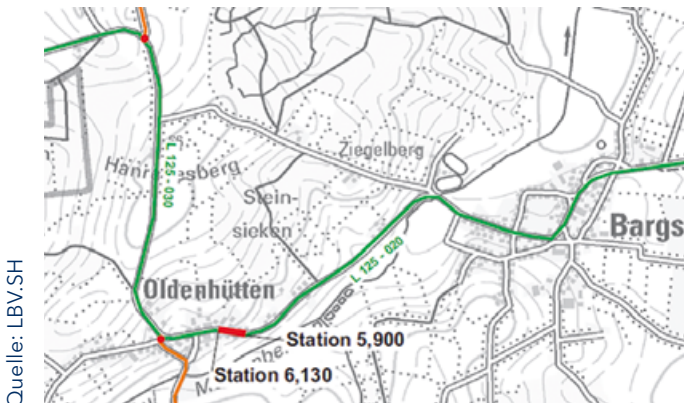


Abb. 45: Lage der L125



Abb. 46/47: Zustand des Radwegs an der L 125 vor der Instandsetzungsmaßnahme.

Instandsetzungsmaßnahme

Aufgrund der überschaubaren Anzahl von etwa 20 Bäumen in regelmäßigen Abständen entlang des Radwegs wurde in der Planung der Einsatz von Wurzelbrücken im Bereich der Wurzelaufbrüche vorgesehen. Ziel war es, verschiedene Typen dieser bautechnischen Lösung zu testen.

Der Auftragnehmer lieferte drei Varianten von Wurzelbrücken:

- Ausführung aus Beton
- Ausführung aus Stahl
- Geozellen

Bewertung der Maßnahme

- **Wurzelbrücken aus Beton:**
 - Herausfordernd in der Planung und im Einbau
 - Effektivität kann erst in den folgenden Jahren evaluiert werden
- **Wurzelbrücken aus Stahl:**
 - Herausfordernd in der Planung und im Einbau
 - Effektivität kann erst in den folgenden Jahren evaluiert werden
 - Eine abschließende Deckschicht erhöht den Fahrkomfort deutlich
- **Geozellen:**
 - Ohne Asphalt- oder Pflasterdeckschicht nicht zu verwenden



Abb. 48-51: Zustand des Radwegs an der L 125 nach der Instandsetzungsmaßnahme.

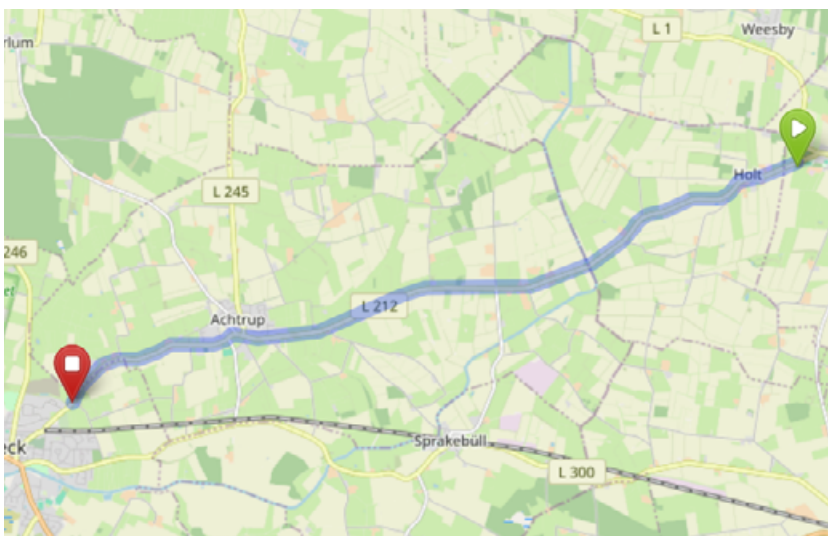
Quelle: Müller (Oktober 2024)

15.5. Radweg an der L 212

L 212 zwischen Leck und Medelby (Kreis Nordfriesland und Schleswig-Flensburg)	
Sanierungsgröße	Grundhafte Erneuerung
Umsetzungsstand	Bauende 2024
LRVN	Netzebene 2
Länge der Maßnahme	12.900 m
Erläuterung Aufbau und Material	<ul style="list-style-type: none"> • Maßnahme: vertikales Wurzelvlies, Einbautiefe 0,75 m • Horizontales Wurzelvlies/Geotextil unter Asphaltdeckschicht • Wurzelbrücken aus Beton • Wassergebundene Deckschicht (HanseGrand)
Tragschicht	8,0 cm Asphalttragschicht AC 22 TN/
Deckschicht	2,5 cm Asphaltbeton AC 5 DL, 4 cm Asphaltdeckschicht AC 11 DN (Zufahrten/Einmündungen)
Vegetationstechnische Maßnahme	Vertikale Wurzelsperren, Horizontale Wurzelsperre (Geotextil Kl. 4), Wurzelbrücken aus Beton.
Kosten der gesamten Maßnahme	2.400.000 €

Lage

Die Abschnitte 010 bis 050 der Landesstraße L 212 verlaufen durch die Kreise Nordfriesland und Schleswig-Flensburg. Die Maßnahme beginnt im Ort Leck, führt über Achtrup und endet in Medelby. Die L 212 stellt eine der wichtigsten Verbindungsachsen zwischen Leck und Medelby dar. Die Gesamtlänge der betroffenen Baustrecken beträgt 12,9 km.



Quelle: LBV.SH

Abb. 52: Lage der L 212

Zustand vor der Instandsetzungsmaßnahme

Der genaue Zustand des Radwegs vor Umsetzung der Maßnahme ist nicht bekannt. Der Abschnitt zwischen Medelby und Achtrup soll weniger von der Problematik betroffen gewesen sein als der Abschnitt zwischen Achtrup und Leck, in in welchem daraufhin Wurzelbrücken aus Beton verbaut worden sind.

Instandsetzungsmaßnahme

Entlang der Strecke wurden in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten insgesamt vier unterschiedliche bautechnische Maßnahmen angewendet, um den Radweg zu sanieren und insbesondere vor Wurzelschäden zu schützen:

• Vertikales Wurzelvlies

In Bereichen mit jungen Bäumen zwischen Straße und Radweg wurde ein vertikales Wurzelsperrvlies eingebaut, um eine seitliche Durchwurzelung zu verhindern.

- Einbautiefe: 0,75 m
- Ausführung: Herstellung eines Grabens, Einlegen des Vlieses, Verfüllung mit dem Aushubmaterial und lagenweises Verdichten gemäß ZTV.

• Horizontales Wurzelvlies/Geotextil

In einem weiteren Abschnitt wurde unterhalb der Asphaltdeckschicht ein horizontales Geotextil eingebaut, das als Sperrschicht gegen aufsteigende Wurzeln wirkt.

• Wurzelbrücken aus Beton

Zur Überbrückung von bekannten Wurzelbereichen kamen Beton-Wurzelbrücken zum Einsatz. Diese ermöglichen den Bäumen eine ungestörte Wurzelentwicklung, ohne die Deckschicht des Radwegs zu beschädigen.

• Wassergebundene Decke (HanseGrand)

In landschaftlich sensiblen Abschnitten oder bei eingeschränktem Bauaufwand wurde der Radweg mit einer wassergebundenen Decke in HanseGrand-Bauweise hergestellt. Diese Maßnahme eignet sich v. a. für weniger stark frequentierte Abschnitte und gewährleistet eine gute Versickerung.



Abb. 53: Einbau des Wurzelvlies an der L 212.



Abb. 54: Betonwurzelbrücken in dem Radweg an der L 212.

In Teilbereichen, in denen bereits oberflächennahe Wurzeleinwüchse vorhanden waren, erfolgte die Freilegung mittels Saugbagger. Je nach Ausmaß der Durchwurzelung wurden die Wurzeln auf Anordnung des Auftraggebers gezielt durchtrennt und behandelt (z. B. mit Wundverschluss oder Wurzelkappung). In diesen Bereichen kann zusätzlich, nach Abstimmung mit dem AG, der Einbau einer vertikalen Wurzelsperre gemäß Leistungsverzeichnis erfolgen.

Bewertung der Maßnahme

- Arbeits- und kostenintensiver Einbau in der Planung und im Einbau
- Effektivität kann erst in den folgenden Jahren evaluiert werden



Quelle: LBV.SH

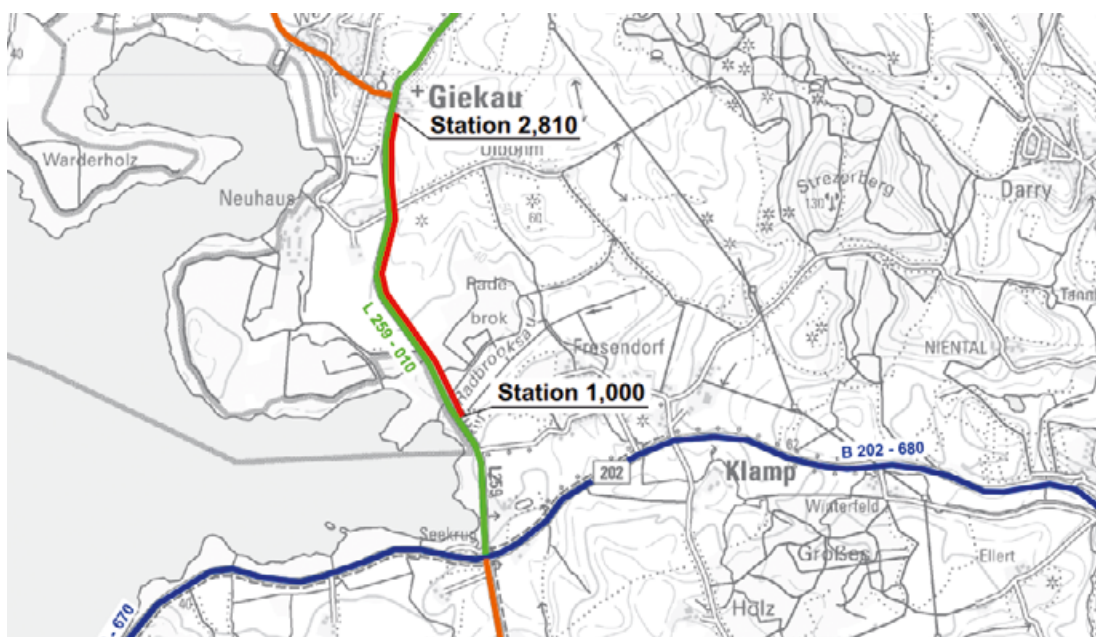
Abb. 55/56: Betonwurzelsperren in dem Radweg an der L 212.

15.6. Radweg an der L 259

L 259 bei Giekau (Kreis Plön)	
Sanierungsgröße	Grundhafte Erneuerung
Umsetzungsstand	Bauende 2021
LRVN	Netzebene 2
Länge der Maßnahme	4.000 m
Erläuterung Aufbau und Material	Verwendung eines Betorecyclingmaterial in ungebundener Bauweise mit einem Antidurchwurzlungsvlies als vegetationstechnische Maßnahme
Tragschicht	Ungebundenes, gebrochenes Betonrecyclingschüttung 0/32
Deckschicht	Ungebundenes, gebrochenes Betonrecyclingmaterial 0/11
Vegetationstechnische Maßnahme	Horizontale Wurzelsperre (Geotextil Kl. 4)
Kosten der gesamten Maßnahme	136.000 €

Lage

Der vorhandene Radweg weist eine Breite von 2,00 m auf und dient als stark frequentierter Schulweg zwischen dem Ort Giekau und der Schule in Seekrug an der Kreuzung L 259/B202. Die Trasse verläuft abschnittsweise durch Niederungsbereiche, insbesondere Ausläufer des Selenter Sees, mit gering tragfähigem Untergrund.



Quelle: LBV.SH

Abb. 57: Lage der L 259

Zustand vor der Instandsetzungsmaßnahme

Aufgrund der alten Seebucht besitzt der Weg einen Teil mit schlechtem Untergrund. Der Zustand vor der Instandsetzungsmaßnahme war gekennzeichnet durch Verhärtungsrisse, Wurzelaufrüche und allgemeine Unebenheiten.¹

Instandsetzungsmaßnahme

Die Baumaßnahme im Streckenabschnitt von Station 1,000 bis 2,810 an der L 259 im Kreis Plön wurde im Jahr 2021 unter Verwendung von Betonrecyclingmaterial in ungebundener Bauweise durchgeführt. Zur Verhinderung von Wurzeleinwuchs wurde zusätzlich ein Anti-Durchwurzelungsvlies als vegetationstechnische Maßnahme eingebaut.

Nach dem vollständigen Fräsen des vorhandenen Radwegaufbaus wurde eine ungebundene Tragschicht aus Schotter 0/32 eingebaut. Die Deckschicht besteht aus verdichtetem Betonrecyclingmaterial 0/11.

¹ Vgl. Study.ING (2022), S. 43.

Während der Bauzeit im April 2021 herrschten unzureichende Niederschlagsmengen, sodass zur Sicherstellung der notwendigen Feuchtigkeitsbindung und Oberflächenverfestigung eine zusätzliche Bewässerung durchgeführt werden musste. Die angestrebte Festigkeit konnte daher erst rund zwei Monate nach Verkehrsfreigabe erreicht werden.²

Die Oberfläche des Radwegs weist eine feinschottrige Struktur auf, die das Versickern von Regenwasser ermöglichen und zugleich das Wurzelwachstum in tiefere Bodenschichten lenken soll, um den Oberbau langfristig vor Durchwurzelung zu schützen.

Besonderes Augenmerk liegt auf dem angrenzenden Baumbestand: Entlang des Radwegs befinden sich mehrere großkronige alte Eichen mit Stammumfängen von über vier Metern, sowie ein kürzerer Abschnitt mit Baumreihen. Die Baumreihen befinden sich überwiegend straßenseitig und sind durch einen Wassergraben vom Radweg getrennt. Einzelbäume sind beidseitig vorhanden, in diesen Bereichen fehlt der Wassergraben.

² Vgl. Ebd., S. 43.

Quelle: Müller (2024)



Abb. 58/59: Zustand des Radwegs an der L 259 nach der Instandsetzung.

Bewertung der Maßnahme

Bislang sind keine Schäden durch erneuten Wurzel-einwuchs erkennbar. Jedoch zeigen sich erste Auffälligkeiten hinsichtlich der gewählten ungebundenen Bauweise (Abbildung 58/59):

- **Vegetationsbewuchs:** Von den Seitenbereichen aus dringt Grasbewuchs zunehmend in die Tragschicht ein
- **Materialverfestigung:** In Teilbereichen ist das Material nicht ausreichend verfestigt und ähnelt in seiner Beschaffenheit lockerem Sand
- **Oberflächenentwässerung:** Pfützenbildung und Wasserrinnen deuten auf mangelnde Ebenheit und teilweise schlechte Wasserdurchlässigkeit hin
- **Alte Deckschichtrückstände:** Stellenweise treten noch Reste der ursprünglichen Deckschicht hervor, die ca. 1 cm über dem neuen Material liegen
- **Körnung und Homogenität:** Das eingebaute Betonrecyclingmaterial zeigt eine ungleichmäßige Kornverteilung. In den Randbereichen sind vereinzelt Steine mit einer Korngröße von 3–5 cm vorhanden, während in der Fahrspurmitte kaum noch Schotteranteile erkennbar sind. Dies lässt auf eine mögliche Entmischung im Verlauf der Nutzungszeit schließen oder bereits eine ungleichmäßige Materialverteilung beim Einbau

15.7. Radweg an der L 308

L 308 bei Hanerau-Hademarschen (Kreis Rendsburg-Eckernförde)

Sanierungsgröße	Grundhafte Erneuerung
Umsetzungsstand	Bauende 2022
LRVN	Netzebene 2
Länge der Maßnahme	900 m
Erläuterung Aufbau und Material	Teststrecke mit 3 Bauabschnitten mit HGT (in-situ)-Verfahren mit zwei Aufbauvarianten und einem Vergleichsabschnitt ohne HGT (in-situ) Dafür wurde der Radweg-Altbestand abgefräst, aufgenommen und unmittelbar vor Ort (in-situ) zu einer neuen HGT verarbeitet.
Bauabschnitt 1	AC 5 D LW (2 cm) auf AC 16 T LW (6 cm) auf Verfestigung mit NovoCrete (25 cm)
Bauabschnitt 2	AC 11 T D LW (4,5 cm) auf Verfestigung mit NovoCrete (25 cm)
Bauabschnitt 3	AC 5 D L (vollflächig) auf Schadstellensanierung mit AC 16 T N
Kosten der gesamten Maßnahme	202.000 €

Quelle: alle Bilder LBV.SH

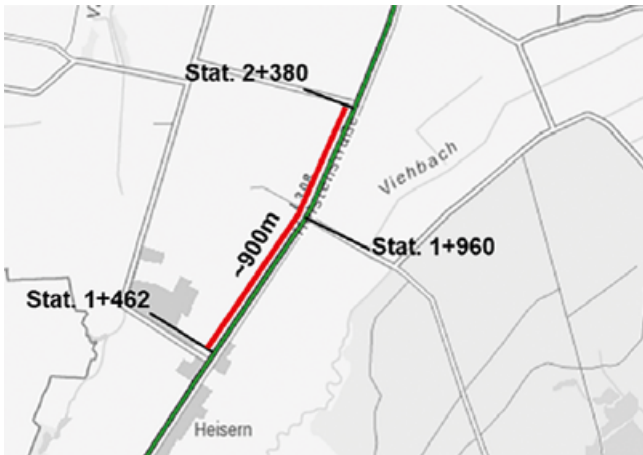


Abb. 60: Lage der L 308.



Abb. 61/62: Lage der L 308.

Lage

Bei dem Radweg entlang der Landesstraße L 308 handelt es sich um eine Pilotstrecke, auf der verschiedene Aufbauvarianten der hydraulisch gebundenen Tragschicht (HGT) in In-situ-Bauweise unter Verwendung des zementbasierten Bindemittels NovoCrete miteinander verglichen werden. Auf einer Länge von 900 Meter wurden drei Bauabschnitte mit jeweils 300 Meter Länge gebaut. Zwei der Abschnitte wurden mit unterschiedlichen Aufbauten mit der HGT verbaut, der dritte Abschnitt wurde im klassischen Verfahren mit Asphaltoberbau hergestellt und dient als Kontrollstrecke.

Zustand vor der Instandsetzungsmaßnahme

Der genaue Zustand des Radweges vor der Instandsetzungsmaßnahme ist nicht bekannt. Einige Fotografien geben Auskunft über vereinzelte Risse, die durch Baumwurzeln verursacht sein könnten (Abbildung 61/62).

Instandsetzungsmaßnahme

Im Rahmen dieser Maßnahme wurde das ausgebaute Fräsgut vor Ort wiederverwendet, durch Zugabe des Bindemittels verfestigt und anschließend mit einer Asphaltdeckschicht überbaut. Das Ziel ist, das aufgenommene Fräsgut dauerhaft zu binden und zu verfestigen. Die verfestigte Tragschicht soll sich hinsichtlich ihrer strukturellen Eigenschaften ähnlich wie ein Splittmastixasphalt (SMA) verhalten.

Ein besonderer Vorteil dieser Bauweise liegt darin, dass bei der Herstellung der zementgebundenen Schicht keine gezielte Kerbung erforderlich ist, da durch die spezielle Zusammensetzung des Materials entstehende Eigenspannungen selbstständig abgebaut werden.

Nach dem Einbau der Tragschicht erfolgt eine zweitägige Ruhephase, bevor die abschließende Asphaltdeckschicht zur Herstellung eines tragfähigen und komfortablen Fahrbelags aufgebracht wird.

Für die Anwendung dieser Bauweise ist ein tiefgründiges und vollflächiges Durchfräsen des vorhandenen Radwegoberbaus erforderlich. Daher eignet sich diese Methode nur eingeschränkt für Streckenabschnitte mit ausgeprägtem Wurzelaufbruch. In solchen Bereichen ist zum Schutz der Baumsubstanz eine manuelle Freilegung der Wurzeln erforderlich, gefolgt von baumpflegerischen Schutzmaßnahmen.

Der zusätzliche Aufwand schränkt die technische und wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der Methode in diesen Abschnitten erheblich ein.

Aufgrund der vorgefundenen Gegebenheiten zum Baubeginn, insbesondere durchnässter Seitenbereiche, wurden die ursprünglich vorgesehenen Schichtdicken der verfestigten Tragschicht angepasst:

- **Abschnitt 1:** Erhöhung von 20 cm auf 25 cm
- **Abschnitt 2:** Erhöhung von 23 cm auf 25 cm

Diese Maßnahme diente der Erhöhung der Tragfähigkeit des Oberbaus unter den gegebenen Randbedingungen.

Das Projekt wurde wissenschaftlich begleitet durch die Technische Hochschule Lübeck sowie durch das Asphaltlabor des LBV.SH, um die Korngrößenermittlung, Schichtdicke, Wassergehalt, stoffliche Zusammensetzung, Verdichtungsgrad und Druckfestigkeiten zu überwachen.

Bewertung der Maßnahme

Ergebnisse der Laboruntersuchungen:

Aufgrund der vorgefundenen örtlichen Gegebenheiten, insbesondere dem auch zukünftig zu erwartenden verstärkten Oberflächenwasserzufluss von den angrenzenden Wiesen in Richtung des Radwegs, wurde die Schichtdicke der Verfestigung mit dem Bindemittel NovoCrete ST 98 erhöht. Ziel dieser Maßnahme war es, durch die verstärkte Schichtdicke eine verbesserte Tragfähigkeit des Radwegoberbaus zu erzielen und somit die dauerhafte Gebrauchstauglichkeit und Lebensdauer der Radwegkonstruktion deutlich zu verlängern.

Die damit einhergehende vergrößerte Frästiefe führte zu einer Veränderung der stofflichen Zusammensetzung des Baustoffgemisches im Vergleich zur ursprünglichen Eignungsprüfung. In der Folge konnten die Anforderungen des Leitfadens IV in Bezug auf die Korn- und Stückgrößenverteilung in einzelnen Parametern nicht vollständig eingehalten werden.

Trotz dieser stofflichen Abweichungen wurden durch eine angepasste Bindemittelzugabe, orientiert an die veränderten Frästiefe, sämtliche Anforderungen an die Druckfestigkeit der Proctor-Probekörper (Einzel- und Mittelwerte), die Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit sowie weitere baustofftechnologische Kennwerte des hydraulisch gebundenen Baustoffgemisches und der fertiggestellten Tragschicht erfüllt.

Das übergeordnete Ziel der Baumaßnahme, die Herstellung eines dauerhaft tragfähigen und gleichmäßig belastbaren Radwegoberbaus, wurde somit erreicht. Die Ergebnisse der Eigenüberwachungsuntersuchungen bestätigen diese Zielerreichung in vollem Umfang.

Ergebnisse Zustandserfassung:

Nach einer Nutzungsdauer von etwa drei Jahren zeigen sich im Kontrollabschnitt erste Schädigungen in Form von Querrissen. Diese Rissbildungen könnten auf Wurzeleinwuchs zurückzuführen sein. In den übrigen Abschnitten sind derartige Schäden bislang nicht aufgetreten.

Im Bereich von Abschnitt 2 weist die Oberfläche eine so hohe Porosität auf, dass sich bereits Kräuterbewuchs in den offenen Poren etablieren konnte. Diese Durchgrünung begünstigt das Eindringen von Feuchtigkeit in den Oberbau. In Folge können insbesondere in Frost-Tau-Wechselphasen schädigende Gefügesprengungen auftreten, die zu einer weiteren Substanzschwächung führen können.



Quelle: Müller (2025)

Abb. 63: Zustand des Radwegs an der L 308, Bauabschnitt 2 nach der Instandsetzung.

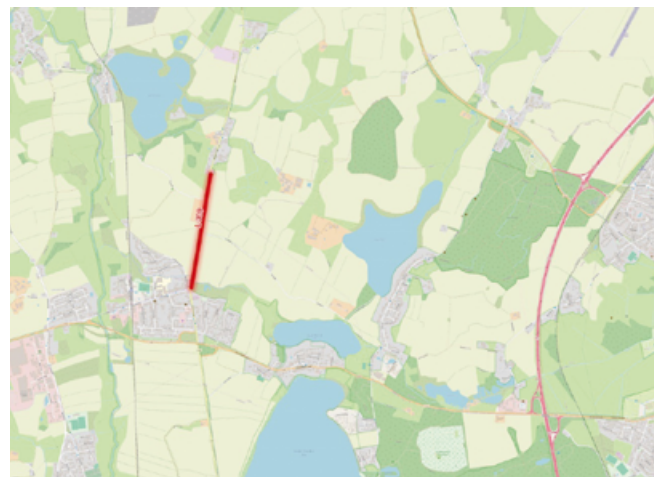
15.8. Radweg an der L 309

L 309, Pönitz (Kreis Ostholstein)	
Sanierungsgröße	Grundhafte Erneuerung
Umsetzungsstand	Bauende 2025
LRVN	Netzebene 2
Länge der Maßnahme	1000 m
Erläuterung Aufbau und Material	In Bereichen mit Baumbestand wurden folgende Maßnahmen kombiniert: Radwegsanieuerung mit HGT, Baumstandortoptimierung und Wurzelbrücken aus Stahl
Tragschicht	Asphalttragschicht aus Asphalttragschichtmischgut AC 22 T L, 20 cm HGT
Frostschuttschicht	13,0 cm FSS 0/32
Deckschicht	<ul style="list-style-type: none"> • 2,5 cm Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten AC 5 D L • auf Wurzelbrücken: Asphaltdeckschicht aus Gussasphalt MA 8 N • Bei Über- und Zufahrten: Asphaltdeckschicht aus Gussasphalt MA 8 N • Bei Einmündungen: Asphaltdeckschicht aus AC 1 1 D N
Vegetationstechnische Maßnahme	Wurzelumbettung, Wurzelbrücken aus Stahl, Bodenlockerung mit Druckluftlanze
Kosten der gesamten Maßnahme	750.000€

Lage

Die Baumaßnahme an der L 309 im Kreis Ostholstein wurde im Jahr 2025 unter Verwendung von HGT (Hydraulisch gebundene Tragschicht) durchgeführt. Zur Verhinderung von erneutem Wurzeleinwuchs wurden sowohl Standortoptimierungen vorgenommen, als auch Wurzelbrücken aus Stahl im Bereich von Baumbestand verbaut.

Im Zuge der Arbeiten an dem Radweg wurde im Bereich vorhandener Wurzeleinwuchsschäden ein besonderer Fokus auf den Erhalt und die fachgerechte Behandlung des vorhandenen Baumbestands gelegt. Zur Sicherstellung einer baumschonenden Bauausführung wurde eine qualifizierte Baumpflegekraft in den Prozess eingebunden, die sämtliche Maßnahmen im Wurzelraum fachlich begleitete.



Quelle: LBV.SH

Abb. 64: Lage der 309

Zustand vor der Instandsetzungsmaßnahme

Der genaue Zustand des Radwegs vor der Instandsetzung ist nicht bekannt.

Instandsetzungsmaßnahme

Zur Lokalisierung und Beurteilung des Wurzelverlaufs wurden zunächst Suchgräben angelegt. Die Bodenabtragung im unmittelbaren Wurzelbereich erfolgte materialschonend mittels Saugbagger, um mechanische Schäden an Fein- und Grobwurzeln zu vermeiden. Beschädigte Wurzeln wurden durch die Baumpflegekraft fachgerecht zurückgeschnitten und mit geeigneten Wundbehandlungsmitteln behandelt. Zur punktuellen Bodenverbesserung und Belüftung wurde eine Druckluftlanze eingesetzt.

In Bereichen mit kollidierendem Wurzelverlauf erfolgte eine Umlagerung der Wurzeln in zuvor angelegte Wurzelgräben, deren Volumen und Lage vorab auf Grundlage des voraussichtlichen Wurzelraumbedarfs berechnet wurde. Die Gräben wurden mit einem baumverträglichen Substrat für überbaubare Pflanzgruben verfüllt.

Zur Sicherstellung der Verkehrslastverteilung und gleichzeitigen Entkopplung des Wurzelraums vom Oberbau wurden Wurzelbrücken aus Stahl installiert. Im Bereich unterhalb der Wurzelbrücken wurde ein Substrat für nicht überbaute Pflanzgruben eingebracht. Zwischen Substrat und weiterem Oberbau kam ein Geotextil der Robustheitsklasse 3 als Trenn- und Filterschicht zur Anwendung.

Die Fertigung des Oberbaus über den Wurzelbrücken erfolgte abschließend mit dem Einbau einer Gussasphaltschicht (MA 8 N) als verschleißfeste, dauerhaft elastische Deckschicht.

In den übrigen Bereichen des Radwegs wurde der Oberbau vollständig erneuert. Zunächst erfolgte die Wiederherstellung der Frostschutzschicht, verbunden mit einer Gradientenanhebung, um eine verbesserte Entwässerung und Gefällegebung sicherzustellen.

Die übrigen Bereiche wurden mit einer HGT wieder hergestellt.

Bewertung der Maßnahme

Die Fertigstellung dieses Bauabschnittes ist erst im Frühjahr 2025 erfolgt, daher liegen derzeit noch keine belastbaren Aussagen zur Wirksamkeit dieser Bauweise vor.



Quelle: LBV.SH

Abb. 65/66: Einbau der Wurzelbrücken aus Stahl an der L 309.

16. Erkenntnisse

Im Rahmen des Projekts wurde deutlich, dass die bislang angewandten Bauweisen im Radwegebau keine dauerhafte Lösung gegen das wiederkehrende Problem von Wurzelaufbrüchen darstellen. Die Ursachen sind komplex und erfordern eine differenzierte Betrachtung. Insbesondere ist zwischen Neubaumaßnahmen und der Erneuerung bestehender Radwege zu unterscheiden, da die baulichen, botanischen und bodenklimatischen Ausgangsbedingungen grundlegend verschieden sind.

Ein zentraler Faktor, der in fast allen Fällen über Erfolg oder Misserfolg entscheidet, ist die Verfügbarkeit von Bodenluft im Wurzelraum. Wurzeln wachsen dem geringsten Widerstand folgend und zur Sauerstoffversorgung in belagsnahe Bereiche ein. Dementsprechend reicht es nicht aus, lediglich die Oberfläche instand zu setzen oder eine stärkere Asphalt(trag)schicht aufzubringen. Solche Maßnahmen adressieren nicht die eigentliche Ursache des Problems und führen häufig nur zu einer kurzfristigen Verbesserung.

Vielversprechende technische Ansätze wie luftführende Tragschichten, Bodengitter oder flächenhafte Belüftungssysteme bieten Potenzial, sollten aber standortbezogen geplant und in ihrer Langzeitwirkung weiter evaluiert werden. Gleiches gilt für den Einsatz von Betonoberflächen, deren Effektivität hinsichtlich Wurzelresistenz bislang nur eingeschränkt nachgewiesen ist. Erste Beobachtungen deuten auf eine gewisse Resistenz gegenüber mechanischem Wurzeldruck hin, jedoch zeigen sich neue Herausforderungen, insbesondere beim Fugenmanagement und bei der Integration in das Wurzelumfeld.

In Einzelfällen, etwa bei vorhandenen, wertvollen Altbäumen, können Wurzelbrücken oder im urbanen Raum auch Baumstandortsanierungen geeignete Lösungen darstellen. Sie ermöglichen es, die vorhandene Vegetation zu erhalten und gleichzeitig verkehrssichere Radwege zu schaffen. Wurzelbrücken aus Stahl haben sich hier als vorteilhafter gezeigt gegenüber jenen aus Beton, da sich ihre Fundamente individueller an die Wurzellagen der Bäume anpassen lassen.

Ein reiner Oberflächenersatz ohne gleichzeitige Berücksichtigung des Wurzelraums und der bodenklimatischen Bedingungen greift zu kurz. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass Kombinationslösungen, etwa aus Wurzelumbettung, luftführender Tragschichten und überspannenden Elementen die größten Erfolgsaussichten bieten. Ziel ist eine Planung, die die Bäume integriert statt ihnen entgegenzuwirken. Das bedeutet auch, dass bei Neupflanzungen ausreichende Abstände zur befestigten Fläche und eine standortgerechte Auswahl und Pflege der Bäume von Anfang an berücksichtigt werden sollten.

Die wassergebundene Bauweise wird häufig als „baumverträgliche Lösung“ genannt, da sie bei fachgerechtem Einbau weniger Schäden durch Baumwurzeln aufzeigt. Dagegen zeigt sich, dass sie hohe Anforderungen an Einbau, Unterhaltung und Pflege stellen.

Zudem erfährt diese Deckschicht in der Praxis oft geringe Akzeptanz bei Radfahrenden, insbesondere in Bezug auf Fahrkomfort und Witterungsanfälligkeit.

Insgesamt verdeutlicht das Projekt: Eine nachhaltige Lösung des Problems der Wurzelaufbrüche im Radwegebau ist nicht mit einem einzelnen technischen Mittel zu erreichen. Es bedarf interdisziplinärer Lösungen, langfristiger Planung und eines Umdenkens im Umgang mit dem Spannungsfeld zwischen Infrastruktur und Baumbestand. Die Erkenntnisse aus den Pilotstrecken bilden eine wertvolle Grundlage, müssen jedoch durch weitere Langzeitbeobachtungen ergänzt werden, um die Erkenntnisse der Handlungsempfehlungen zu verifizieren.

17. Empfehlungen

Die im Rahmen dieses Projekts angestoßenen Verfahren und Bauweisen zeigen darauf hin, dass ein langfristiger Erkenntnisgewinn vor allem durch eine kontinuierliche Beobachtung über mehrere Jahre erreichbar ist. Es bietet sich daher an, Pilotstrecken, an denen neue Maßnahmen erprobt werden, über einen Zeitraum von mindestens fünf Jahren nach Projektende weiterhin regelmäßig zu erfassen und auszuwerten. Eine jährliche Zustandserfassung kann hierbei hilfreich sein und durch Laboruntersuchungen der verwendeten Materialien ergänzt werden, um Veränderungen der Materialeigenschaften (z. B. Festigkeit, Kornstruktur, Feuchteverhalten) nachvollziehen zu können.

Ergänzend wird empfohlen, weitere Pilotstrecken einzurichten, um bisherige Erkenntnisse auf unterschiedliche standörtliche Bedingungen zu übertragen und verschiedene Maßnahmen in der Praxis zu testen. Erkenntnisbringend kann eine gezielte Auswahl von Strecken mit unterschiedlichen Böden (z. B. sandig, lehmig, tonig) und variierenden Baumbeständen sein, um mögliche Einflüsse auf das Wurzelwachstum besser zu evaluieren. Auf diesen Flächen könnten verschiedene Bauweisen abschnittsweise angewendet werden, um sie unter möglichst vergleichbaren Bedingungen hinsichtlich Eignung und Dauerhaftigkeit zu beurteilen. Auf diese Weise lassen sich belastbare Aussagen zur Wirkung der Maßnahmen unter variierenden Boden- und Vegetationsverhältnissen ableiten.

Ein weiterer Aspekt kann die Weiterentwicklung und Bewertung von Betonradwegen sein, zumal ihre Baukosten zuletzt stärker mit denen von Asphaltlösungen vergleichbar geworden sind. Da praktische Erfahrungen in Schleswig-Holstein mit dieser Bauweise bislang gering sind, könnte eine systematische Dokumentation neuer Umsetzungen wertvolle zusätzliche Erkenntnisse liefern. Gleiches gilt für neuere oder wenig erprobte Verfahren wie den fachgerechten Einbau von Geozellen, Kunststofffertigteilen oder Betonfertigelementen, deren Potenziale noch nicht umfassend untersucht wurden.

Für zukünftige Maßnahmen bietet sich zudem eine Digitalisierung und Erweiterung der Erfassungssystematik an. Dabei kann es hilfreich sein, auch Parameter zur Bodenbeschaffenheit, Wurzelraumverfügbarkeit und vegetationstechnischen Rahmenbedingungen systematisch zu erfassen. So lässt sich der Zusammenhang zwischen baulichen Maßnahmen und vegetativen Reaktionen besser nachvollziehen.

Auch Investitionen in die Materialforschung können wertvolle Impulse setzen. Im Vordergrund stehen dabei Tragschichten mit luftführenden Eigenschaften, die dem Wurzeldruck entgegenwirken, ohne die Vitalität oder Standsicherheit der Bäume zu beeinträchtigen. In diesem Zusammenhang erscheint es ratsam, auf eine rein verdichtungsbasierte Verhinderung von Wurzeleinwuchs zu verzichten, sofern nicht gleichzeitig alternative geeignete Wurzelräume geschaffen werden. Andernfalls könnten Stabilität und Sicherheit der Bäume im Straßenraum gefährdet sein.

Für den Neubau von Radwegen befindet sich eine entsprechende FGSV-Richtlinie „Merkblatt für die Erhaltung von Bäumen beim Radwegebau“ (M EBR) in Vorbereitung, die künftig als systematische Planungsgrundlage dienen kann. Ein Projekt dazu wird bereits durch die Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr GS-Wolfenbüttel durchgeführt. Eine aktive Beteiligung des LBV.SH an diesem Prozess bietet die Chance, eigene Praxiserfahrungen einzubringen.

Im weiteren Projektverlauf kann es hilfreich sein, den Einfluss von Herstellerinteressen kritisch zu betrachten. Erfahrungen zeigen, dass Lobbyarbeit einzelner Anbieter gelegentlich zu einseitigen Bewertungen führen kann. Eine objektive und unabhängige Prüfung der Praxistauglichkeit verschiedener Verfahren erscheint daher weiterhin wichtig.

Für die zukünftige Bewertung alternativer Bauweisen kann auch eine systematische Kostenerfassung und -auswertung von Vorteil sein. Eine transparente Dokumentation der Kosten der Pilotstrecken, einschließlich Bau-, Pflege-, Unterhaltungs- und Nachbesserungskosten sowie möglicher Folgeschäden, ermöglicht eine fundierte Betrachtung auf Basis von Lebenszykluskosten. Im vorliegenden Auftrag war eine umfassende Betrachtung dieser Aspekte nur eingeschränkt möglich, da vergleichbare Daten fehlten.

Gerade vor dem Hintergrund, dass für viele Baulastträger wirtschaftliche Aspekte weiterhin ein wesentliches Entscheidungskriterium darstellen, ist eine hohe Kostentransparenz wichtig. Wenn nachvollziehbar aufgezeigt wird, dass bestimmte Verfahren trotz höherer Anfangsinvestitionen langfristig wirtschaftlicher und ressourcenschonender sind, erhöht dies die Wahrscheinlichkeit, dass sie in größerem Umfang Anwendung finden.

Zukünftige Projekte profitieren stark von einer frühzeitigen interdisziplinären Ausrichtung. Wenn Baumfachpflege, Verkehrsplanung und Bauingenieurwesen gemeinsam lösungsorientiert kombiniert werden, lassen sich technische Maßnahmen entwickeln, die die biologischen Anforderungen der Bäume berücksichtigen und langfristig tragfähig sind. Ein kooperativer Forschungsansatz bietet daher großen Mehrwert. Die Fachhochschule Kiel hat bereits Interesse an einer Zusammenarbeit signalisiert und der Aufbau eines gemeinsamen Forschungsprojekts mit regelmäßigem Fachaus-tausch, wissenschaftlicher Begleitung und langfristiger Wirkungskontrolle erscheint vielversprechend.

Abschließend lässt sich festhalten: Die Herangehensweise an das Thema „Wurzelaufbrüche in Radwegen“ verlangt neue Wege über konventionelle und regelkonforme Bauverfahren hinaus. Innovationsbereitschaft, Flexibilität und interdisziplinäres Denken bilden die Grundlage für zukunftsfähige, nachhaltige und baumverträgliche Radwege.

18. Literaturverzeichnis

- Bayrische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) (1999): Zerschneidung als ökologischer Faktor. (=Laufener Seminarbeiträge 2/00). Tittmoning.
- Beckendahl, Hartmut Johannes (2021): Straßenbau. In: Carsten Gertz (Hg.) Verkehrsplanung, Bau und Betrieb von Verkehrsanlagen. Technik, Organisation, Wirtschaftlichkeit. 3. Aufl. 2021. S. 109-128.
- Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) (2014): Anforderungen an die Erhaltung von Radwegen. Straßenbau. Heft S 84, Bremen
- Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) (2021): Asphaltoberbau und extreme Temperaturen. Straßenbau, Heft S 156. Bergisch Gladbach.
- BMDV-Forschungsprogramm Stadtverkehr (FoPS): FE 70.0957 „Erfassung und Bewertung des baulichen Zustandes von städtischen Radverkehrsanlagen“, laufendes Forschungsprojekt.
- Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (AGFW) (2020): Abschlussbericht. „Untersuchung der Interaktion zwischen Bäumen/Baumwurzeln und unterirdischen Fernwärmeleitungen“. Forschung und Entwicklung. Heft 58, Frankfurt a. M.
- Forschungsgesellschaft (FGSV) (2023): Arnd Bartholomäus: Aufgehellte Deckschichten: Verbesserung des städtischen Mikroklimas? Teil 2. In: Kolloquium Kommunales Verkehrswesen 2023 (FGSV 002/136). Köln, S. 1-8.
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) (2013): Unfallforschung kompakt. Innerörtliche Unfälle mit Fußgängern und Radfahrern. Berlin.
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) (2024): Forschungsbericht Nr. 98. Alleinunfälle von Radfahrenden. Berlin.
- Glitzer, Irene et al. (1999): Literaturstudie zu Anlage- und Betriebsbedingten Auswirkungen von Straßen auf die Tierwelt. Endbericht. Graz.
- Heidger, Clemens (2008a): Straßenbäume – sind Wurzeln lenkbar? Vermeidung von Schäden im Erd- und Straßenbau durch Straßenbäume (=Technische Informationen der TerraTextura, Ausgabe 09/2008). Isernhagen, S.3-8.
- Heidger, Clemens (2008): Die Sanierung von Belagsschäden. (=Technische Informationen der TerraTextura, Ausgabe 09/2008). Isernhagen, S. 1-5
- Holzgang, Otto et al. (2000): Wildtiere und Verkehr, eine kommentierte Bibliographie. Schweizerische Vogelwarte (Hg.), Sempach.

- Heydemann, B. (1957): Die Biotopstruktur als Raumwiderstand und Raumfülle für die Tierwelt. In: Verhandlungen der deutschen. Zoologischen Gesellschaft Hamburg 50: 332-347.
- Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen (IKT) (2005): Abschlussbericht zum Forschungsprojekt „Prüfung wasserdurchlässiger Flächenbeläge nach mehrjähriger Betriebsdauer“, Gelsenkirchen.
- Koch, Sandra (2009): Landschaftszerschneidung und die Wiederausbreitung von Wildtieren. Grüne Infrastruktur, Barrierewirkungen, Lösungsansätze. Diplomarbeit Universität Kassel.
- Köstler, Josef et. al. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume – Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa, Berlin, S. 284.
- Kutschera, Lore (1960): Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. Frankfurt a. M.
- Landesbaudirektion Bayern. Zentralstelle Radverkehr (Hg.): Leitfaden. Radwegebau außerorts. Ebern. 2025.
- Liesecke, Hans-Joachim/Heidger, Clemens (1991): Vegetationstechnische und bautechnische Maßnahmen zur Verbesserung des Stand- und Wurzelraumes bei Straßenbäumen. Manuskript anlässlich der 9. Osnabrücker Baumpflege-tag am 24.-25. September 1991.
- Liesecke, Hans-Joachim/Heidger, Clemens, (1994): Bäume in Stadtstraßen – Untersuchung zur „Entwicklung und Erprobung von vegetationstechnischen und bautechnischen Maßnahmen zur Optimierung des Wurzel- und Standraumes von Bäumen in Stadtstraßen“. Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik, Heft 670; Bundesministerium für Verkehr Abteilung Straßenbau, (Hrsg.), Bonn-Bad/Godesberg.
- Liesecke, Hans-Joachim/Heidger, Clemens (2000): Substrate für Bäume in Stadtstraßen, Teil 2: Diskussion der Ergebnisse und Ableitung eines Anforderungsprofils. Stadt und Grün 49 (9) S. 620–624.
- LWG Würzburg (2006): Untersuchungsbericht: Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit und Wasserspeicherfähigkeit von TTE, Systemen mit Pflasterfüllung und Begrünungsaufbau. Kurzfassung.
- Meyer, F. H. (1986): Einfluss des Standortes auf die Wurzelbildung von Bäumen. Tagungsband der 4. Osnabrücker Baumpflege-tag 1986. Osnabrück.
- OBB Sachverständigenbüro für urbane Vegetation (2022): Wurzelschutz von Straßenbäumen. Handlungsempfehlungen zum fachgerechten Schutz von Bäumen bei Tiefbaumaßnahmen im Straßenraum. Bad Honnef/Bochum.
- Przygode, Tino (2021): Erfahrungen der Lutherstadt Wittenberg mit dem TTE-Baukonzept, Wittenberg.
- RAP STra Prüfstelle – Adler Baustoff- und Umweltlabor GmbH (2009): Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen, Schwerin.

- Reck, Heinrich/ Nissen, Henning (2014): Laufkäfer auf der Autobahn, Die Laufkäferfauna (Carabidae) eines Autobahnmittelstreifens und einer benachbarten Grünbrücke. In Faunistisch-Ökologische Mitteilungen, Band 9, S. 371-384.
- Reichwein, Sabine (2002): Baumwurzeln unter Verkehrsflächen.
Untersuchungen zu Schäden an Verkehrsflächen durch Baumwurzeln und Ansätze zur Schadensbehebung und
- Reimoser, F. (2005): Freizeitaktivitäten und Wildtiere: Folgen für den Wald. In: Ingold, P.,(Hg.), Freizeitaktivitäten im Lebensraum der Alpentiere. Bern, S. 311-321.
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (Hg.) (2020): Leitfaden für die Planung, den Bau und die Prüfung von Pflasterdecken und Plattenbelägen in gebundener Bauweise. Berlin.
- Sjögren, Leif. (2022): Determination of Riding Comfort of Cycleways,
9th Symposium on Pavement Surface Characteristics (SURF2022), Mailand.
- Stengel, Verena (2016): Baumwurzeleinwuchs bei Geh- und Radwegen.
Wirkung von Baustoffeigenschaften und Bauweisen auf die Durchwurzelbarkeit und Ansätze zur Schadenvorbeugung. Diss ing. Hannover.
- Stöckert, Ulrike (2024): Neue Entwicklungen bei der Zustandserfassung von Radwegen
(=Straße und Autobahn, Heft 2.2024). Bonn-Bad Godesberg.
- Study.Ing/LBV.SH (2022): Projektbericht. Lösung des Problems von Wurzelaufrüchen
bei Radwegsaniierungen. (Unveröffentlicht).
- Verband Kommunalen Unternehmen (VKU)/ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2023): Umweltfreundlicher und effektiver Winterdienst – kein Widerspruch.
- Weltecke/u.a. (2024): Sanierung von Bodenschadverdichtung an urbanen Baumstandorten
(SANURBAUM), Göttingen.
- Wirtz, M. (2022): Entwicklung eines fahrradgestützten Messprogramms zur Bewertung
des Fahrkomforts auf Radwegen, Bachelorarbeit FH Aachen.
- Qualitätsgemeinschaft Baumpflege und Baumsanierung e. V. (QBB) (2017): Praktische Umsetzung der
baubegleitenden Wurzelschutzmaßnahmen am Beispiel der Freien und Hansestadt Hamburg. Hamburg.

18.1. Internetquellen

- Fahrradmonitor (2023):
https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/fahrradmonitor-langfassung.pdf?__blob=publicationFile
(Stand: 06.08.2025).
- Landesbetrieb für Straßenbau und Verkehrs Schleswig-Holstein (2025):
Handlungsempfehlung für Sanierungsmaßnahmen an Radwegen mit Wurzeleinwuchs. Kiel
https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/ministerien-behoerden/LBVSH/Presse/2025/Pressemitteilungen/250911_handlungsempfehlung (Stand: 01.10.2025).
- Landesweites Radverkehrsnetz (LRVN):
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/R/radverkehrs/lrvn_LandesweitesRadverkehrsnetzSH.html
(Stand: 17.06.2025).
- FGSV:
<https://www.fgsv.de/netzwerk/gremien/ag-2-strassenentwurf/29-umwelt-und-naturschutz/297-merkblatt-fuer-die-erhaltung-von-baeumen-beim-radwegebau-m-ebr>
(Stand 01.10.2025).
- Vereinbarung zum Umgang mit Wurzelaufbrüchen in Radwegen (2022):
https://rad.sh/wp-content/uploads/2022/05/20220510_Vereinbarung-Wurzelaufbrueche.pdf
(Stand: 17.06.2025).
- Spektrum Kompaktlexikon der Biologie (ohne Jahr): Carabidae.
<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/carabidae/2101> (Stand: 01.10.2025).
- Spektrum Kompaktlexikon der Biologie (ohne Jahr): Dickenwachstum.
<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/dickenwachstum/3045> (Stand: 26.09.2025).
- Terram Geozellen:
file:///C:/Users/Benutzer1/Downloads/Einbauempfehlung%20TERRAM%20Geozellen_Tragschicht_11_2022.pdf
(Stand 30.07.2025).
- <https://www.klimafakten.de/klimawissen/fakt-ist/fakt-ist-der-einfluss-von-staedten-auf-temperaturdaten-wird-oft-ueberschaetzt> (Stand: 06.08.2025).
- <https://www.hamburg.de/politik-und-verwaltung/behoerden/bvm/aktuelles/pressemeldungen/2021-09-01-bvm-umbau-esplanade-519588> (Stand: 04.08.2025).

18.2. Richtlinien, Gesetze, Merkblätter

- Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG).
- Bundesfernstraßengesetz (FStrG)
- Richtlinie 92/43/EWG des Rates, vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. (=Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 206/7).
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV):
Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12/24). Köln: FGSV, 2024.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2023):
Richtlinien zum Schutz von Bäumen und Vegetationsbeständen bei Baumaßnahmen (R SBB). Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2021):
Richtlinie für die Entwässerung von Straßen (REwS). Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2013):
Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (TL Asphalt-StB 07/13). Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2020):
Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (TL SoB-StB 2020). Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2007):
Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (TL Beton-StB 07). Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2013):
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 07/13). Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2007):
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (ZTV Beton-StB 07). Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2019):
Merkblatt für die Erhaltung von Verkehrsflächen mit Baumbestand (M EVB). Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2020):
Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen. Köln.

- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2013): Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen. Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2006): Hinweise zur Straßenbepflanzung in bebauten Gebieten. (H Straßenbepflanzung). Köln.
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) (2015): Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege. Bonn.
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) (2010): Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate. Bonn.
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) (2007): Fachbericht zu Planung, Bau und Instandhaltung von Wassergebundenen Wegen. Bonn.
- DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2014): DIN18920. Vegetationstechnik im Landschaftsbau Schutz von Bäumen, Pflanzbeständen und Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen. Berlin/Beuth.
- DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2023): DIN 1164-10. Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 10: Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt – Zusammensetzung und Anforderungen. Berlin/Beuth.
- DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2013): DIN EN 13282-1. Hydraulische Tragschichtbinder – Teil 1: Schnell erhärtende hydraulische Tragschichtbinder – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien; Deutsche Fassung EN 13282-1:2012. Berlin/Beuth.
- DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2021): DIN EN 206. Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206:2013+A2:2021. Berlin/Beuth.
- DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2025): DIN EN 1992-1-1. Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für Hochbauten, Brücken und Ingenieurbauwerke; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2023. Berlin/Beuth.
- DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2019): DIN 18318. VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Pflasterdecken und Plattenbeläge, Einfassungen. Berlin/Beuth.

Impressum

Auftraggeber, Herausgeber

Landesbetrieb für Straßenbau und Verkehr
Schleswig-Holstein (LBV.SH)
Mercatorstraße 9, 24106 Kiel

Gestaltung

goldbutt communication gmbh
www.goldbutt.de

Auftragnehmer

ADFC Schleswig-Holstein e.V.
Herzog-Friedrich-Str. 65, 24103 Kiel

Bearbeitung

Jan Voß (ADFC Schleswig-Holstein)
Nora Müller (ADFC Schleswig-Holstein)

Landesbetrieb für Straßenbau und Verkehr

Schleswig-Holstein (LBV.SH)

Stabsstelle Radverkehr

Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus

Referat Grundsatzfragen Verkehrspolitik, Radverkehr

(Kiel, September 2025)

Titel: LBV.SH

November 2025

Internet

www.lbv-sh.de