



Ministerium für Verkehr, Bau
und Landesentwicklung
Mecklenburg-Vorpommern

Forschungsvorhaben

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen – Versiegelungswirkung von Radwegen

BMVBS SW 24-3134.3/1-3VB0814

gefördert im Rahmen des Nationalen Radverkehrsplans vom



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Ministerium für Verkehr, Bau und Landesentwicklung Mecklenburg-Vorpommern
Schlossstrasse 6 - 8
19053 Schwerin
Az. / Nr.: VIII 540 f-551-02



Baustoff- und Umweltlabor GmbH
Schloßallee 2
19306 Friedrichsmoor
Telefon-Nr.: 038757/2 25 41
Fax-Nr.: 038757/2 35 04
Funktelefon: 0170/52 80 645
0170/55 80 645
e-mail: baustofflabor-friemo@t-online.de

Unabhängiges Prüfinstitut, anerkannte Prüfstelle nach RAP Stra
Betonprüfstelle E + W nach DIN 1045

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Auftraggeber: Ministerium für Verkehr, Bau und Landesentwicklung
Mecklenburg-Vorpommern
Schlossstrasse 6 - 8
19053 Schwerin

Auftragnehmer: Baustoff- und Umweltlabor GmbH
Schloßallee 02
19306 Friedrichsmoor
Telefon: 038757 / 22 541
Fax-Nr.: 038757 / 23 504

Bearbeiter: Herr Dipl.-Ing. U. Adler,

Herr Dipl.-Ing. Weidlich

Förderung: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Invalidenstraße 44
10115 Berlin
Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit
Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und
Stadtentwicklung unter dem Förderkennzeichen VB 0814
gefördert.

Auftragsdatum: 22. August 2008

Zwischenauswertung: 16. Februar 2009
Auslieferung: 31. Juli 2009

Anzahl der Exemplare: 2 Exemplare

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Beratender Ing, Ingenieurkammer M-V, B – 0813 - 96
Dipl.-Ing. Uwe Adler
Privater Ingenieur für Bau- und Spezialingenieurwesen
Tief-, Verkehrsbau und wasserwirtschaftl. Planungsaufgaben
Zulassungsurkunde 06 - 005 - 91

Anerkannte Prüfstelle nach RAP Stra

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Inhaltsverzeichnis

1.	Aufgabenstellung	S. 4
2.	Vorgehensweise	S. 4 - 6
3.	Erkundungsergebnisse	S. 6 - 7
4.	Abkürzungsverzeichnis	S. 8 - 9

Anhang

A.	Auswertung der Wassergehalte nach Standorten	
	A.1. Sandstandort	S. 10 - 12
	A.2. Bindiger Standort	S. 12 - 14
	A.3. Mergelstandort	S. 14 - 16
	A.4. Kreidestandort	S. 16 - 18
	A.5. Moorstandort	S. 19 - 20
B.	Auswertung der natürlichen Wassergehalte nach Bauweisen	
	B.1. Pflasterdecke	S. 21
	B.2. Asphaltbauweise	S. 21 - 22
	B.3. Betonbauweise	S. 22
	B.4. ungebundene Bauweise	S. 22
C.	Gesamtzusammenstellung der ermittelten Prüfergebnisse nach Bodenstandorten und Bauweisen	S. 22 - 24
D.	Bewertung Verdichtungsprüfungen mit der leichten Rammsonde nach DIN 4094	S. 24 - 27
E.	Bewertung der Asphaltkonstruktionen	S. 27
F.	Untersuchungsmethoden und Berechnungen	S. 28 - 29
G.	Sandstandort	S. 30 - 106
	G.1. QP 1 - Pflaster, geländegleich	S. 33 - 52
	G.2. QP 2 – Asphalt, TP, Waldlage	S. 53 - 71
	G.3. QP 3 – Asphalt, HP, Waldlage	S. 72 - 89
	G.4. QP 4 – Asphalt, Tiefpunkt Grünland	S. 90 - 106
H.	Bindiger Boden	S. 107 - 176
	H.1. QP 5 - Pflaster, geländegleich	S. 110 - 126
	H.2. QP 6 – Asphalt, geländegleich, Acker	S. 127 - 142
	H.3. QP 7 – Asphalt, geländegleich, Grünland	S. 143 - 159
	H.4. QP 22 – ungebunden, geländegleich, Grünland	S. 160 - 176
I.	Mergelstandort	S. 177 - 268
	I.1. QP 8 - Pflaster, Hochpunkt	S. 180 - 198
	I.2. QP 11 – Pflaster, geländegleich	S. 199 - 215
	I.3. QP 9 – Asphalt, Hochpunkt, Acker	S. 216 - 233
	I.4. QP 10 – Asphalt, Tiefpunkt, Acker	S. 234 - 249
	I.5. QP 12 – ungebunden, Hochpunkt	S. 250 - 268

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

J.	Kreidestandort	S. 269 - 356
J.1.	QP 13 - Beton, geländegleich, Acker	S. 272 - 289
J.2.	QP 14 - ungebunden, Hochpunkt, Acker	S. 290 - 307
J.3.	QP 15 – Pflaster / Asphalt, Hochpunkt,	S. 308 - 324
J.4.	QP 16 – Asphalt, Tiefpunkt, Acker	S. 325 - 340
J.5.	QP 17 – Asphalt, Hochpunkt, Acker	S. 341 - 356
K.	Moorstandort	S. 357 - 423
K.1.	QP 18 - Pflaster, geländegleich	S. 360 - 377
K.2.	QP 19 – Pflaster, Tiefpunkt	S. 378 - 392
K.3.	QP 20 – Asphalt, geländegleich	S. 393 - 407
K.4.	QP 21 – Asphalt, Tiefpunkt, Acker	S. 408 - 423
L .	Übersicht, Auswertung Asphalt	S. 424

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

1. Aufgabenstellung

In Deutschland sind aktuell (Stand: Juli 2009)

▪ Naturparke	9.100.000 ha	25,50 % der Landfläche
▪ LSG	9.900.000 ha	28,00 % der Landfläche
▪ NSG	1.240.345 ha	3,50 % der Landfläche
▪ Nationalparke	194.209 ha	0,54 % der Landfläche
▪ Biosphärenreservate	1.206.951 ha	3,40 % der Landfläche
▪ Natura 2000	3.313.083 ha	9,30 % der Landfläche

unter Schutz gestellt. Eine Gefährdung der Natur in diesen Schutzzräumen, aber auch generell schädliche Auswirkungen auf die Natur durch den Radwegebau, sollen ausgeschlossen bzw. reduziert werden. Eingriffe in Boden, Wasser, Klima/Luft, Flora, Fauna durch eine Versiegelung sind zu kompensieren.

Grundlage für die Berechnung des Ausgleiches ist in Mecklenburg-Vorpommern der „Leitfaden zur Erstellung und Prüfung der landschaftspflegerischen Begleitpläne im Straßenbau in Mecklenburg-Vorpommern 2002“ (Fröhlich/Sporbeck). Die Beeinflussung der Bodenparameter Bodenverdichtung und Wasserhaushalt wird dort angenommen oder indirekt abgeleitet. Eine Quantifizierung wird nicht vorgenommen. Dies führte zu der Aufgabenstellung, den Einfluss der unterschiedlichen Radwegebelagsarten auf die Wasser- und Bodenverhältnisse unterschiedlicher Bodenarten zu analysieren.

Ziel dieser Arbeit ist es, die bislang angenommenen negativen Auswirkungen des Radwegebbaus auf Bodenverdichtung und Wasserhaushalt wissenschaftlich zu überprüfen. Die Bearbeitung des Forschungsthemas ermöglicht es, erstmals die Verhältnisse im Boden unter Radwegen zu bewerten.

Die Erkundungsstellen im Bereich der Radwege wurden für die einzelnen Standorte und Radwegbefestigungen am 21. November 2008 mit dem Ministerium für Verkehr, Bau- und Landesentwicklung M-V abgestimmt und sind die Grundlage dieser Arbeit.

2. Vorgehensweise

Mit den Erkundungsergebnissen werden die Standorte

- Sand,
- bindige Lockergesteine SU/ST (Sand/Schluff-Gemisch, Sand/Ton-Gemisch),
- Mergel/Geschiebemergel,
- Moore und
- Kreide/Kalk

bewertet. Für die unterschiedlichen Bodenstandorte wurde in Abstimmung mit den Straßenbauämtern und auf Grund von geologischen Karten und Erfahrungswerten eine Auswahl getroffen.

Weiterhin werden Einflüsse auf die jeweilige Bodenart durch unterschiedliche Bauweisen herausgearbeitet. Auf Grund der vorhandenen Bauweisenmischung wurden die Bauweisen wie folgt in die Prüfungen einbezogen:

- Asphaltbauweisen,
- Pflasterbauweisen,
- ungebundene Bauweisen,
- Betonbauweise.

Die geprüften Radwege waren mindestens 5 Jahre in Nutzung. Neu gebaute Radwege wurden nicht in die Erkundungen einbezogen.

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Die Bestimmung von Wassergehalt und Bodenverdichtung erfolgte nach folgendem Muster durch Probeentnahmen aus der Rammkernsonde

- Mitte Radwegekonstruktion,
- Mitte Bankettbereich und
- im Gelände neben der Radwegekonstruktion mit einem Abstand von ca. 20 m.

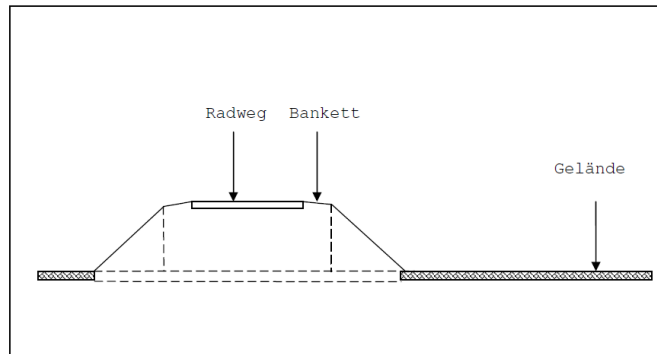


Abb.: Prinzipskizze

Die Erkundung der Bodenverhältnisse wurde wie folgt vorgenommen:

- geologische Erkundung durch Rammkernsonde bis 3 m Tiefe
- Ermittlung der Verdichtung durch leichte Rammsonde nach DIN 4094
- Ermittlung der Lagerungsdichten bis ca. 1 m in zwei Lagen durch die Entnahme von 1000 ml Stechzylinder
- Ermittlung der Korngrößenverteilung der Bodenarten durch Sedimentation bzw. Siebung und Ansprache nach DIN 18196
- Ermittlung der natürlichen Wassergehalte bis 3 m Tiefe
- Ermittlung der Kalkgehalte
- Ermittlung organischer Anteile durch Glühverlust
- Ermittlung der Proctordichte bis ca. 1 m Tiefe
- Aussage zum Verdichtungsgrad Proctor

Um die Bodenverhältnisse zu beurteilen, wurden die Erkundungen in der Winterperiode vom November 2008 bis Februar 2009 sowie in der Sommerperiode im Juni 2009 ausgeführt. Die Sondierungsstellen im Sommer wurden ca. 50 cm von denen im Winter versetzt. Die Vergleichbarkeit ist damit gegeben.

Die Rammkernsondierung (RKS) wurde je nach Bodenart und -eigenschaften in mehrere Bereiche unterteilt, das gesamte Material entnommen und der Wassergehalt nach DIN 18121 -1 bestimmt.

Um die Lagerungsdichte des Bodens zu beurteilen, wurde die Verdichtung mittels leichter Rammsondierung nach DIN 4094 bis zu einer Tiefe bis 3 m unter Radweg, im Bankett und im Gelände bestimmt. Im Bankett und Gelände wurden ein Meter tiefe Schurfe angelegt. In den Tiefen von ca. 0,5 m und 1 m (von OKG) wurden je Schurf Verdichtungsproben nach DIN 18125 entnommen und die Proctordichte nach DIN 18127 bestimmt. Die Untersuchungen wurden zeitgleich mit der RKS in der Winterperiode durchgeführt.

Für die Charakterisierung und Wertung der Bodenverhältnisse wurde an ausgewählten Proben der Kalkgehalt nach Scheibler DIN 18129, der Glühverlust nach DIN 18128 bestimmt sowie eine Kornverteilung nach DIN 18123 erstellt.

Zur Auswertung der Wasserverhältnisse im Boden wurde die Veränderung der Wassergehalte im Bohrprofil sowie der mittlere Wassergehalt verwendet.

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Die ermittelten Wassergehalte und Trockenrohdichten der Böden wurden verglichen und die Wassermengen der Erkundungsstellen ermittelt und ggf. die Abweichung ausgewiesen. Es war zu prüfen, ob unter dem Radweg die Boden-, Wasser- und Luftverhältnisse wesentlich von denen des nat. Bodens abweichen.

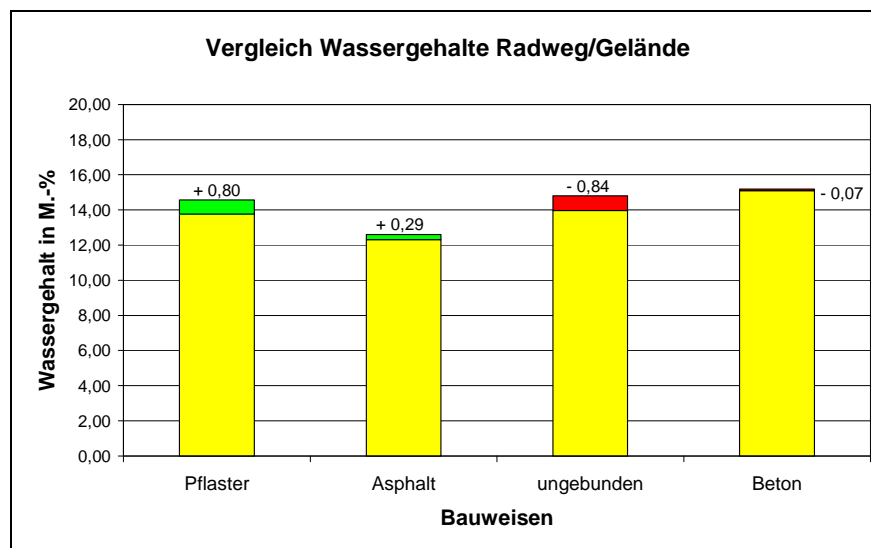
3. Erkundungsergebnisse



Der allgemein verwendete Begriff der Versiegelung bei Radwegen bedeutet, dass sich generell unter den Radwegen die Bodenverhältnisse durch Bau, Nutzung und Unterhaltung gravierend negativ verändern. Insbesondere der gebundenen Decke wird eine negative Veränderung der Bodenverdichtung und der Wassergehalte unterstellt. Dies ist nicht der Fall. Vielfach liegen die natürlichen Wassergehalte über denen des Geländes. Ganz deutlich wird dies bei gebundener Befestigung an den Mergelstandorten nachgewiesen.

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.

Auf allen Bodenstandorten lässt sich aus den Ergebnissen unter gebundenen Radwegedecken keine Negativveränderung des Wasserhaushaltes ableiten. Eine Versiegelungswirkung kann, ausgehend von den ermittelten natürlichen Wassergehalten, nicht nachgewiesen werden.



 Zunahme des w_n zum Gelände
 Reduzierung des w_n zum Gelände

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Bei der Begutachtung ist zu berücksichtigen, dass die Wassergehaltsbestimmung eine Momentaufnahme im Winter als auch im Sommer ist. Diese Größe ist niederschlagsbedingten Schwankungen unterworfen. Die Grunderkenntnisse dieser Begutachtung sind davon jedoch nicht betroffen.

Wesentlich für die Bewertung der ermittelten Wassergehalte ist die aus der Geländeform und den Entwässerungseinrichtungen der Radwegekonstruktion resultierende Schwankungsbreite.

- Es wird mit den Messwerten deutlich, dass gebundene Radwegekonstruktionen den Untergrund vor extremer Nachverdichtung schützen können. Der Bau ungebundener Verkehrsflächen liegt offensichtlich in der Wasseraufnahme ungünstiger als eine befestigte Verkehrsfläche.
- Der Radwegkörper fungiert als Wasserspeicher, wenn er gleichzeitig als Versickerungskörper genutzt wird. Weiterhin wird die Verschlammungsneigung der natürlichen Böden in Senken unterbunden.
- Der Radwegkörper wirkt als Filter und als Sickeranlage, wenn er gezielt im Gründungsbereich filterstabil mit frostempfindlichen Sanden nach ZTVE-StB aufgebaut ist. Schlamm bzw. Feinanteile der Erosion können nicht in den Filter eindringen, das stauende Oberflächenwasser wird über den Radweg versickert. Mit der gezielten Ableitung des Oberflächenwassers über projektierte Sicker in den Boden wird der Grundwasserstand aufgebessert, und der Wasser-Luft-Haushalt ausgeglichener, die Bodenstruktur verbessert und Stauzonen im Radwegbereich vermieden. Durch die Versickerungsanlagen für das Oberflächenwasser wird die Fließgeschwindigkeit des abfließenden Wassers und das Erosionspotential reduziert. Das versickerte Wasser entlastet die Vorflut von Schwebestoffen.

Es ist auf Grund der vielen km Radwege ein Beitrag zur Anhebung des Grundwasserstandes. Zukünftige Radwegprojekte bzw. auch Straßenprojekte sollten den ökologischen Aspekt Grundwasserzuführung grundsätzlich gesondert ausweisen, um die Öffentlichkeit besser zu informieren.

Auf allen Bodenstandorten lässt sich unter gebundenen Radwegedecken keine Negativveränderung des Wasserhaushalts ableiten. Eine Versiegelungswirkung kann, ausgehend von den ermittelten natürlichen Wassergehalten, nicht nachgewiesen werden. Der Vergleich des Einflusses der gebundenen und ungebundenen Befestigungen auf den natürlichen Wasserhaushalt bestätigt nicht die üblichen Annahmen, dass die Pflasterbauweise und die ungebundene Decke ein Beispiel für ökologisches Bauen sind.

Der Radweg mit gebundener Decke ist ein Bodensiegel ohne versiegelnde Wirkung.

Friedrichsmoor, den 20. August 2009

Dipl.-Ing. Uwe Adler
Beratender Ingenieur

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Abkürzungsverzeichnis

AS	Anschlußstelle
FK	Feldkapazität Vol.-%
FSS	Frostschuttschicht
gg	geländegleich
ges. Mittel	gesamtes Mittel
HP	Hochpunkt
i. M.	im Mittel
LSG	Landschaftsschutzgebiet
LRS	leichte Rammsonde
M.-%	Masseprozent
max	maximal
min	minimal
nat.	natürlich
nFK	nutzbare Feldkapazität Vol.-%
NSG	Naturschutzgebiet
OKG	Oberkante Gelände
QP	Querprofil
RKS	Rammkernsondierung
RRB	Regenrückhaltebecken
SL	lehmiger Sand
TP	Tiefpunkt

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Abkürzungsverzeichnis

ungeb.	ungebunden
Vol.-%	Volumenprozent
Win.	Winter
Som.	Sommer
Wn	natürlicher Wassergehalt
WP	Welkepunkt Austrocknungsgrad des Bodens

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Anhang

A. Auswertung der Wassergehalte nach Standorten

A.1. Sandstandorte

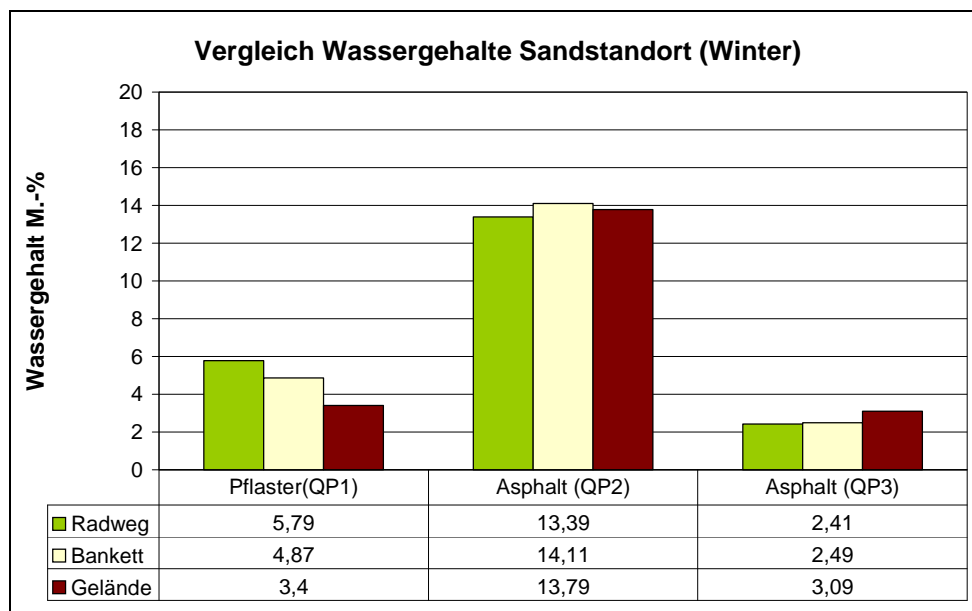
Die Sandstandorte wurden wie folgt gewählt:

QP 1 - Pflaster, geländegleich	B 05 Abschnitt 250, km 0+770
QP 2 - Asphalt, Tiefpunkt, Waldlage	B 191 Abschnitt 40, km 1+622
QP 3 - Asphalt, Hochpunkt, Waldlage	B 191 Abschnitt 40, km 2+688
QP 4 - Asphalt, Tiefpunkt Grünland	B 191 Abschnitt 45, km 0+302

An der B 191 vor Dömitz im Bereich der Gefällestrecke wurden am Hochpunkt und Tiefpunkt die Wasserverhältnisse bestimmt. Durch diese Verfahrensweise werden Einflüsse der Geländelage auf den Bodenwasserhaushalt verdeutlicht.

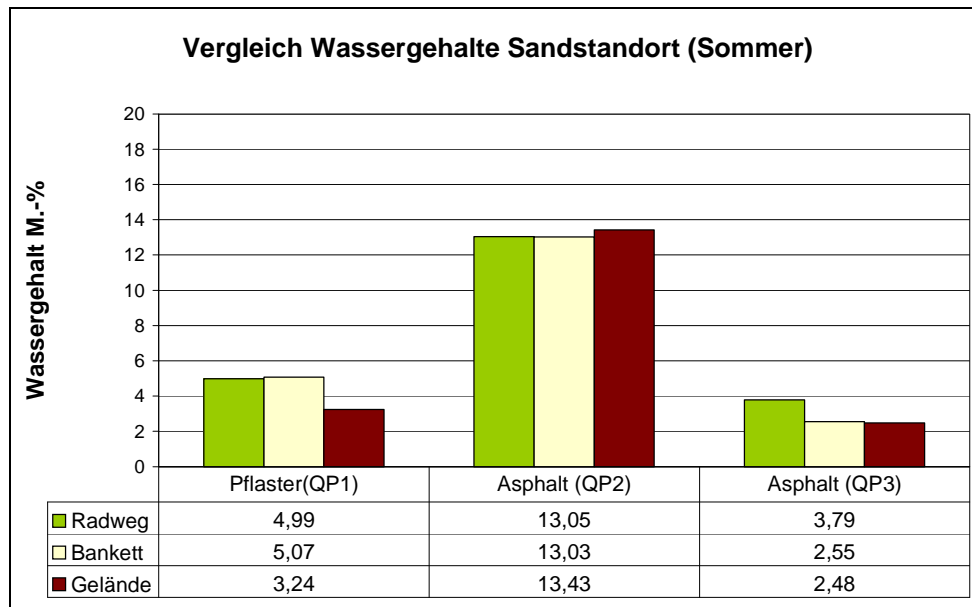
Die geologischen Besonderheiten sind aus den graphischen Darstellungen der Rammkernsondierungen ersichtlich (siehe Anhang). So weist der Standort QP 4 unterschiedlich stark überlagerte Tonschichten aus, die eine Vergleichbarkeit der natürlichen Wasserhaushalte ausschließen. Die ermittelten Prüfergebnisse verdeutlichen den Einfluss der Lage im Gelände mit der die natürlichen Wassergehalte abweichen können.

Die Wassergehalte der Rammkernsondierungen ergeben als Mittel der Gesamterkundungstiefe folgende Prüfergebnisse:



Grafik 1: Vergleich Wassergehalte Sandstandort, Winter

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen



Grafik 2: Vergleich Wassergehalte Sandstandort, Sommer

Plasterbauweise

Die Wassergehalte schwanken bis 1 m Tiefe stark, der Oberboden weist 10.51 M.-% Wasser im Gelände auf. Bis 1 m Tiefe sinkt dieser Anteil auf 3.59 M.-%. Die Trockenrohdichten in 1 m Tiefe liegen im Feld und im Bankett gleich. Im Bereich der Pflasterbauweise liegt der natürliche Wassergehalt unter dem Radweg höher als im Gelände.

Asphaltbauweise

Die Wassergehalte der Asphaltbereiche belegen die Einflüsse aus der Geländeform. Im Bereich des Längsgefälles der Radwege weisen in der Winterperiode die w_n im Gelände 3.79 M.-% Wasser auf, am Tiefpunkt in der Senke 21.82 M.-%. Ähnlich auch in der Sommerperiode.

Abweichungen der Ergebnisse:

		Wasseranreicherung
QP 1	Pflasterbauweise weist unter dem Radweg einen höheren Wassergehalt auf	extreme Schwankungen
QP 2	Asphaltbauweise weist gleiche Wasserverhältnisse im Radwegbereich und im Gelände auf.	± 0.4 M.-%
QP 3	Asphaltbauweise HP weist auf im Winter eine Reduzierung von im Sommer eine Erhöhung um auf	- 0.68 M.-% + 1.31 M.-%
QP 4	Diese Messergebnisse sind bedingt durch unterschiedliche Tonschichtungen und Staueinflüsse	nicht wertbar, unterschiedlicher geologischer Aufbau (Ton/Sand)

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Ermittelter Unterschied w_n Gelände zum Radwegkörper (Gelände = 100 %):

Profil Nr.	Bauweise	Winter		Sommer	
		[M.-%]	[%]	[M.-%]	[%]
QP 1	Pflasterbauweise	+ 2.39	+ 70.3	+ 1.75	+ 54.0
QP 2	Asphaltbauweise	- 0.40	- 2.9	- 0.38	- 2.8
QP 3	Asphaltbauweise	- 0.68	- 22.0	+ 1.31	+ 52.8

Tabelle 1: Sandstandort Ermittelter Unterschied w_n Gelände zum Radwegkörper

Die Feldkapazität mittlerer Sandstandorte beträgt ca. $FK = 10.5$ Vol.-% ($n\ FK = 8.0$ Vol.-%). In den Oberbodenschichten schwankt der aktuelle w_n (Gelände) von $\min w_n = 2.91$ Vol.-% bis $\max w_n = 16.64$ Vol.-%.

Zusammenfassung Standort Sand

Die jahreszeitlichen Schwankungen sind gering. Die Boden-, Wasser- und Luftverhältnisse werden stark von dem Geländere relief bestimmt. Die Hügellagen und ebenes Gelände sind stark entwässert und weisen einen Wassergehalt w_n von ca. 3.0 M.-% bzw. w_n von 3.5 M.-% auf. Hingegen bilden sich in den Senken Stauhorizonte mit einem Wassergehalt w_n bei ca. 13.8 M.-%.

An Tiefpunkten fließt ein Teil des Oberflächenwassers der angrenzenden landwirtschaftlichen Nutzflächen zusammen, es entsteht ein Stauwasserbereich. Der aktuelle w_n liegt in diesen Bereichen bei ca. 20.0 Vol.-%.

Das abfließende Oberflächenwasser versickert im Untergrund. In Jahreszeiten mit hohen Niederschlägen liegt der w_n im Gelände etwas höher. Hingegen sind in trockenen Jahreszeiten die w_n unter dem Radwegkörper höher.

Auf Sandstandorten lässt sich unter gebundenen Radwegekonstruktionen keine Negativveränderung des Wasserhaushalts nachweisen.

A.2. Bindiger Standort

Der bindige Standort, stark schluffige Sande bzw. Schluffe, ist eine eiszeitliche Bildung im nordwestlichen Randbereich des Schweriner Sees. Es ist allgemein ein bewegtes Gelände mit Hoch- und Tiefpunkten.

Es wurden folgende Standorte untersucht:

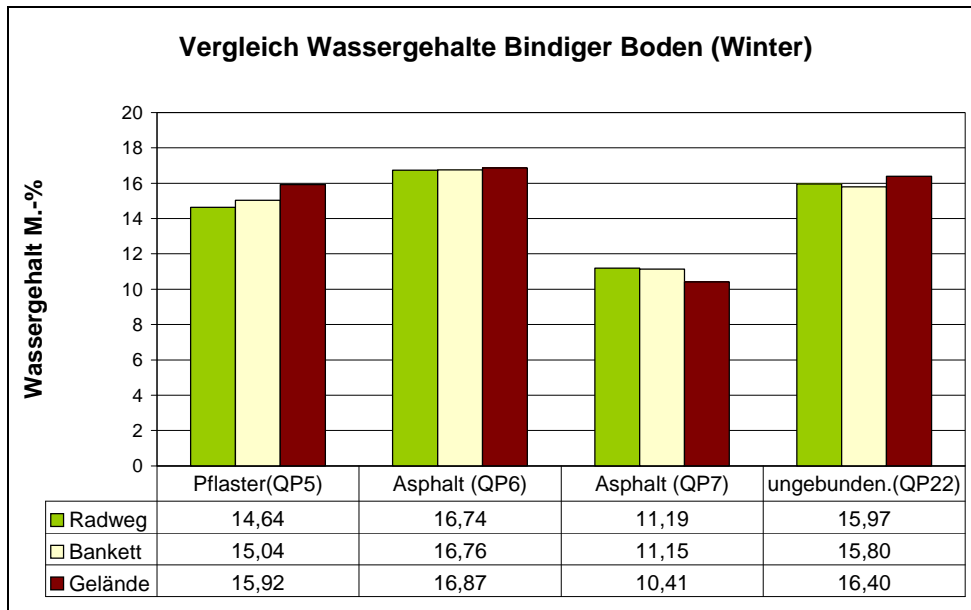
QP 5 - Pflaster, geländegleich	L 101 Abschnitt 80, km 2+150
QP 6 - Asphalt, geländegleich, Acker	L 101 Abschnitt 80, km 2+043
QP 7 - Asphalt, geländegleich, Grünland	L 101 Abschnitt 40, km 1+483
QP 22 - ungebunden, geländegleich, Grünland	L 101 Abschnitt 40, km 0+991

Dieser Standort entspricht einem lehmigen Sand (SL). Die mittleren Feldkapazitäten liegen $FK = ca. 26.0$ Vol.-% und die $nFK = ca. 16.0$ Vol.-%.

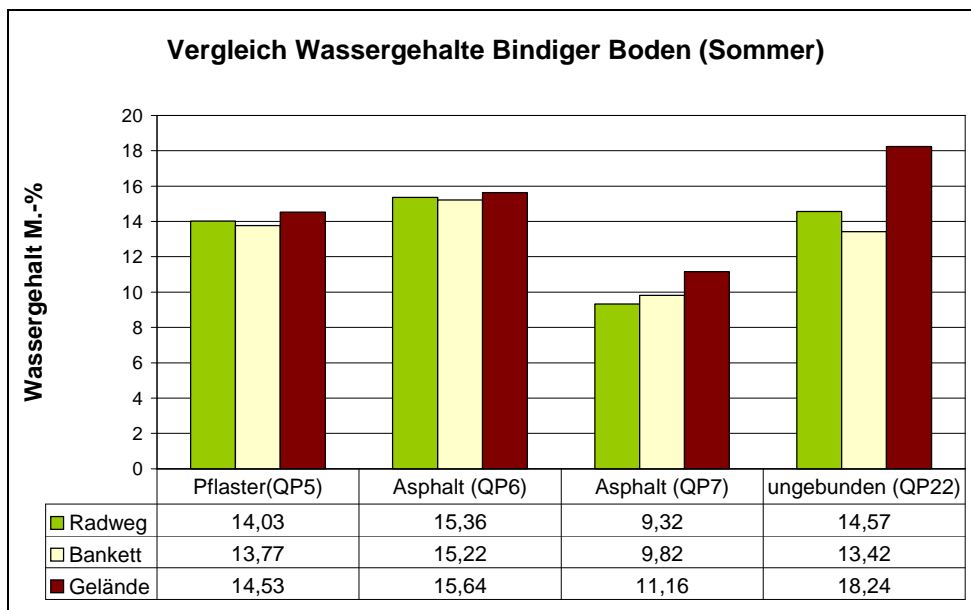
In der Winterperiode war der Oberboden auf Grund der starken Niederschläge mit Wasser teilweise derart gesättigt, dass in der zweiten Ebene der Stechzylinderentnahme Schichtenwasser auftrat.

Die Rammkernsondierungen ergeben als Mittel der vergleichbaren Gesamt- erkundungstiefe folgende Prüfergebnisse:

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen



Grafik 3: Bindiger Boden, Vergleich Wassergehalte, Winter



Grafik 4: Bindiger Boden, Vergleich Wassergehalte, Sommer

Pflasterbauweise geländegleich

Die Wassergehalte liegen in diesem Bereich relativ einheitlich. Die natürlichen Wassergehalte der Stechzylinderproben belegen im oberflächennahen Bereich höhere natürliche Wassergehalte als unter dem Radweg.

Asphaltbauweise / ungebundene Bauweise

QP 6 Asphalt weist im Gelände und in der Radwegekonstruktion einen annähernd ausgeglichenen Wasserhaushalt auf.

QP 7 Asphalt weist unter der Radwegekonstruktion einen 7.5 % (von 100) höheren Wasseranteil aus. Absolut 0.78 M.-%. Im Sommer kehrt sich dieses Verhältnis um.

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

QP 22 Ungebundene Decke weist unter der Radwegekonstruktion einen 2.6 % (von 100) geringeren Wassergehalt aus. Absolut 0.43 M.-%. Deutlich höher ist der Unterschied im Sommer sichtbar.

Ermittelter Unterschied w_n Gelände zum Radwegkörper (Gelände = 100 %)

Profil Nr.	Bauweise	Winter		Sommer	
		[M.-%]	[%]	[M.-%]	[%]
QP 5	Pflasterbauweise	- 1.28	- 8.0	- 0.50	- 3.4
QP 6	Asphaltbauweise	- 0.13	- 0.8	- 0.28	- 1.8
QP 7	Asphaltbauweise	+ 0.78	+ 7.5	- 1.84	- 16.5
QP 22	ungebunden	- 0.43	- 2.6	- 3.67	- 20.1

Tabelle 2 Bindiger Boden Ermittelter Unterschied w_n Gelände zum Radwegkörper

Zusammenfassung bindiger Standort

Insgesamt gibt es Schwankungen in den Wassergehalten. Nach den Erkundungsergebnissen weist die Radwegekonstruktion unter dem Asphalt gleiche bis höhere natürliche Wassergehalte als im Gelände auf. Die Pflasterbauweise und die ungebundene Bauweise ergeben einen niedriger liegenden Wasserhaushalt unter der Radwegekonstruktion.

Für bindige Standorte ist eine Negativbeeinflussung des natürlichen Wasserhaushaltes durch gebundene Radwegekonstruktionen nicht nachweisbar.

A.3. Mergelstandort

Die Erkundungsstellen des Mergelstandortes liegen im Bereich Penkun an der Bundesstraße B 113.

QP 8 - Pflaster, Hochpunkt	B 113, Abschnitt 35, km 0+074
QP 11 - Pflaster, geländegleich	B 113, Abschnitt 35, km 0+004
QP 9 - Asphalt, Hochpunkt, Acker	B 113, Abschnitt 40, km 2+330
QP 10 - Asphalt, Tiefpunkt, Acker	B 113, Abschnitt 40, km 2+940
QP 12 - ungebunden, Hochpunkt	B 113 A 11 AS Penkun Auffahrt RRB

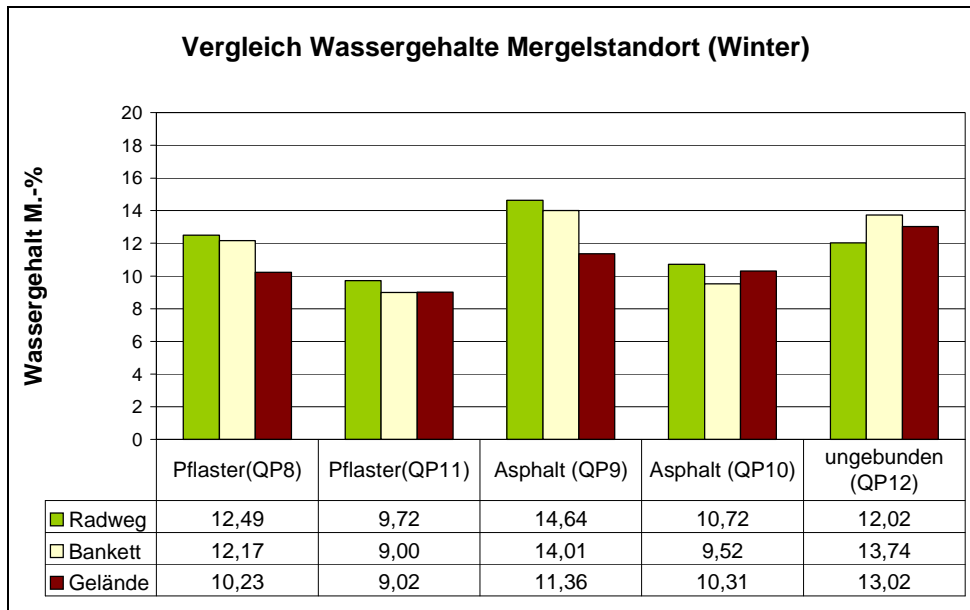
Das Gelände ist eiszeitlich geprägt, weist Hügel und Senken auf. Die Radwege sind neben der Bundesstraße nachgerüstet worden, so dass sie einen separaten Baukörper ergeben. Der Mergel zeichnet sich durch eine hohe Wasserempfindlichkeit aus. Konkrete Durchschnittswerte von Soll Feldkapazitäten (Fk) sind nicht bekannt. Es wird ein Durchschnittswert für die Soll-Feldkapazität im Bereich von

$$\begin{aligned} \text{FK} &= 26.0 \text{ Vol.-% bis } 36.0 \text{ Vol.-%} \\ \text{nFK} &= 16.0 \text{ Vol.-% bis } 19.0 \text{ Vol.-%} \end{aligned}$$

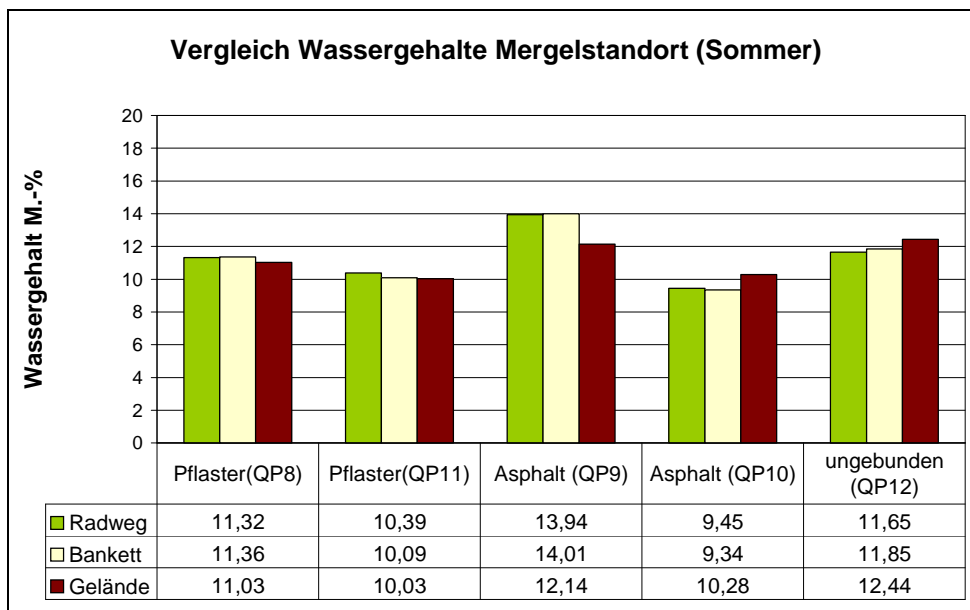
angewandt.

Die Rammkernsondierungen ergeben als Mittel folgende Prüfergebnisse:

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen



Grafik 5: Mergelstandort, Vergleich Wassergehalte, Winter



Grafik 6: Mergelstandort, Vergleich Wassergehalte, Sommer

Pflasterbauweise geländegleich

Bedingt durch die intensiven Niederschläge ab Oktober 2008 bis Dezember 2008 weisen die ungestörten Proben im Gelände vereinzelt hohe Wassergehalte auf, allgemein schwanken die Wassergehalte.

Wn	min	ca.	10.0 M.-%	= ca. 18.0 Vol.-%
Wn	max	ca.	16.0 M.-%	= ca. 27.0 Vol.-%
Wn	i.M.	ca.	12.0 M.-%	= ca. 22.0 Vol.-%

Die natürlichen Wassergehalte unter der Radwegekonstruktion liegen über den Wassergehalten im natürlichen Gelände. Eine Reduzierung des natürlichen Wasserhaushaltes durch die gebundene Radwegekonstruktion ist nicht feststellbar.

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Asphaltbauweise, ungebundene Bauweisen

- QP 9 Asphalt weist unter der Radwegekonstruktion einen im Winter um 3.3 M.-% und im Sommer 1.8 M.-% höheren Wassergehalt auf
- QP 10 Asphalt ist eine Abweichung im natürlichen Wassergehalt < 0.4 M.-% belegt (Winter).
- QP 12 Ungebundene Bauweise weist Winter wie Sommer im Gelände einen höheren Wassergehalt auf

Ermittelter Unterschied w_n Gelände zum Radwegkörper (Gelände = 100 %)

Profil Nr.	Bauweise	Winter		Sommer	
		[M.-%]	[%]	[M.-%]	[%]
QP 8	Pflasterbauweise	+ 2.26	+ 22.1	+ 0.29	+ 2.6
QP 11	Asphaltbauweise	+ 0.70	+ 7.8	+ 0.36	+ 3.6
QP 9	Asphaltbauweise	+ 3.28	+ 28.9	+ 1.80	+ 14.8
QP 10	Asphaltbauweise	+ 0.41	+ 4.0	- 0.83	- 8.1
QP 12	ungebunden	- 1.00	- 7.7	- 0.79	- 6.4

Tabelle 3: Mergelstandort, Ermittelter Unterschied w_n Gelände zum Radwegkörper

Zusammenfassung mergelige Standorte

Im Jahresmittel ist an den Standorten mit gebundener Bauweise der natürliche Wassergehalt unter den Radwegen höher als im Gelände bzw. ausgeglichen. Hingegen liegt bei der ungebundenen Bauweise der Wassergehalt im Gelände höher. In der Winterperiode wurde an zwei Standorten ein höherer Wassergehalt unter der Radwegekonstruktion nachgewiesen

Für Mergelstandorte ist eine Negativbeeinflussung des natürlichen Wasserhaushaltes durch gebundene Radwegekonstruktionen nicht nachweisbar.

A.4. Kreidestandort

Die Erkundungsstellen des Kreidestandortes liegen auf der Insel Rügen an der Bundesstraße B 96 bzw. an der Landesstraße L 303. Neben der Bundesstraße B 96 verläuft ein als Radweg genutzter alter Straßenbereich.

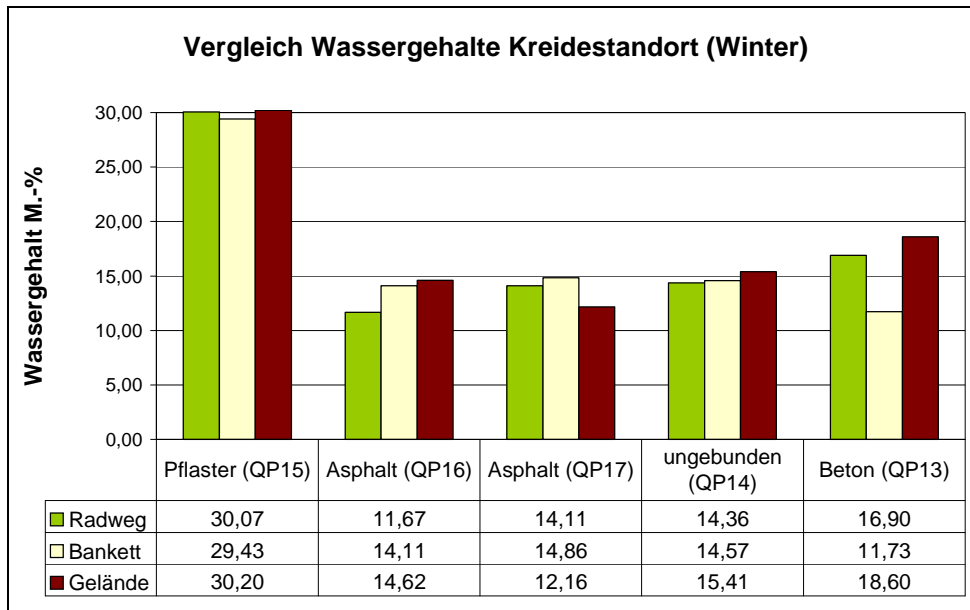
An der Landesstraße L 303 wurden mangels Radwege im Pflasterbereich und im Asphaltbereich der Landesstraße geprüft und die Probeentnahmen ausgewertet.

Gewählte Standorte:

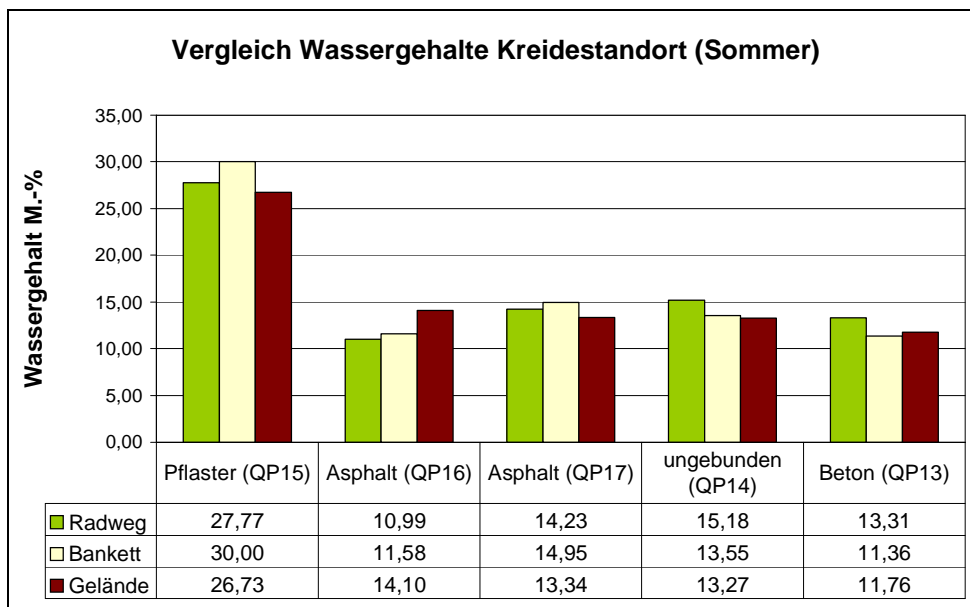
- | | |
|--|---------------------------------------|
| QP 13 - Beton, geländegleich, Acker | B 96, Abzweig Klementelwitz ,km 0+061 |
| QP 14 - ungebunden, Hochpunkt, Acker | B 96 Abzweig Blieschow ,km 0+053 |
| QP 15 - Pflaster / Asphalt, Hochpunkt, | L 303 Abschnitt 30, km 4+460 |
| QP 16 - Asphalt, Tiefpunkt, Acker | B 96 Abschnitt 610, km 2+047 |
| QP 17 - Asphalt, Hochpunkt, Acker | B 96 Abschnitt 610, km 1+98 |

Die Rammkernsondierungen ergeben als Mittel der vergleichbaren Gesamterkundungstiefe folgende Prüfergebnisse:

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen



Grafik 7: Kreidestandort, Vergleich Wassergehalte, Winter



Grafik 8: Vergleich Wassergehalte, Sommer

Pflasterbauweise

Die Probeentnahmen erfolgten im November/Dezember 2008. In dieser Zeit fielen erhebliche Niederschläge in Form von Regen. Die natürlichen Wassergehalte unter der Pflasterdecke liegen bei 30.0 M.-%, ebenso im Gelände. Die absolute Abweichung des w_n Pflasterdecke zum Gelände beträgt 0.13 M.-% < 1.0 M.-% (Winterperiode). Die Wasserverhältnisse im Gelände und unter der Pflasterdecke sind gleich zu bewerten, eine Versiegelung kann nicht festgestellt werden.

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Asphalt-, Beton- und ungebundene Bauweise

QP 13 Die geologischen Verhältnisse sind nur bedingt vergleichbar.

QP 14 Unbefestigter Weg. Auf Grund der Befahrung mit LKW und Traktor gibt es einen Verdichtungshorizont zwischen 50 cm Tiefe und 75 cm Tiefe, der die Versickerung des Wassers verhindert.

Durch die Messergebnisse ist gut ersichtlich, dass eine gebundene Tragschicht den Boden schützt.

QP 16 und QP 17 sind im gleichen Deckenaufbau entnommen. Es ist nicht nachvollziehbar, warum im Bereich des Hochpunktes höhere natürliche Wassergehalte im Gelände festgestellt werden als im Tiefpunkt. Insgesamt sind die aufgetretenen Unterschiede der natürlichen Wassergehalte gleich zu bewerten.

Ermittelter Unterschied w_n Gelände zum Radwegkörper(Gelände=100%):

Profil Nr.	Bauweise	Winter		Sommer	
		[M.-%]	[%]	[M.-%]	[%]
QP 15	Pflasterbauweise	- 0.13	- 0.4	+ 1.04	+ 3.9
QP 16	Asphaltbauweise	- 2.95	- 20.2	- 3.11	- 22.1
QP 17	Asphaltbauweise	+ 1.95	+ 16.0	+ 0.89	+ 6.7
QP 14	ungebunden	- 0.79	- 6.4	+ 1.91	+ 14.4
QP 13	Beton	- 1.70	- 9.1	+ 1.55	+ 13.2

Tabelle 4 Kreidestandort, Ermittelter Unterschied w_n Gelände zum Radwegkörper

Zusammenfassung der Erkundungsergebnisse vom Kreidestandort

QP 13 Die Messergebnisse sind nur bedingt vergleichbar. Grund sind unterschiedliche geologische Verhältnisse.

QP 15 Pflasterbauweise ergibt sich ein Unterschied zum Gelände von < -0.13 M.-% im Winter. Hingegen ist der Wassergehalt im Sommer unter dem Radweg höher (+1.04 M.-%).

QP 14 Ungebundene Konstruktion, hier wurde eine Reduzierung von -0.79 M.-% festgestellt und im Sommer eine Erhöhung um +1.91 M.-% des Wassergehaltes unter der Konstruktion festgestellt. Die Ursache liegt in einer extremen Verdichtung durch Traktoren und Lkw.

QP 16 Asphalt weist eine Abweichung von -2.95 M.-% (Winter) und -3.11 M.-% (Sommer) auf Tiefpunkt.

QP 17 Asphalt weist eine Abweichung von +1.95 M.-% (Winter) und +0.89 M.-% auf Hochpunkt.

Die Messwerte belegen, dass gebundene Radwegekonstruktionen den Untergrund vor extremer Nachverdichtungen schützen. Ungebundene Verkehrsflächen liegen in der Wasseraufnahme ungünstiger als befestigte Verkehrsflächen. Der mittlere natürliche Wassergehalt der ungebundenen Konstruktion liegt unter dem w_n der Betonkonstruktion.

QP 15 ist ein reiner Kreidestandort und mit den anderen Erkundungen nicht vergleichbar.

In der Gesamtheit gleicht sich der Wasserhaushalt von QP 15, QP 16 und QP 17 aus, es ergibt sich ein plus von 0.15 M.-% zum Gelände.

Für Kreidestandorte ist eine Negativbeeinflussung des natürlichen Wasserhaushaltes durch gebundene Radwegekonstruktionen nicht nachweisbar.

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

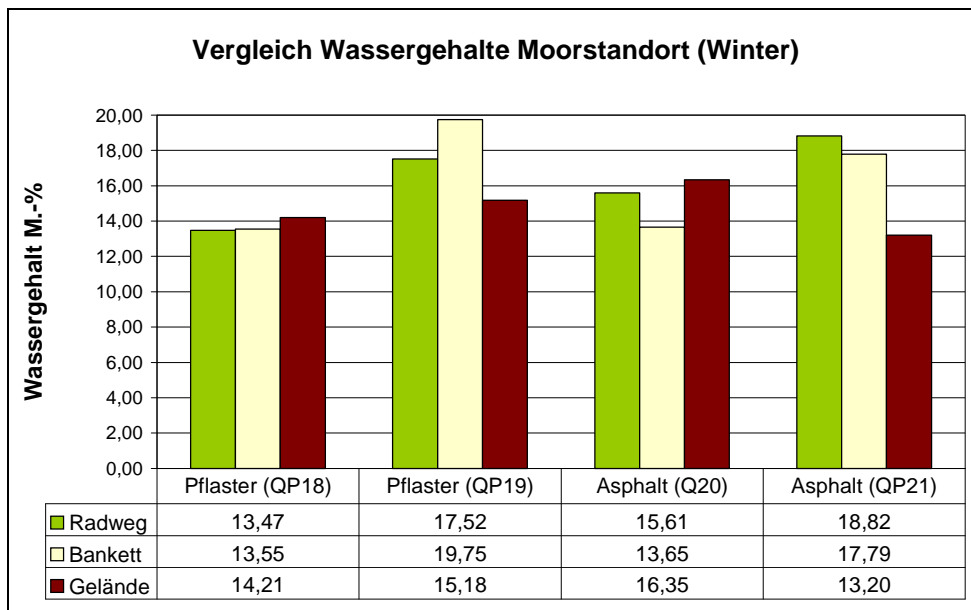
A.5. Moorstandort

Die Erkundungsstellen des Moorstandortes liegen auf dem Fischland / Darß. Der Radweg verläuft parallel zur L 21. Die Probeentnahmen erfolgten Anfang Januar 2009. In dieser Zeit fielen erhebliche Niederschläge in Form von Regen.

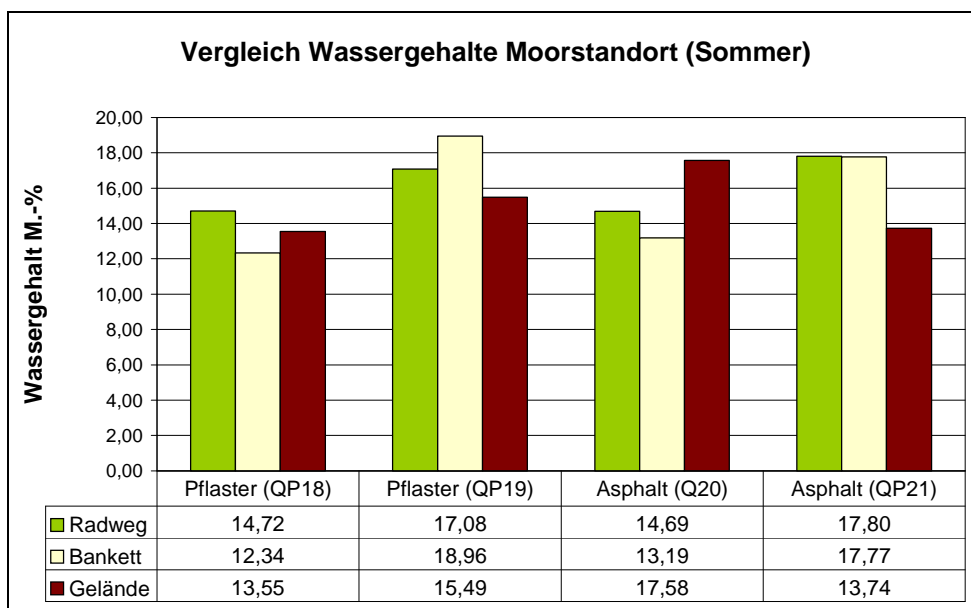
Gewählte Standorte:

QP 18 - Pflaster, geländegleich	L 21, Abschnitt 30, km 0+067
QP 19 - Pflaster, Tiefpunkt	L 21, Abschnitt 30, km 0+167
QP 20 - Asphalt, geländegleich	L 21, Abschnitt 20, km 1+233
QP 21 - Asphalt, Tiefpunkt, Acker	L 21, Abschnitt 20, km 0+823

Die Rammkernsondierungen ergeben als Mittel der vergleichbaren Gesamterkundungstiefe folgende Prüfergebnisse



Grafik 9: Moorstandort, Vergleich Wassergehalte, Winter



Grafik 10 Moorstandort, Vergleich Wassergehalte, Sommer

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Pflasterbauweise

Der Vergleich Sommer / Winter zeigt, dass die Wassergehalte auf ähnlichem Niveau sind. Der Vergleich der Standorte weist stärkere Unterschiede auf als die jahreszeitlichen Schwankungen.

Asphaltbauweise

Analog der Pflasterbauweise sind die jahreszeitlichen Schwankungen der natürlichen Wassergehalte gering. Erhebliche Unterschiede im natürlichen Wassergehalt ergeben sich aus der Geländelage und dem Geländegefälle.

Zu Standort QP 21 ist anzumerken, das sich unter der Radwegskonstruktion eine Torflage befindet, die aus Gründen der Vergleichbarkeit zum Gelände nicht in der Berechnung des Wassergehaltes berücksichtigt wurde.

Ermittelter Unterschied w_n Gelände zum Radwegkörper(Gelände = 100 %):

Profil Nr.	Bauweise	Winter		Sommer	
		[M.-%]	[%]	[M.-%]	[%]
QP 18	Pflasterbauweise	- 0.74	- 5.2	+ 1.17	+ 8.6
QP 19	Pflasterbauweise	+ 2.34	+ 15.4	+ 1.59	+ 10.3
QP 20	Asphaltbauweise	- 0.74	- 4.5	- 2.89	- 16.4
QP 21	Asphaltbauweise	+ 5.62	+ 42.6	+ 4.06	+ 29.5

Tabelle 5 Moorstandort, Ermittelter Unterschied w_n Gelände zum Radwegkörper

Zusammenfassung der Erkundungsergebnisse

- QP 18 In der Sommerperiode weist die Pflasterbauweise unter der Konstruktion einen um 1.17 M.-% höheren w_n -Gehalt auf. Hingegen wurde im Winter ein um 0.74 M.-% geringer w_n -Gehalt festgestellt
- QP 19 In Winter- und Sommerperiode wurde ein höherer Wassergehalt unter der Radwegskonstruktion nachgewiesen.
- QP 20 In Winter- und Sommerperiode wurde ein niedriger Wassergehalt unter der Radwegskonstruktion nachgewiesen
- QP 21 Unter der Radwegskonstruktion wurde in der Winterperiode ein um 5.62 M.-% und in der Sommerperiode ein um 4.06 M.-% höheren Wassergehalt nachgewiesen.

Für Moorstandorte ist eine Negativbeeinflussung des natürlichen Wasserhaushaltes durch gebundene Radwegekonstruktionen nicht nachweisbar.

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

B. Auswertung der natürlichen Wassergehalte nach Bauweisen

Die Mittelwerte der Bauweisen sind in der Tabelle 6 ausgewiesen. Folgende Prüfergebnisse wurden ermittelt.

B.1. Pflasterdecke

			<u>Sommer</u>		<u>Winter</u>	
				M.-%		M.-%
Sandstandort	Wn	Gelände	3.24	M.-%	3.40	M.-%
	Wn	Radweg	4.99	M.-%	5.79	M.-%
Lehmstandort	Wn	Gelände	14.53	M.-%	15.92	M.-%
	Wn	Radweg	14.03	M.-%	14.64	M.-%
Mergelstandort	Wn	Gelände	11.03	M.-%	10.23	M.-%
	Wn	Radweg	11.32	M.-%	12.49	M.-%
	Wn	Gelände	10.03	M.-%	9.02	M.-%
	Wn	Radweg	10.39	M.-%	9.72	M.-%
Kreidestandort	Wn	Gelände	26.73	M.-%	30.20	M.-%
	Wn	Radweg	27.77	M.-%	30.07	M.-%
Moorstandort	Wn	Gelände	13.55	M.-%	14.21	M.-%
	Wn	Radweg	14.72	M.-%	13.47	M.-%

Die erhebliche Abweichung der Wassergehalte resultiert aus den unterschiedlichen Wasserhaltevermögen der Bodenarten auf verschiedenen Geländen. Die Schwankungen Winter/Sommer fallen im Mittel gering aus und liegen zwischen ca. 1.00 M.-% -3.00 M.-%.

Im Jahresmittel aller Standorte ergibt sich unter dem gepflasterten Radweg ein höherer natürlicher Wassergehalt von 0.80 M.-% als im Gelände. Es ist keine ungünstige Auswirkung auf den Wasserhaushalt durch den gepflasterten Radwegebau feststellbar.

B.2. Asphaltbauweise

			<u>Sommer</u>		<u>Winter</u>	
				M.-%		M.-%
Sandstandort	Wn	Gelände	2.48	M.-%	3.09	M.-%
	Wn	Radweg	3.79	M.-%	2.41	M.-%
	Wn	Gelände	13.43	M.-%	13.79	M.-%
	Wn	Radweg	13.05	M.-%	13.39	M.-%
Lehmstandort	Wn	Gelände	11.16	M.-%	10.41	M.-%
	Wn	Radweg	9.32	M.-%	11.19	M.-%
	Wn	Gelände	15.64	M.-%	16.87	M.-%
	Wn	Radweg	15.36	M.-%	16.74	M.-%
Mergelstandort	Wn	Gelände	10.28	M.-%	10.31	M.-%
	Wn	Radweg	9.45	M.-%	10.72	M.-%
	Wn	Gelände	12.14	M.-%	11.36	M.-%
	Wn	Radweg	13.94	M.-%	14.64	M.-%
Kreidestandort	Wn	Gelände	14.10	M.-%	14.62	M.-%
	Wn	Radweg	10.99	M.-%	11.67	M.-%
	Wn	Gelände	13.34	M.-%	12.16	M.-%
	Wn	Radweg	14.23	M.-%	14.11	M.-%
Moor	Wn	Gelände	17.58	M.-%	16.35	M.-%
	Wn	Radweg	14.69	M.-%	15.61	M.-%
	Wn	Gelände	13.74	M.-%	13.20	M.-%
	Wn	Radweg	17.80	M.-%	18.82	M.-%

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Die natürlichen Wassergehalte schwanken ähnlich der Pflasterbauweise. Die starken Unterschiede innerhalb eines Standortes belegen den starken Einfluss der Geländelage auf den Wasserhaushalt. Die Prüfergebnisse schwanken z.B. auf dem Sandstandort zwischen 2.48 M.-% und 13.79 M.-%. Andere Böden weisen nicht derart große Abweichungen auf.

Im Jahresmittel aller Standorte ergibt sich unter dem asphaltierten Radweg ein um 0.30 M.-% höherer natürlicher Wassergehalt als im Gelände. Es ist keine ungünstige Auswirkung auf den Wasserhaushalt durch den asphaltierten Radwegbau feststellbar.

B.3. Betonbauweise

Bedingt durch den geringen Anteil von Radwegbefestigungen aus Beton wurde lediglich im Bereich des Kreidestandortes eine Erkundung vorgenommen.

		<u>Sommer</u>		<u>Winter</u>	
Kreidestandort	Wn Gelände	11.76	M.-%	18.60	M.-%
	Wn Radweg	13.31	M.-%	16.90	M.-%

Auch unter Radwegen in Betonbauweise ist keine ungünstige Auswirkung auf den Wasserhaushalt feststellbar.

B.4. Ungebundene Bauweise

		<u>Sommer</u>		<u>Winter</u>	
Lehmstandort	Wn Gelände	18.24	M.-%	16.40	M.-%
	Wn Radweg	14.57	M.-%	15.97	M.-%
Mergel	Wn Gelände	12.44	M.-%	13.02	M.-%
	Wn Radweg	11.65	M.-%	12.02	M.-%
Kreidestandort	Wn Gelände	13.27	M.-%	15.41	M.-%
	Wn Radweg	15.18	M.-%	14.36	M.-%

Im Jahresmittel aller Standorte ergibt sich unter dem ungebundenen Radweg eine ungünstigere Wasserverteilung als unter gebundenen Decken. Die ungebundene Decke schafft einen Verdichtungshorizont, der wasserundurchlässig ist und eine ungleiche Wasserverteilung unter der Radwegekonstruktion verursacht.

C. Zusammenstellung der ermittelten Prüfergebnisse nach Bodenstandorten und nach Bauweisen

Der Vergleich unterschiedlicher Bauweisen auf den natürlichen Wasserhaushalt bestätigt nicht die üblichen Annahmen, dass die Pflasterbauweise und die ungebundene Decke ein Beispiel für ökologisches Bauen sind.

Die Unterschiede der natürlichen Wassergehalte zwischen Radwegekonstruktion und Gelände wird in Tabelle 6 dargestellt. Es wird der Unterschied in Masseprozent sowie relative Unterschied in Prozent ausgewiesen. Der Wassergehalt des Geländes ist der Basiswert (=100 %).

positive Differenz = Wassergehalt unter dem Radwege ist höher als im Gelände

negative Differenz = Wassergehalt unter dem Radwege ist niedriger als Gelände

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Aus dem Vergleich wurden ermittelt:

- die Summe der w_n aller Standorte nach Bauweisen
- die Mittelwerte der Wintererkundung als Durchschnitt aller Bodenstandorte 2008/2009, je Bauweise
- die Mittelwerte der Sommererkundung vom Juni 2009, als Durchschnitt aller Bodenstandorte, je Bauweise
- Darstellung der ermittelten Prüfergebnisse im Säulendiagramm

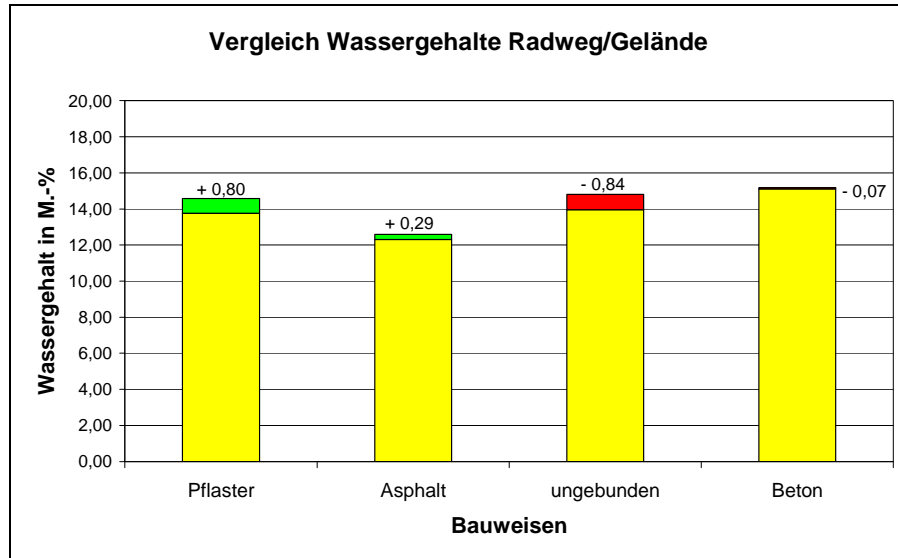
Ermittlung Unterschied w_n Gelände zum Radwegkörper, Mittel der Standorte (Tabelle 6)

		Pflaster		Asphalt		ungeb.	Beton	Mittel	ges.Mittel
Sand	Win. M.-%	2,39		-0,40	-0,68			0,44	0,67
	%	70,3		-2,9	-22,0			15,13	
	Som. M.-%	1,75		-0,38	1,31			0,89	
	%	54,0		-2,8	52,8			34,67	
Bindiger B.	Win. M.-%	-1,28		-0,13	0,78	-0,43		-0,27	-0,92
	%	-8,0		-0,8	7,5	-2,6		-0,98	
	Som. M.-%	-0,50		-0,28	-1,84	-3,67		-1,57	
	%	-3,4		-1,8	-16,5	-20,1		-10,46	
Mergel	Win. M.-%	2,26	0,70	3,28	0,41	-1,00		1,13	0,65
	%	22,1	7,8	28,9	4,0	-7,7		11,00	
	Som. M.-%	0,29	0,36	1,80	-0,83	-0,79		0,17	
	%	2,6	3,6	14,8	-8,1	-6,4		1,32	
Kreide	Win. M.-%	-0,13		-2,95	1,95	-1,05	-1,70	-0,78	-0,16
	%	-0,4		-20,2	16,0	-6,8	-9,1	-4,11	
	Som. M.-%	1,04		-3,11	0,89	1,91	1,55	0,46	
	%	3,89		-22,06	6,67	14,39	13,18	3,22	
Moor	Win. M.-%	-0,74	2,34	-0,74	5,62			1,62	1,30
	%	-5,2	15,4	-4,5	42,6			12,06	
	Som. M.-%	1,17	1,59	-2,89	4,06			0,98	
	%	8,6	10,3	-16,4	29,5			8,00	
Σw_n in M.-%		11,24		5,87		-5,03	-0,15		
Mittel	Win. M.-%	0,79		0,71		-0,83	-1,70		
	%	14,55		4,86		-5,71	-9,14		
	Som. M.-%	0,81		-0,13		-0,85	1,55		
	%	11,37		3,62		-4,03	13,18		
Mittel aus M.-%		0,80		0,29		-0,84	-0,08		
Win/Som %		13,0		4,2		-4,9	2,02		

	Zeile 1 w_n - Abweichung in M.-% zum Gelände
	Zeile 2 w_n - Abweichung in zum Gelände = 100%

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Mittel aus Bauweisen (Winter und Sommer)
Wasserbilanz aller Bodenstandorte je Bauweise als Mittelwert (Sommer / Winter)



Zunahme des w_n zum Gelände in M.-%
 Reduzierung des w_n zum Gelände in M.-%

Als Mittel aller Standorte und Bauweisen ergibt sich unter der Radwegekonstruktion ein höherer Wassergehalt von 0,18 M.-% als im Gelände..

D. Bewertung der Verdichtungsprüfungen mit der leichten Rammsonde nach DIN 4094

Um Aussagen zur Verdichtung der Böden unter dem Radweg und Gelände treffen zu können, wurden leichte Rammsondierungen durchgeführt.

Bei der Beurteilung der Lagerungsdichten muss berücksichtigt werden, dass Radwege auf dem Acker in dem Bereich gebaut werden, wo bereits Verdichtungszone durch den Ernteverkehr wahrscheinlich sind. Im reinen Acker treten im oberen Bereich ständige Auflockerungen durch die Bewirtschaftung auf.

Sandstandort

Pflaster

Radweg	bis	1.00 m	dichte Lagerungsdichte
Gelände	bis	1.00 m	mitteldichte Lagerungsdichte
Radweg	ab	1.00 m	dichte Lagerungsdichte
Gelände	ab	1.00 m	mitteldichte Lagerungsdichte

Asphalt Tiefpunkt

Radweg	bis	1.00 m	dichte Lagerungsdichte
Gelände	bis	1.00 m	dichte bis mitteldichte Lagerungsdichte
Radweg	ab	1.00 m	dichte Lagerungsdichte
Gelände	ab	1.00 m	dichte bis mitteldichte Lagerungsdichte

Asphalt Hochpunkt

Radweg	bis	0.50 m	sehr dichte Lagerungsdichte
Gelände	bis	0.50 m	mitteldichte Lagerungsdichte
Ab 1.00m Tiefe dichte Lagerung Gelände und Radweg			

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Asphalt geländegleich				
Radweg				dichte Lagerungsdichte
Gelände	bis	0.50 m		mitteldichte Lagerungsdichte
	ab	0.50 m		dichte Lagerungsdichte
<u>Lehmstandort</u>				
Pflaster, geländegleich				
Radweg				dichte bis sehr dichte Lagerungsdichte
Gelände	bis	0.50 m		lockere bis mitteldichte Lagerungsdichte
Pflugzone				
	ab	0.50 m		dichte Lagerungsdichte
	ab	1.00 m		sehr dichte Lagerungsdichte
Asphalt, geländegleich				
Radweg	bis	0.50 m		dichte Lagerungsdichte
	ab	0.50 m		lockere Lagerungsdichte
Gelände				lockere bis mitteldichte Lagerungsdichte
Asphalt, Tiefpunkt				
Radweg	bis	0.50 m		dichte Lagerungsdichte
Gelände Pflugzone				lockere Lagerungsdichte
	ab	0.50 m		dichte Lagerungsdichte
Ungebundene Bauweise				
Radweg	bis	0.75 m		dichte Lagerungsdichte
Gelände	ab	1.00 m		höhere Verdichtung als unter dem Radweg
<u>Mergelstandort</u>				
Pflasterbauweise Hochpunkt				
Radweg	bis	1.00 m		dichte Lagerungsdichte
	>	1.00 m		lockere Lagerungsdichte
Gelände				lockere bzw. lockere bis mitteldichte Lagerungsdichte
Pflasterbauweise geländegleich				
Radweg	bis	1.00 m		dichte Lagerungsdichte
	>	1.00 m		lockere Lagerungsdichte
	ab	1.50 m		dichte bis mitteldichte Lagerungsdichte
Gelände Pflugsohle				lockere Lagerungsdichte
	ab	0.50 m		dichte Lagerungsdichte
Asphalt, Tiefpunkt				
Radweg	bis	0.40 m		sehr dichte Lagerungsdichte, dann dichte Lagerungsdichte
Gelände				allgemein dichte Lagerungsdichte
Asphalt, Hochpunkt				
Radweg	bis	0.40 m		sehr dichte Lagerungsdichte
	ab	0.50 m		lockere bis mitteldichte Lagerungsdichte
Gelände	bis	1.00 m		lockere bis mitteldichte Lagerungsdichte
	ab	1.00 m		dichte bis mitteldichte Lagerungsdichte

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

ungebundene Bauweise

Verdichtung Gelände identisch ab	ca.	2.00 m	lockere bis mitteldichte Lagerungsdichte dichte Lagerungsdichte
-------------------------------------	-----	--------	--

Kreidestandort

Betonbauweise, geländegleich Radweg	bis	0.50 m	lockere bis mitteldichte Lagerungsdichte
	bis	3.00 m	dichte Lagerungsdichte gewachsener Baugrund.
Gelände	bis	1.30 m	lockere bis mitteldichte Lagerungsdichte
	bis	3.00 m	dichte Lagerungsdichte

Ungebundene Bauweise, Hochpunkt

Radweg	0.40– 0.60m	sehr dichte Lagerung Verdichtungshorizont
	0.60-1.50 m	mitteldichte Lagerungsdichte
	1.50-3.00 m	dichte Lagerungsdichte
Gelände	0.00–1.00 m	lockere Lagerungsdichte
	1.00-3.00 m	dichte Lagerungsdichte
Asphalt Hochpunkt Radweg	bis 1.00 m	sehr dichte Lagerungsdichte
	bis 3.00 m	dichte Lagerungsdichte
Gelände Pflugzone	0.50 - 3.00 m	mitteldichte bis lockere Lagerungsdichte dichte Lagerungsdichte, vereinzelt mitteldichte Lagerungsdichte
Asphalt Tiefpunkt Radweg	0.30 – 0.60 m	sehr dichte Lagerungsdichte
	0.60 – 3.00 m	dichte bis sehr dichte Lagerungsdichte
Gelände Pflugzone	0.50 – 1.00 m	lockere Lagerungsdichte mitteldichte bis lockere Lagerungsdichte
	1.00 – 3.00 m	dichte Lagerungsdichte

Moorstandort

Pflasterbauweise Hochpunkt Radweg + Gelände	Die Verdichtungen unter dem Radweg und im Gelände sind identisch, dichte Lagerungsdichte. Der unterlagerte Schluff ist plastisch, der Geschiebemergel sehr dicht gelagert.
--	--

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Pflasterbauweise Tiefpunkt

Radweg	allgemein dichte Lagerungsdichte
Bankette	bis 1.40 m Tiefe lockere Lagerungsdichte
Gelände	ab 0.50 m Tiefe dichte und sehr dichte Lagerungsdichte

Asphalt Dammlage

Radweg	0.50 – 0.60 m	Verdichtungshorizont
	0.60 – 1.70 m	lockere Lagerungsdichte
	> 1.70 m	dichte Lagerungsdichte
Bankette	0.40 – 1.60 m	lockere Lagerungsdichte
	> 1.60 m	dichte Lagerungsdichte
Gelände	0.00 – 0.50 m	lockere Lagerungsdichte
	> 0.50 m	dichte bis sehr dichte Lagerungsdichte

Asphalt geländegleich

Radweg	> 0.40 m	sehr dichte Lagerungsdichte
Gelände	0.00 – 0.20 m	lockere Lagerungsdichte
	> 0.20 m	dichte Lagerungsdichte vereinzelt mitteldichte Lagerungsdichte

Die festgestellten Verdichtungsergebnisse im Radweg und im Gelände sind nicht immer einheitlich zu bewerten.

Die Messergebnisse mit der leichten Rammsonde belegen in verschiedenen Fällen unter der Radwegekonstruktion einen Verdichtungshorizont. Der Ackerbereich ist bis ca. 50 cm Tiefe durch die Beackerung aufgelockert. Die Einzelwerte sind graphisch dargestellt.

Die Schlagzahlen im bindigen Boden werden vom Wassergehalt und der Konsistenz beeinflusst. Die leichten Rammsondierungen LRS ergeben keine absoluten Ergebnisse, es sind lediglich Anhaltswerte.

Wie die Gegenüberstellung der ermittelten Wassergehalte Gelände/Radwegekonstruktion zeigen, konnten keine Einflüsse auf die Wasserverteilung durch unterschiedliche Verdichtungsgrade auf den Mittelwert nachgewiesen werden.

E. Bewertung der Asphaltkonstruktionen

Der gebundene Radwegeoberbau wurde nur bei den Asphaltbefestigungen konkreter analysiert. Von besonderem Interesse ist der Hohlraumgehalt der Asphaltkonstruktion. Dichte Asphalte können Hohlraumgehalte < 3.0 Vol.-% aufweisen. Der Grenzwert wird allgemein mit 6.0 Vol.-% angegeben. Hohlraumgehalte kleiner 6.0 Vol.-% entsprechen hohlraumarmen Decken, größer 6.0 Vol.-% hohlraumreichen Decken.

Die Hohlraumgehalte betragen in der Asphaltdecke im Mittel 5.6 Vol.-% (Stärke 2.0 - 3.0 cm, von minimal 2.7 Vol.-% bis maximal 11.3 Vol.-%.)

In der unter der Asphaltdecke liegenden Asphalttragschicht beträgt der Hohlraumgehalt im Mittel 7.2 Vol.-% und ist als wasserdurchlässig anzusehen.

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

F. Untersuchungsmethoden und Berechnungen

Wassergehaltsbestimmung, Bodenansprache und -entnahme

Je Querprofil wurde im Radweg mittig, im Bankett sowie im Gelände eine Rammkernsondierung durchgeführt. Es wurde der aufgeschlossene Boden visuell nach DIN 4022 angesprochen und Proben zur Wassergehaltsbestimmung entnommen. Kriterien für die Wahl der Probeentnahme mittels Lanze waren Bodenarten und -schichten sowie die Feuchtigkeit und Konsistenz der Bodenproben. In den angegebenen Entnahmebereichen wurde das gesamte Material aus der RKS entnommen und der Wassergehalt nach DIN 18121 - 1 durch Ofentrocknung bestimmt. Der ermittelte Wassergehalt ist ein Durchschnittswert für diesen Entnahmebereich.

Um die Bodenverhältnisse zu beurteilen, wurden zu den Ergebnissen aus den Wintermonaten analog die Wassergehalte in den Sommermonaten bestimmt. Die Sondierstellen im Sommer wurden ca. 50 cm von denen im Winter versetzt.

Verdichtungsgrad, Schurfe

Um die Lagerungsdichte des Bodens zu beurteilen, wurde die Verdichtung mittels leichter Rammsondierung nach DIN 4094 bis zu einer Tiefe bis 3 m unter dem Radweg, im Bankett und im Gelände bestimmt. Im Bankett und Gelände wurden ein Meter tiefe Schurfe angelegt. In den Tiefen von ca. 0,5 m und 1 m (von OKG) wurden je Schurf Verdichtungsproben nach DIN 18125 entnommen und die Proctordichte nach DIN 18127 bestimmt. Die Untersuchungen wurden zeitgleich mit der RKS in der Winterperiode durchgeführt.

weitere Laboruntersuchungen

Für die Charakterisierung und Wertung der Bodenverhältnisse wurde an ausgewählten Proben der Kalkgehalt nach Schleiber DIN 18129, der Glühverlust nach DIN 18128 bestimmt sowie eine Kornverteilung nach DIN 18123 erstellt.

Berechnung der Wassergehalte und Mittelwerte

Zur Auswertung der Wasserverhältnisse im Boden wurden die Veränderungen der Wassergehalte im Bohrprofil und der mittlere Wassergehalt verwendet. Um einen aussagefähigen Mittelwert aus einer Rammkernsondierung zu bilden, wurden die jeweilig oberen 20-50 cm der Sondierung nicht in die Berechnung einbezogen. Diese Verfahrensweise ist bei Momentaufnahmen erforderlich, da die mögliche Abflussmenge und die Verdunstung nicht bekannt sind. Im Messbereich befand sich in der Regel Mutterboden mit Wurzelwerk des Bewuchses sowie die FSS des Radweges. Durch die unterschiedlichen Eigenschaften der oberen Schicht sind die Wassergehalte nicht vergleichbar. Entscheidend für die Aussagefähigkeit dieser Arbeit ist der Vergleich gleicher Böden (Lockergesteine) mit gleichem Wasserspeichervermögen. Werte, die nicht in die statistische Auswertung der Wassergehalte einfließen, sind in den Tabellen gelb unterlegt.

Überprüfung der Vergleichbarkeit von bodenmechanischen Eigenschaften natürlicher Böden mit
Radwegekonstruktionen in naturnahen Bereichen

Berechnung wie folgt:

Ø w_{n+} - Mittel aus den Wassergehalten je angesprochener Schicht

$$w_{n+} = \frac{\sum w_{ni}}{\sum n_i}$$

w_{ni} Wassergehalt je Schicht
 n_i Anzahl der Schichten

Ø w_n - Mittel aus den Wassergehalten je Schichtstärke

$$w_n = \frac{\sum w_{ni} \cdot d_i}{\sum d_i}$$

w_{ni} Wassergehalt je Schicht
 d_i Schichtdicke

Feldkapazität

Die Feldkapazität (FK) sind die Wasservolumenprozentage nach voller Durchfeuchtung des Bodens und Abfluss des schnell beweglichen Sickerwassers und von Teilen des langsam beweglichen Sickerwassers. Grund- und Stauwassereinfluss sind eingeschlossen.

Unter der nutzbaren Feldkapazität (nFK) versteht man das pflanzenverfügbare Wasser.