

Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahrbahn- markierungen bei Nässe

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 235

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are closely spaced and have a slight shadow or outline effect, giving it a three-dimensional appearance. The 'b' and 'a' are particularly prominent.

Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahrbahn- markierungen bei Nässe

von

Claudia Drewes
Stephan Laumer

Deutsche Studiengesellschaft für Straßenmarkierungen e. V.
Bad Sachsa

Holger Sick
Benjamin Auer
Peter Zehntner

Zehntner GmbH
Sissach BL

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 235

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die Berichte der BAST zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: FE SV.0004/2009
Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe

Fachbetreuung
Annette Gail

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-068-7

Bergisch Gladbach, Februar 2014

Kurzfassung – Abstract

Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes sollte eine Messmethode zur Erfassung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe von Markierungen identifiziert werden, die mit den derzeit verwendeten statischen Messmethoden korreliert. Zur dynamischen Messung der Nachtsichtbarkeit (trocken), entsprechend der 30-m-Geometrie, sind derzeit weltweit vier verschiedene dynamische Messgerädetypen im Einsatz. Für die dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit unter Bedingungen bei Regen gibt es Ansätze einer französischen Arbeitsgruppe und unter Bedingungen bei Feuchtigkeit gibt es ein Verfahren einer schwedischen Firma, das bislang nur bei profilierten Markierungen funktionieren soll.

Für die dynamische Bewässerung der Markierung wurde ein Prototyp entwickelt. Das Wasser wurde mit Hilfe einer leistungsfähigen Pumpe durch bis zu 6 Düsen befördert. Mit einer Höhenverstellung war es möglich, sowohl die Benetzungsbreite als auch die aufgebrachte Wassermenge stufenlos zu regulieren. Die Bewässerungseinheit und die Messoptik (ZDR 6020 R_L) wurden in zwei getrennten Fahrzeugen untergebracht. Als optimales Zeitfenster zwischen der dynamischen Bewässerung und der dynamischen Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe der Markierung wurden 5-10 s ermittelt. Für strukturierte Markierungen stellte sich eine Wassermenge von 420 ml/m² als Optimum heraus. Für Glattstrichmarkierungen konnte noch keine optimale Versuchsanordnung ermittelt werden.

Für die dynamische Bewässerung wird mehr Wasser benötigt als zunächst angenommen. Bei einer Fahrt bei 60 km/h werden bei einem Wasserdurchfluss von 3,85 l/s innerhalb von 4 min oder auch 4 km Streckenlänge ca. 1.000 l Wasser verbraucht. Deshalb wird eine flächendeckende dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe mit dynamischer Bewässerung wahrscheinlich nicht möglich sein.

Das vorgelegte System ist noch nicht uneingeschränkt zum Einsatz in der Praxis bereit. Daher wird vorgeschlagen, die Messmethode im Anschluss an dieses Forschungsprojekt im Großversuch zu überprüfen.

Dynamic measurement of night-time visibility and road markings under wet conditions

Within the research project at issue there was to be identified a method to measure the night-time visibility of road markings dynamically during wetness that correlates with the static measuring methods used at present. To measure the night-time visibility under dry conditions dynamically and according to the CEN-geometry (equivalent observation distance: 30 m) there are four different measuring instruments in action worldwide. For the dynamic measurement of the night-time visibility during rain a French team has made first researches and during wetness there is a method of a Swedish company that so far shall work on profiled marking systems only.

A prototype was developed for the dynamic watering. The water was applied onto the marking by using an efficient pump and pressing it through up to 6 nozzles. It was possible to regulate the moistening width as well as the applied amount of water smoothly by using a height adjustment. The watering unit and the measuring unit (ZDR 6020 R_L) were put into two different vehicles. The optimal time period between the dynamic watering and the dynamic measuring of the night-time visibility during wetness of the marking was 5-10 s. An optimal amount of water of 420 ml/m² was determined for structured markings. For markings with a smooth surface the optimal test arrangement could not be found so far.

For the dynamic watering more water has to be used than it was assumed beforehand. At a driving speed of 60 km/h and a flow of water of 3.85 l/s the use of water amounts to 1 000 l in 4 min or as well in 4 km. This is why an entire dynamic measurement of the night-time visibility with dynamic watering is probably not possible.

The system for the dynamic measurement of the night-time visibility of markings during wetness presented here is not entirely ready for practice yet. It is proposed to test the measuring method subsequently to this research project in a large-scale experiment.

Inhalt

Abkürzungen	6	4.11	Versuche mit dynamischer Bewässerung und dynamischer Messung	36
1 Allgemeines	7	5	Prototyp zur dynamischen Bewässerung	38
1.1 Aufgabenstellung	7	5.1	Konstruktion des Prototyps.	38
1.2 Planung und Ablauf der Arbeiten	7	5.2	Ermittlung des Wasserdurchflusses.	41
2 Literaturlauswertung	8	6	Durchführung der Hauptversuche und Versuchsergebnisse	42
3 Vorbemerkungen	10	6.1	Ermittlung des Zeitraums zwischen Bewässerung und Messung	42
3.1 Messung der Nachsichtbarkeit bei Nässe	10	6.2	Versuche mit dynamischer Bewässerung und statischer Messung	44
3.2 Zielgeschwindigkeit.	10	6.3	Versuche mit dynamischer Bewässerung und dynamischer Messung	54
3.3 Dynamische Messgeräte	10	7	Zusammenfassung	56
3.4 Versuchsstrecken	11	8	Bewertung	58
4 Durchführung der Vorversuche und Versuchsergebnisse	12	9	Folgerung für die Praxis	58
4.1 Veränderung des Messwinkels.	13	10	Ausblick	59
4.2 Zeitraum zwischen Bewässerung und Messung	15	11	Messgeräte und Messdaten	59
4.3 Bewässern einer auf der Straße aufgetragenen Markierung	17	11.1	Messgeräte	59
4.4 Bestimmung der Wassermenge auf der Markierung nach 60 s mit der Eimermethode	18	11.2	Messdaten	61
4.5 Benötigte Wassermenge bei 60 km/h.	19	11.2.1	Messdaten zu Kapitel 4.5 „Benötigte Wassermenge bei 60 km/h“	61
4.6 Vergleich Pinselmethode – Eimermethode	20	11.2.2	Messdaten zu Kapitel 4.8 „Messung R_L und Q_D auf verschiedenen Untergründen“	61
4.7 Vergleich Quastmethode – Eimermethode	21	11.2.3	Messdaten zu Kapitel 4.9 „Ermittlung des Wasserdurchflusses bei verschiedenen Kombinationen von Pumpen und Düsen“.	63
4.8 Messung R_L und Q_D auf verschiedenen Untergründen	21	12	Literatur	64
4.9 Ermittlung des Wasserdurchflusses bei verschiedenen Kombinationen von Pumpen und Düsen.	22			
4.10 Versuche mit dynamischer Bewässerung und statischer Messung	24			

Abkürzungen

Agglo	Agglomerat
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
Bew.	Bewässerung
DSGS	Deutsche Studiengesellschaft für Straßenmarkierungen e. V.
KP	Kaltplastik
KSP	Kaltspritzplastik
Q_d	Leuchtdichtekoeffizient bei diffuser Beleuchtung in $[\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}]$, „Tagessichtbarkeit“
R_L	Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion in $[\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}]$, „Nachtsichtbarkeit“
TP	Thermoplastik

1 Allgemeines

1.1 Aufgabenstellung

Ziel des im vorliegenden Bericht vorgestellten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens ist die Identifikation einer dynamischen Messmethode zur Erfassung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe von Markierungen, die mit den derzeit verwendeten statischen Messmethoden korreliert.

Die Entwicklung einer dynamischen Messmethode ist notwendig, da zukünftig die Ausschreibung von Leistungen für die Straßenausstattung, zumindest für Fahrbahnmarkierungen, über Funktionsbauverträge möglich sein soll. Derzeit werden diese in Deutschland in der Regel konventionell über ein Leistungsprogramm mit Leistungsverzeichnis ausgeschrieben. Für die Umsetzung von Funktionsbauverträgen ist eine stetige Überwachung des Zustandes der Straßenausstattung erforderlich, um verschlissene oder defekte Elemente zu erkennen und austauschen zu können, bevor die Verkehrssicherheit beeinträchtigt wird. Die Messungen zur Überwachung des Zustandes sollten im Rahmen der Funktionsbauverträge dynamisch, d. h. möglichst im Verkehr schwimmend, erfolgen, um größere Verkehrsbeeinträchtigungen zu vermeiden.

Für die Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe steht derzeit keine adäquate Methode zur Verfügung. In Frankreich wurde eine Methode entwickelt, die eine dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit bei Regen mit niedrigen Geschwindigkeiten erlaubt. Da die Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe, insbesondere bei mehrstreifigen Fahrbahnen, einen unmittelbaren Einfluss auf die Verkehrssicherheit hat, ist für diese Größe eine hohe Überwachungsqualität angezeigt.

Die Projektergebnisse können unmittelbar in Regelwerke für funktionale Anforderungen an Elemente der Straßenausstattung einfließen und einen wichtigen Beitrag zur Einführung von Funktionsbauverträgen in diesem Produktbereich liefern.

Vorgehen für das auf 12 Monate angesetzte Projekt:

- Identifikation von in Europa (insbesondere Frankreich) entwickelten dynamischen Messmethoden für die Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe.

- Prüfung, inwieweit diese in Deutschland auf Fahrbahnmarkierungen anwendbar sind.
- Vergleich der auf Fahrbahnmarkierungen anwendbaren dynamischen Methoden mit den etablierten statischen Messmethoden.
- Weiterentwicklung der Messmethoden zur Anwendung bei der Funktionsinspektion.

1.2 Planung und Ablauf der Arbeiten

Folgender Arbeitsablauf wurde für das Forschungs- und Entwicklungsprojekt geplant und umgesetzt:

1. Die einschlägigen Normen und die Literatur für dieses Vorhaben wurden zusammengestellt. Die gesammelte Literatur wurde hinsichtlich der Verwendbarkeit ausgewertet.
2. Die in Europa und weltweit bereits existierenden Verfahren zur dynamischen Messung der Nachtsichtbarkeit (trocken bzw. bei Nässe), die entsprechend den deutschen Vorschriften arbeiten, wurden recherchiert.
3. Es wurde geprüft, inwieweit die bereits existierenden Verfahren zur dynamischen Messung der Nachtsichtbarkeit (trocken bzw. bei Nässe) ggf. anwendbar waren. Im Falle von eventuellen Einschränkungen für die Anwendbarkeit wurden diese benannt.
4. Es wurde geklärt, inwieweit eventuelle Einschränkungen in der Anwendbarkeit einer bereits existierenden dynamischen Messmethode für das Forschungsvorhaben behoben oder akzeptiert werden konnten bzw. wie diese Methoden verbessert werden konnten. Parallel hierzu wurden die etablierten statischen Messmethoden gesichtet. Es wurde geprüft, ob und wie diese für dynamische Messungen weiterentwickelt werden konnten. Außerdem wurde parallel geprüft, ob gänzlich neue Methoden eingesetzt werden konnten. Hierzu wurden erste Vorversuche im Labor durchgeführt.
5. Es wurden geeignete Versuchsstrecken ausfindig gemacht und festgelegt. Auf ein bestehendes Markierungstestfeld, das die DSGS in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) sowie dem Land Niedersachsen im Harz unterhält, konnte zurückgegriffen werden.

6. Eine neue Methode wurde zunächst statisch im Labor entwickelt bzw. es wurden eine bereits existierende dynamische Messmethode und eine etablierte statische Methode weiterentwickelt. Hierzu wurden weitere Vorversuche auf geeigneten Versuchsstrecken durchgeführt.
7. Ein Prototyp für die dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe wurde konstruiert.
8. Die neu entwickelten bzw. weiterentwickelten dynamischen Messverfahren für die Nachtsichtbarkeit bei Nässe wurden mit den etablierten statischen Verfahren in der Praxis verglichen. Hierzu wurden umfangreiche Versuche auf Versuchsstrecken durchgeführt.
9. Das dynamische Messverfahren für die Nachtsichtbarkeit bei Nässe wurde durch regelmäßigen Vergleich zur statischen Messung angepasst und verbessert.
10. Die durchgeführten Recherchen und Versuche wurden laufend dokumentiert. Übereinstimmungen und eventuelle Abweichungen der dynamischen Messmethode von statischen Methoden wurden herausgestellt und bewertet. Es wurde ein Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt erstellt.

2 Literaturlauswertung

Die nächtliche Sichtbarkeit einer Markierung für den Autofahrer wird bestimmt durch die Retroreflexion der Markierung bei Anleuchtung durch den Fahrzeugscheinwerfer. Bis Mitte der 80er Jahre kamen ausschließlich herkömmliche Typ-I-Markierungen mit glatter Oberfläche im Straßenverkehr zum Einsatz, bei denen u. a. Anforderungen an die Tagessichtbarkeit und an die Nachtsichtbarkeit im trockenen Zustand gestellt werden, nicht aber an die Nachtsichtbarkeit bei Nässe.

In dieser Zeit wurde eine Erhebung unter Beteiligung der BAST durchgeführt, woraus sich ergab, dass allgemein eine Nachtsichtbarkeit auch bei nassen Markierungen gewünscht wurde [1]. Daraus entwickelten sich die so genannten Typ-II-Markierungen mit erhöhter Nachtsichtbarkeit bei Nässe. Erste Versuche mit solchen Markierungen hatte es schon in den 70er Jahren auf einem Markierungsprüffeld in Boppard gegeben [1]. Laut ZTV M 02, Kapitel 4.2, unterscheiden sich Typ-II-Markierungen

von Typ-I-Markierungen dadurch, dass Teile der Markierung so ausgebildet sind, dass sie aus der flachen Oberfläche der Markierung herausragen [2]. Dies kann durch grobe Nachstreumittel, also Reflexkörper von mehr als 1 mm Durchmesser, oder durch eine Strukturierung des Markierungsmaterials selbst erreicht werden.

Da es mittlerweile jedoch auch andere Markierungssysteme mit erhöhter Nachtsichtbarkeit bei Nässe gibt, beispielsweise Markierungssysteme, die mit unter Wasser leuchtenden Reflexperlen arbeiten, wurde diese Definition im aktuellen Entwurf der überarbeiteten ZTV M, Kapitel 3.7, folgendermaßen geändert: Fahrbahnmarkierungen des Typs II unterscheiden sich von Markierungen des Typs I dadurch, dass die Markierungen so ausgebildet sind, dass sie besonders ausgeprägte Retroreflexionseigenschaften bei Nacht und Nässe aufweisen. Sie müssen in den Prüfzeugnissen der BAST als Systeme des Typs II ausgewiesen sein [3].

Das Verfahren zur Bestimmung des Leuchtdichtekoeffizienten bei Retroreflexion R_L , auch „Nachtsichtbarkeit“ genannt, unter Bedingungen bei Trockenheit, bei Feuchtigkeit (im Folgenden auch Nachtsichtbarkeit bei Nässe genannt) sowie bei Regen ist in der DIN EN 1436, Anhang B [4], beschrieben. Mit der Standardmessung soll eine Sichtentfernung von 30 m für den Fahrer des Pkw simuliert werden, wobei dessen Augenhöhe über der Straße bei 1,2 m liegt und die Scheinwerfer 0,65 m über der Straße angeordnet sind. Die R_L -Werte werden in der Einheit $[\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}]$ angegeben. Um die Prüfbedingungen für die Messung bei Feuchtigkeit herzustellen, ist ein Wassereimer mit sauberem Wasser aus einer Höhe von etwa 0,3 m über der Oberfläche zu entleeren. Das Wasser muss gleichmäßig über die Prüffläche ausgegossen werden, sodass das Messfeld und das angrenzende Gebiet augenblicklich von dem Wasser überflutet werden. 60 s \pm 5 s nach dem Entleeren des Eimers wird der Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion R_L unter den Prüfbedingungen bei Feuchtigkeit gemessen. Die an jedem Ort verwendete Wassermenge muss mindestens 3 l betragen. Diese Messmethode wird im Folgenden Eimermethode genannt.

Bei Markierungen im Gebrauchszustand bildet sich bei Bewässerung ein homogener Wasserfilm über der Markierung. Bei neuen Markierungen, die auf einer Standardplatte oder auf der Straße aufgebracht wurden, bilden sich hingegen einzelne Pfüt-

zen, da die Markierung im Neuzustand noch hydrophob ist. Markierungen im Neuzustand mit hydrophober Oberfläche sind daher ungeeignet für Nassmessungen. Die Hydrophobie ist, zumindest bei Markierungen, die auf der Straße liegen und überrollt werden, üblicherweise nach einigen Wochen nicht mehr vorhanden, sodass dann die Prüfung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe durchgeführt werden kann. Bei Typ-I-Markierungen wird die Nachtsichtbarkeit bei Nässe normalerweise nicht gemessen, da es für sie keine Anforderungen diesbezüglich gibt.

Tragbare Messgeräte dienen demnach der Messung der R_L -Werte von Markierungen auf der Straße oder von auf Probeplatten aufgetragenen Straßenmarkierungsmaterialien [4]. Im Internet ist eine Liste der in Deutschland geprüften und zertifizierten Messgeräte für Fahrbahnmarkierungen veröffentlicht [5]. Für die im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Versuche wurden für Vergleichsmessungen die Handgeräte ZRM 1013+, ZRM 6013, LTL 2000 SQ sowie LTL-XL verwendet.

Auf einem Fahrzeug montierte Ausrüstungen werden angewendet, um die R_L -Werte von Straßenmarkierungen dynamisch, während der Fahrten des Fahrzeuges bei einer Geschwindigkeit, die der Verkehrsgeschwindigkeit entspricht, zu messen. Sie können für längere Straßenstrecken, insbesondere auch auf Autobahnen, angewendet werden. Sie können bei Stillstand des Fahrzeuges jedoch auch wie tragbare Messgeräte stationär verwendet werden [4].

Bislang ist festgelegt, dass für die Messung von feuchten Oberflächen von Straßenmarkierungen tragbare Messgeräte angewendet werden. Für (stationäre) Messungen der Nachtsichtbarkeit bei Regen können auch an einem Fahrzeug montierte Messköpfe verwendet werden [4]. Die dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe oder Regen ist in der DIN EN 1436 bislang nicht erfasst.

In der DIN EN 1436, Kapitel 4.3 [4], wird eine Einteilung der R_L -Werte in Klassen vorgenommen. Für Straßenmarkierungen bei Trockenheit gelten R-Klassen, unterschieden in dauerhafte weiße und dauerhafte gelbe Markierungen, sowie vorübergehende Markierungen. Straßenmarkierungen unter Bedingungen bei Feuchtigkeit werden in RW-Klassen und Straßenmarkierungen unter Bedingungen bei Regen in RR-Klassen eingeteilt. Jedes europäische Land kann sich für seine nationalen Anforderun-

gen je nach vorliegenden klimatischen Bedingungen eine dieser vorgegebenen Klassen auswählen.

In Deutschland wird standardmäßig die Nachtsichtbarkeit bei Nässe mit der Eimermethode ermittelt. Dies geschieht nicht, weil sie den Stand der Technik darstellt, sondern weil sie brauchbare Ergebnisse liefert und als überaus einfache Methode aus der Praxis nicht mehr wegzudenken ist. Messungen der Nachtsichtbarkeit bei Regen mit dem Regensimulator sind für die Vielzahl der durchzuführenden Kontrollprüfungen in der Praxis zu aufwändig. Daher wurden in der ZTV M 02 für Typ-II-Markierungen Anforderungen an die Nachtsichtbarkeit bei Nässe, nicht aber an die Nachtsichtbarkeit bei Regen festgelegt.

Die dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit im trockenen Zustand ist bereits seit mehreren Jahren ein Standardverfahren. Erste Ansätze hierzu sind bereits 1984 von MESEBERG [6] beschrieben worden. Derzeit sind weltweit vier verschiedene dynamische Messgerätetypen im Einsatz:

- Ecodyn [7, 8],
- ZDR 6020 R_L [9],
- Laserlux [10],
- LTL-M [11].

Sie alle können die Nachtsichtbarkeit (trocken) entsprechend der 30-m-Geometrie [4] messen.

Für die Messung der Nachtsichtbarkeit unter Bedingungen bei Regen gibt es Ansätze einer französischen Arbeitsgruppe [12]. Auf dem 1st International Road Marking Symposium im Rahmen der Intertraffic 2008 in Amsterdam wurde ein Verfahren vorgestellt, das mit einer 35 cm breiten Bewässerung bei 20 km/h und einem Wasserdurchfluss von 0,9 l/s arbeitet. Dies entspricht einer Wassermenge von 460 ml/m². Das Messfahrzeug fährt in einem Abstand von ca. 50 m hinter der Bewässerungseinheit.

Aufgrund der geringen Fahrgeschwindigkeit von 20 km/h (vgl. hierzu auch Kapitel 3.2) und der Tatsache, dass hier die Nachtsichtbarkeit bei Regen und nicht bei Nässe simuliert wurde, ist dieses System für das vorliegende Forschungsprojekt zunächst nicht anwendbar. Aufbauend auf dieser Grundlage kann jedoch davon ausgegangen werden, dass zur Ermittlung der Nachtsichtbarkeit bei

Nässe eine etwas geringere Wassermenge zur Bewässerung der Markierung benötigt wird.

Für die Messung der Nachtsichtbarkeit unter Bedingungen bei Feuchtigkeit wurde auf der Intertraffic, Amsterdam, im April 2010 ein neues Verfahren der Fa. Ramböll aus Schweden vorgestellt [13]. In der Broschüre heißt es: „Der Road Marking Tester (RMT) kann alle für die Markierung relevanten verkehrstechnischen Parameter in einer dynamischen Operation aufnehmen.“ Auf Nachfrage bei Petra Offrell, Ph. D. (CE), Manager OPQ Systems, Ramböll RST, Schweden, wurde aber deutlich, dass die verkehrstechnischen Eigenschaften außer der Nachtsichtbarkeit (trocken) nicht direkt gemessen werden, sondern aus den mit Hilfe des LTL-M dynamisch gemessenen Daten der Nachtsichtbarkeit (trocken) sowie der durch Laser abgetasteten Oberflächentextur berechnet werden. Die Nachtsichtbarkeit bei Nässe kann derzeit nur für profilierte Markierungen, wie sie üblicherweise in Skandinavien verwendet werden, berechnet werden. Für alle anderen Markierungssysteme gibt es noch kein Berechnungsprogramm.

Es erscheint fraglich, ob eine solche Berechnung in absehbarer Zeit für die vielfältigen verschiedenen Oberflächenstrukturen, die auf dem Markt sind, möglich sein wird. Die Nachtsichtbarkeit der Markierungen ist ja zudem nicht nur abhängig von der Oberflächentextur und dem damit einhergehenden schnelleren oder langsameren Wasserablauf, sondern auch von der Art der Reflexperlen. Die Materialbeschaffenheit der Reflexperlen, insbesondere der Brechungsindex des Reflexperlmaterials, beeinflusst ebenfalls die Intensität des rückgestrahlten Lichts. Zu nennen sind hier vor allem die unter Wasser leuchtenden Reflexperlen, die erst seit kurzem auf dem Markt sind. Diese Eigenschaften der Reflexkörper werden durch das Ramböll-System jedoch nicht erfasst.

3 Vorbemerkungen

3.1 Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe

Wegen einiger nicht zu kontrollierender Einflüsse (z. B. unterschiedliche Umgebungsparameter wie Decktemperatur, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind, die einen Einfluss auf die Schnelligkeit des Wasserabflusses ausüben) ist bei der Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe mit der Eimermethode

mit einer deutlich höheren (relativen) Streuung der Messwerte zu rechnen als bei der Nachtsichtbarkeit trocken. Dies ist zu bedenken, wenn später eine Korrelation eines dynamischen Verfahrens zur Eimermethode ermittelt wird. Es ist daher grundsätzlich überlegenswert, ob die überaus einfache und praktische Eimermethode das Maß für zukünftige weiterentwickelte Methoden sein sollte.

3.2 Zielgeschwindigkeit

Die dynamischen Messungen der Nachtsichtbarkeit bei Nässe müssen bei einer Geschwindigkeit von wenigstens 60 km/h durchgeführt werden, um im Einsatz auf Autobahnen im Verkehr wie gefordert mitzuschwimmen. Laut Straßenverkehrsordnung § 18, [14] dürfen Autobahnen nur mit Kraftfahrzeugen benutzt werden, deren durch die Bauart bestimmte Höchstgeschwindigkeit mehr als 60 km/h beträgt. Für einige Fahrzeuge gilt auf Autobahnen eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h: für Krafträder mit Anhänger und selbstfahrende Arbeitsmaschinen mit Anhänger, für Zugmaschinen mit zwei Anhängern sowie für Kraftomnibusse mit Anhänger oder Fahrgästen, für die keine Sitzplätze mehr zur Verfügung stehen. Die nachfolgenden Versuche konzentrieren sich daher auf eine Zielgeschwindigkeit von 60 km/h.

3.3 Dynamische Messgeräte

Da bereits mehrere Verfahren zur dynamischen Messung der Nachtsichtbarkeit im trockenen Zustand existieren (s. Kapitel 2) und die Nachtsichtbarkeit bei Nässe mit derselben Messgeometrie wie im trockenen Zustand aufgenommen wird, wird sich dieses Forschungsprojekt nicht hauptsächlich mit dem Messgerät selbst beschäftigen. Es ist dagegen die Frage zu beantworten, in welcher Art und Weise die vor der Messung durchzuführende Bewässerung beschaffen sein muss. Die Messung soll möglichst direkt nach der Bewässerung erfolgen, um unkontrollierbare Störeinflüsse möglichst auszuschalten. Es geht hier also in erster Linie um die Wassermenge pro m², die aufgebracht werden muss. Außerdem ist die Art der Aufbringung (Düsenform und -zahl, deren Anordnung und Größe sowie Spritzwinkel und -richtung) zu klären und zu prüfen, ob eventuell im Anschluss eine weitere Verteilung des Wassers (beispielsweise durch eine Stoffwalze, Pinsel, Quaste) nötig ist. Auch die Zeitspanne ist zu bestimmen, in der nach der Bewäs-

serung gemessen werden muss. Für die folgenden Versuche wurde das ZDR 6020 R_L als dynamisches Messgerät verwendet, da es von der Fa. Zehntner für die Messungen zur Verfügung gestellt wurde. Aber auch alle anderen oben erwähnten dynamischen Messgeräte mit der 30-m-Geometrie könnten gleichwertig eingesetzt werden.

Bei der dynamischen Messung mit dem ZDR 6020 R_L werden kontinuierlich Messwerte über einer viel größeren Fläche als bei statischen Messgeräten ermittelt. Die Messfleckgröße ist typischerweise 0,5 m x 1 m groß und es werden mehrere 100 Messwerte in der Sekunde aufgenommen. Diese einzelnen Messwerte werden nach einem bestimmten Intervall (z. B. 1 m) arithmetisch gemittelt. Beim Mitteln der Messwerte nach einem bestimmten Intervall werden Schwankungen der Messwerte innerhalb dieses Intervalls ausgeglichen. Weitere Informationen zum ZDR 6020 R_L sind im Prüfzeugnis Nr.0913-2009-05 erhältlich [15].

3.4 Versuchsstrecken

Für die Durchführung der Bewässerungsversuche wurden Versuchsstrecken mit bekannten Werten für die Nachsichtbarkeit bei Nässe der Markierung benötigt. Diese Werte mussten jeweils möglichst kurz vor den Versuchen ermittelt worden sein (maximal zwei Wochen vorher), denn die verkehrstechnischen Eigenschaften ändern sich durch Verschleiß fortlaufend während der Liegedauer der Markierung.

Außerdem mussten auf den verwendeten Versuchsstrecken möglichst viele verschiedene Markierungsarten vorhanden sein, um den Einfluss der Oberflächentextur der Markierung auf die notwendige Bewässerungsmenge und -art untersuchen zu können.

Der Unterschied bei der Aufnahme der dynamischen Messwerte gegenüber einer statischen Messung besteht darin, dass beim dynamischen Verfahren fortlaufend auf einer längeren Strecke gemessen wird, während die statische Messung der Nachsichtbarkeit bei Nässe jeweils nur eine Punktmessung darstellt. Daher wurden Strecken benötigt, bei denen möglichst viele statische Punktmessungen als Vergleichsdaten vorhanden waren und so über Mittelung ein guter Vergleich mit den dann ermittelten dynamischen Messungen erreicht werden konnte.

Für diese o. g. Zwecke bot sich das Markierungsprüffeld bei Torfhaus im Harz als Versuchsstrecke an. Dieses wurde im Jahr 2006 auf der Bundesstraße 4 mit dem Ziel angelegt, Erkenntnisse darüber zu erlangen, welche Markierungsstoffarten in Regionen mit viel Winterdienst, hier ist insbesondere der Schneepflugeinsatz zu nennen, gut geeignet sind und welche weniger geeignet sind. Beteiligt an der Erstellung und Unterhaltung des Prüffeldes sind die BAST, das Land Niedersachsen und federführend die DSGS.

Unter den über 100 Mustern auf dem Winterdienstprüffeld befinden sich alle gängigen Markierungsstoff- und Applikationsarten (Thermoplastiken, Kaltplastiken, 2-Komponenten-Farben, High-Solid-Farben, wasserverdünnbare Farben, Kaltspritzplastiken und Folien; Typ-I- und Typ-II-Systeme; Glattstrichsysteme, injizierte Systeme, profilierte Systeme sowie Agglomerate mit oder ohne Unterstrich). Das Prüffeld wurde entsprechend der Norm DIN EN 1824 [16] umgesetzt. Ein Prüfmuster besteht immer aus insgesamt acht Längsstreifen von je 2 m Länge und 15 cm Breite, die über die gesamte Breite des rechten Fahrstreifens der B 4 – ähnlich einem Fußgängerüberweg – in Fahrtrichtung appliziert wurden. Die Streifen eines Musters werden in Fahrtrichtung von links nach rechts mit a bis h benannt. Der Abstand zwischen zwei Streifen beträgt 20 cm und die Lücke zwischen zwei Prüfmustern ist 1 m lang (s. Bilder 1 und 2).

Im Jahr 2007, 2009 und 2010 wurden einige der Muster jeweils demarkiert und teilweise neu belegt. Im halbjährlichen Turnus werden die verkehrstechnischen Eigenschaften der Muster vermessen. Unter anderem wird auch die Nachsichtbarkeit bei Nässe statisch mit der Eimermethode gemessen. Pro Strich werden dabei immer drei Messpunkte aufgenommen und daraus das arithmetische Mittel gebildet. Die Ergebnisse aus den Messungen geben immer diesen Durchschnittswert aus drei Messpunkten wieder.

Durch die turnusmäßigen Messungen auf dem Prüffeld standen die Daten der verkehrstechnischen Eigenschaften der verschiedenen Muster zum Vergleich für das vorliegende Forschungsprojekt zur Verfügung.

Zusätzlich zu den vorhandenen Prüfmustern wurde für den vorliegenden Forschungsauftrag die Randmarkierung im Bereich des Markierungsprüffeldes auf der B 4 mit zwei verschiedenen Markierungssystemen erneuert. Die Muster auf dem Prüffeldwa-

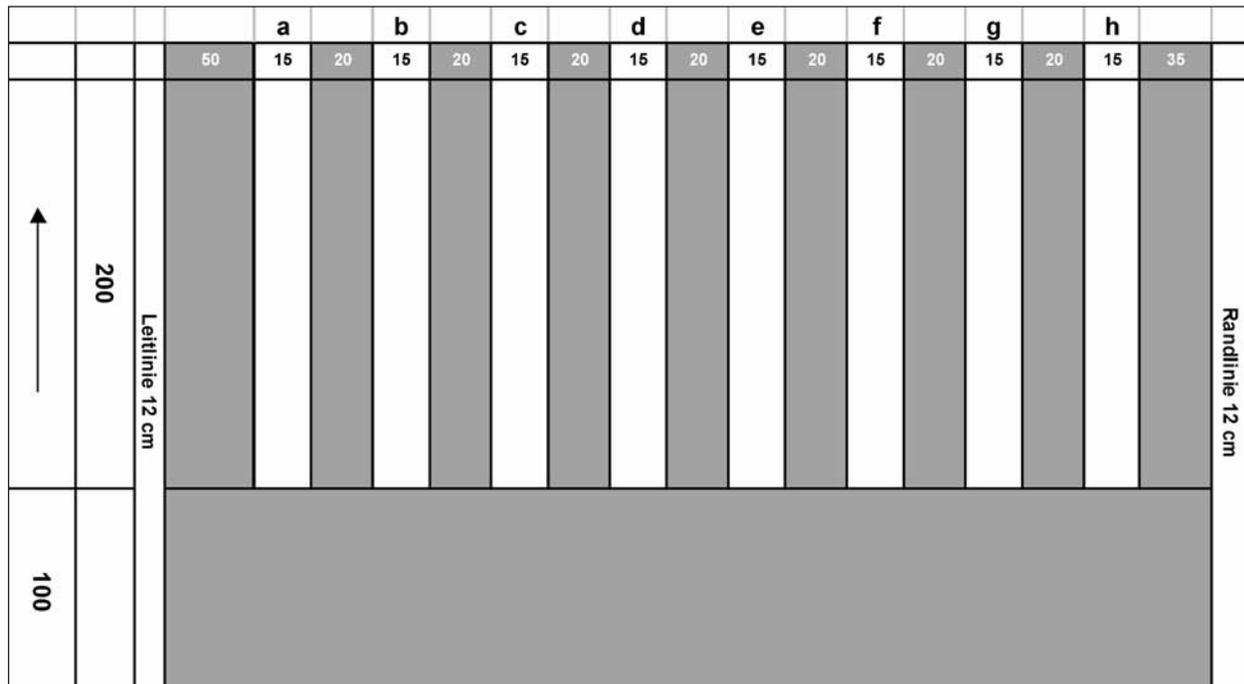


Bild 1: Applikationsschema eines Prüfmusters für das Prüffeld auf der B 4 bei Torfhaus (Angaben in cm)



Bild 2: Das fertig gestellte Prüffeld auf der B 4 bei Torfhaus

ren ja immer nur 2 m lang, sodass sie dynamisch schwierig zu erfassen waren. Der Randstrich hatte im Bereich des Prüffeldes eine genügende Länge, um erstens das Bewässerungs- und das Messfahrzeug schnell genug auf 60 km/h beschleunigen zu können und zweitens dynamisch eine gewisse Streckenlänge erfassen zu können.

Im April 2010 wurden daher auf den bestehenden vollflächigen Randstrich aus Thermoplastik durch die Fa. Meyer Verkehrstechnik GmbH aus Trautenstein auf 97 m Länge eine Kaltplastik-Glattstrichmarkierung und im Anschluss daran auf 194 m Länge eine Kaltplastik-Agglomeratmarkierung appliziert. Auch für diese Striche wurden im Mai und

August 2010 im Rahmen der turnusmäßigen Prüffeldmessungen die Werte für die Nachtsichtbarkeit bei Nässe mit der Eimermethode gemessen. Hier wurde auf jedem Meter eine Punktmessung durchgeführt (insgesamt knapp 300 Messungen pro Turnus). Die Messungen erfolgten immer in der Höhe der Prüfmuster am Anfang (A), in der Mitte (M) und am Ende (E) der Musterstriche, um die Messpunkte bei späteren dynamischen Bewässerungsfahrten möglichst genau wiederzutreffen.

Weitere Versuchstrecken wurden bei Bedarf in der Nähe der jeweils stattfindenden Versuche verwendet. Jedoch lagen hier jeweils keine oder nur wenige statische Vergleichsdaten vor.

4 Durchführung der Vorversuche und Versuchsergebnisse

In den in diesem Kapitel beschriebenen Vorversuchen wurde geprüft, inwieweit bereits existierende Verfahren zur dynamischen Messung der Nachtsichtbarkeit ggf. anwendbar waren und eventuelle Einschränkungen in der Anwendbarkeit behoben oder akzeptiert werden konnten.

Des Weiteren wurden die etablierten statischen Messmethoden gesichtet. Es wurde geprüft, ob und

wie diese für dynamische Messungen weiterentwickelt werden konnten.

Neben Vorversuchen im Labor wurden hierzu umfangreiche Versuche auf geeigneten Versuchsstrecken durchgeführt. Auf Grundlage der Ergebnisse der Vorversuche sollte ein Prototyp für die dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe entwickelt werden.

4.1 Veränderung des Messwinkels

Zunächst wurde versucht, die Bewässerungseinheit und die Messoptik am selben Fahrzeug unterzubringen. Dies würde gewährleisten, dass der Abstand zwischen der Bewässerungseinheit und der Messoptik konstant ist. Weiterhin würde nur ein Fahrzeug benötigt, sodass die Messung wesentlich einfacher wäre.

Dabei ergab sich folgendes Problem: Die Messdistanz beim dynamischen Messgerät ZDR 6020 R_L beträgt 6 m vor dem Messkopf. Der Messkopf muss möglichst fahrzeugmittig angebracht werden, um Abstandsveränderungen zum Boden weitgehend gering zu halten. Dementsprechend müsste die Bewässerungseinheit jedoch weit vor dem Fahrzeug angebracht werden. Deshalb sollte in einem Vorversuch herausgefunden werden, ob durch die Verkleinerung des Messwinkels im Messgerät bei Verkürzung der Messdistanz von 6 m auf 3 m immer noch identische Werte gemessen werden können (s. Bild 3).

Für den Versuch wurden ein Messfahrzeug der Marke Ford, der Messkopf des ZDR 6020 R_L und ein Standard mit $R_L = 977 \text{ mcd/m}^2 \times \text{l}$ eingesetzt.

Der Messwinkel wurde jeweils auf einer ebenen Fläche in einem Parkhaus so verändert, dass die Messdistanz entweder 6 m oder 3 m betrug. Es wurde dann jeweils auf den Standard kalibriert und die Versuchsstrecke mit dem korrekten bzw. veränderten Messwinkel mehrmals gemessen. Mit der 3-m-Messdistanz wurde anschließend auf eine Straßenmarkierung kalibriert und die Versuchsstrecke erneut mehrmals gemessen. Die Messfahrten wurden mit Excel verglichen und bewertet.

Folgende Beobachtungen wurden getroffen: Aufgrund der halbierten Messdistanz wurde auch der Messfleck halbiert. Bei einer halbierten Messdistanz ergab sich ein ca. doppelt so starkes Empfangssignal. Die Messungen der ersten Messfahrt

mit 3-m-Messdistanz haben zu hohe Messwerte ergeben (auf Standard kalibriert, s. Bild 4). Bei den Messungen, bei denen direkt auf die Straßenmarkierung kalibriert wurde, ergaben sich etwas zu tiefe Werte.

Bei einer Messdistanz von 3 m verschoben sich die Beleuchtungs- und die Beobachtungsbereiche zueinander. Dies stellte aber kein Problem dar, weil der Beleuchtungsbereich größer ist als der Beobachtungsbereich und der Beobachtungsbereich immer noch im Beleuchtungsbereich liegt.

Die Messwerte wurden normalisiert, d. h., sie wurden auf ein Normal skaliert (s. Bild 5). Jede Messfahrt wurde einzeln normalisiert, damit nichtlineare Abweichungen festgestellt werden konnten. Der Mittelwert der Nachtsichtbarkeit jeder Messfahrt wurde dementsprechend jeweils auf 1 gesetzt. Im Diagramm ist zu sehen, dass keine zu große Abweichung zwischen einer Messdistanz mit 6 m oder 3 m besteht. Nach Herausschneiden offensichtlicher Fehlmessungen (Markierung nicht getroffen, etc.) ergibt sich eine durchschnittliche Abweichung von 10 %. Die Messungen bei der Stationierung 0,6 und 1,5 deuten darauf hin, dass die Messwerte nicht ganz linear sind.

Wird der Messkopf höher am Fahrzeug montiert, ergibt sich ein größerer Messbereich bei 3-m-Messdistanz. Wasser und Schmutz stellen in dieser Anordnung kein Problem mehr dar.

Würde man den Weg mit der 3-m-Messdistanz weiter verfolgen, müsste man die Linearität überprüfen und dieselben Messungen mit unterschiedlichen Markierungstypen wiederholen. Die durchschnittliche Abweichung lässt sich mit einer genaueren Kalibrierung direkt auf die Straßenmarkierung wahrscheinlich noch verbessern und wäre für weitere Versuche sicher ausreichend.

Der verkleinerte Messfleck stellte sich jedoch bei Geschwindigkeiten $> 50 \text{ km/h}$ als Problem heraus, da die Markierung schon bei kleinen Lenkbewegungen aus dem Messbereich läuft. Das Fernziel bestand jedoch darin, die Messungen bei einer Geschwindigkeit von wenigstens 60 km/h durchzuführen. Aus diesem Grund wurde der Ansatz zunächst nicht weiter verfolgt.

Bewässern und Messen mit zwei Fahrzeugen haben auch Vorteile: Die Unterbringung der für die Bewässerung notwendigen großen Wassermengen im Messfahrzeug ist nur in einem sehr großen Fahr-



Bild 3: Messfleck in 3 m Abstand vor der Messoptik

zeug möglich, da dieses mit dem Messzubehör bereits beladen ist. Außerdem würde die stetige Gewichtsveränderung des Fahrzeugs, die zwangsläufig beim Entleeren des Wassertanks während der Messfahrt auftritt, eine Veränderung des Messwinkels mit daraus resultierenden Fehlmessungen zur Folge haben.

Eine Weiterentwicklung des Messsystems für mehr Winkeltoleranz und/oder eine Niveauregulierung

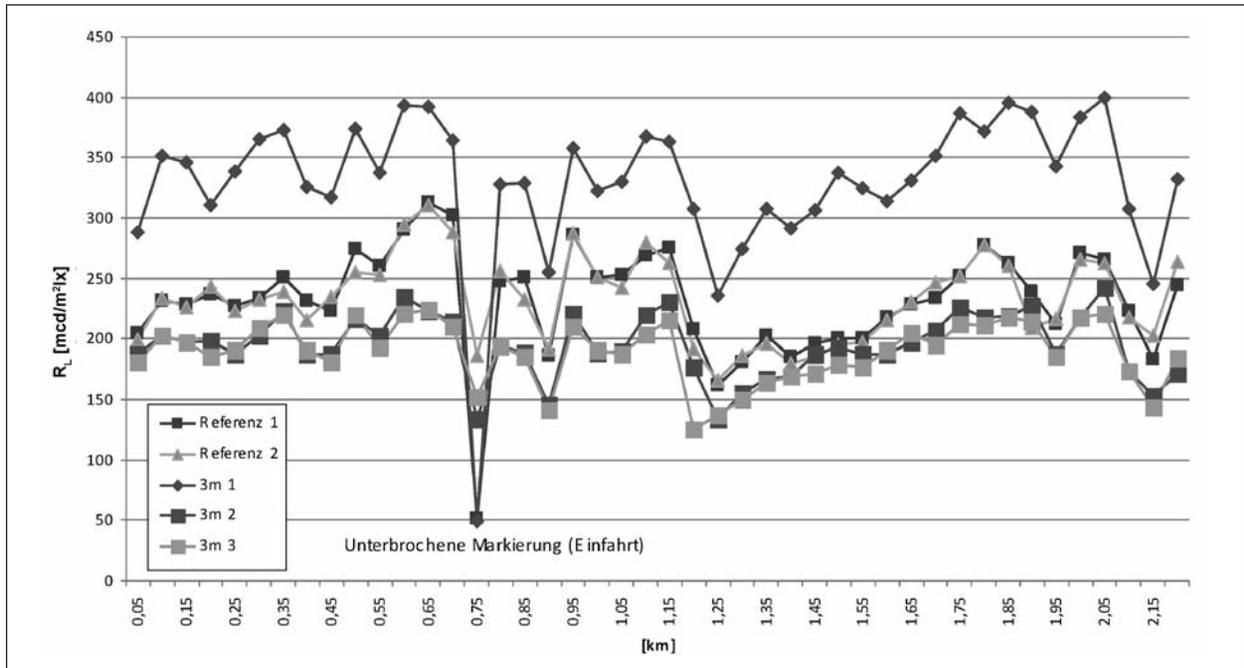


Bild 4: Messfahrten von Rümlingen nach Diepflingen

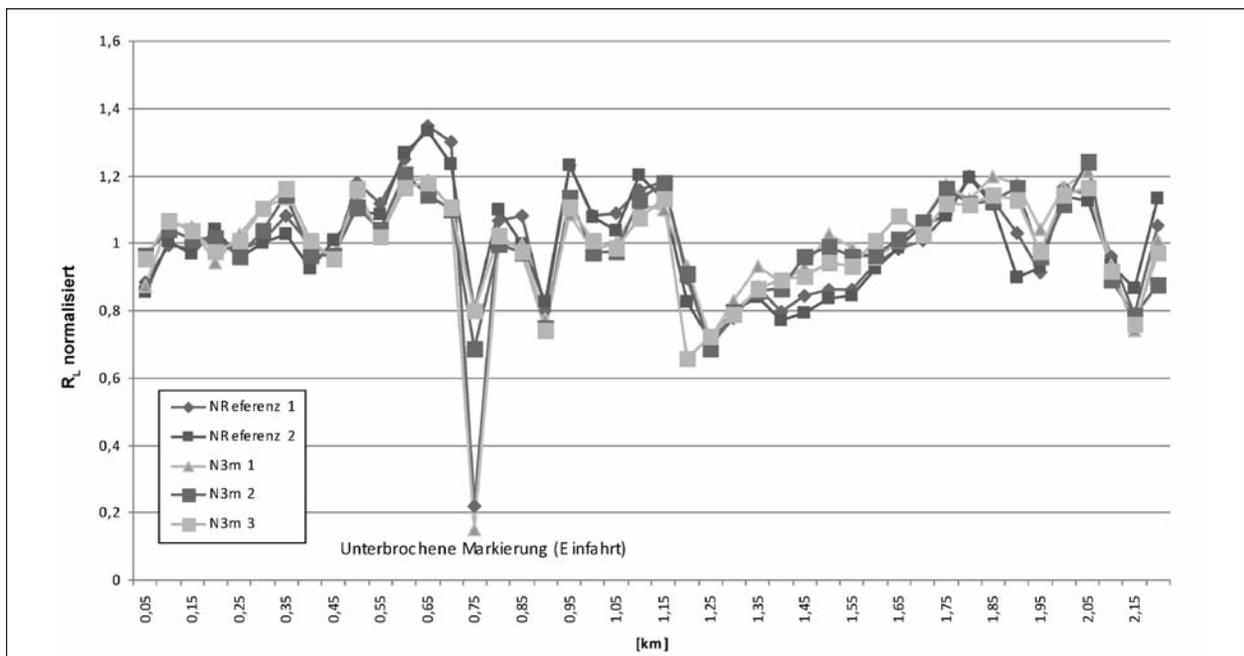


Bild 5: Normalisierte Messfahrten mit der 3-m-Messdistanz im Vergleich zur 6-m-Messdistanz

war im Rahmen dieses Projekts nicht zu leisten. Deshalb wurden die weiteren Versuche auf zwei Fahrzeuge konzipiert, wobei das vorausfahrende Fahrzeug die Straße bewässert und das folgende Messfahrzeug die dynamische Messung durchführt. Langfristig kann die Messung mit einem Fahrzeug ein durchaus lohnendes Ziel sein.

4.2 Zeitraum zwischen Bewässerung und Messung

Der Verlauf der Nachsichtbarkeit einer Markierung nach Bewässern mit der Eimermethode wurde ermittelt, um das Zeitfenster zu bestimmen, innerhalb dessen gemessen werden kann, ohne dass noch große Änderungen der Messwerte auftreten.

Für den Versuch wurden der Messkopf des ZDR 6020 R_L, das Handgerät ZRM 6013, der Standard 1 auf Stahlplatte (Typ-I-Folie) sowie der Standard 2 auf Stahlplatte (Typ-II-Strukturmarkierung aus einzeln versetzten Quadraten (Höhe = 1 mm, Breite = 8 x 8 mm)) verwendet. Gemessen wurde statisch mit der Messoptik des ZDR 6020 R_L, entsprechend der Montage am Fahrzeug, die bei der dynamischen Trockenmessung verwendet wird (s. Bild 6 und 7). Bewässert wurde aus einem mit 10 l Wasser gefüllten Eimer, der über der Markierung ausgeschüttet wurde. Das Messintervall betrug 1 s, die Messwerte wurden in einer Excel-Datei gespeichert.

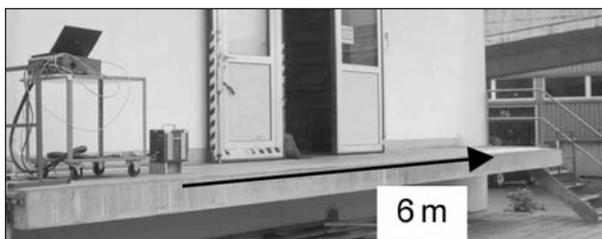


Bild 6: Messfleck in 6 m Abstand vor der Messoptik



Bild 7: Auslenkung der Messoptik zum Standard auf 3°

Der Messkopf wurde auf eine Rampe gestellt und mit einer Auslenkung von 3° auf den Standard ausgerichtet (s. Bild 7).

1. Standard 1 wurde mit ZRM 6013 kalibriert.
2. Standard 2 wurde mit ZRM 6013 kalibriert.
3. Der Messkopf wurde > 5 min aufgewärmt.
4. Der Messkopf wurde auf Standard 1 kalibriert.
5. Testmessung über 2 min.
6. Nassmessung mit Standard 1. Die Markierung wurde ca. 10 s trocken gemessen, dann wurden 10 l Wasser darüber gegossen und nach weiteren 300 s die Messung gestoppt.
7. Die Nassmessungen wurden wie unter Punkt 6 beschrieben zweimal wiederholt.
8. Der Standard 1 wurde 60 s nach Übergießen mit Wasser statisch gemessen.
9. Die Nassmessungen wurden wie unter Punkt 6 beschrieben mit dem Standard 2 dreimal wiederholt.
10. Der Standard 2 wurde 60 s nach Übergießen mit Wasser statisch gemessen.

Normalisiert besitzen beide Markierungen nach einer Wartezeit von 30 s nach Bewässerung eine ähnliche Messwertkurve (s. Bild 8 und 9). Zwecks besserer Übersichtlichkeit wurden im Diagramm jeweils nur zwei der drei Messungen dargestellt. Die statischen Referenzmessungen mit dem Handgerät ZRM 6013 ergaben eine gute Übereinstimmung mit dem dynamischen ZDR 6020 R_L. Der Standard 1 behielt 30 s nach der Bewässerung über längere Zeit (> 5 min) seinen Nasswert bei. Wegen der guten Drainagefähigkeit von Typ-II-Markierungen stiegen die Werte für die Nachsichtbarkeit bei Nässe bei Standard 2 (Typ II) nach der Bewässerung rascher auf über die Hälfte des Trockenwerts an als bei Standard 1 (Typ I).

Man könnte bei beiden Markierungen zwischen 30 s und 2 min nach der Bewässerung messen, da sich die Messwerte in dieser Zeitspanne nicht mehr groß ändern. Aus diesem Ergebnis lässt sich ableiten, dass eine exakte Abstandseinhaltung zwischen Bewässerungseinheit und Messoptik nicht notwendig ist. Bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h würde sich hieraus jedoch eine Distanz der Fahrzeuge von 500 bis 2.000 m ergeben. Das

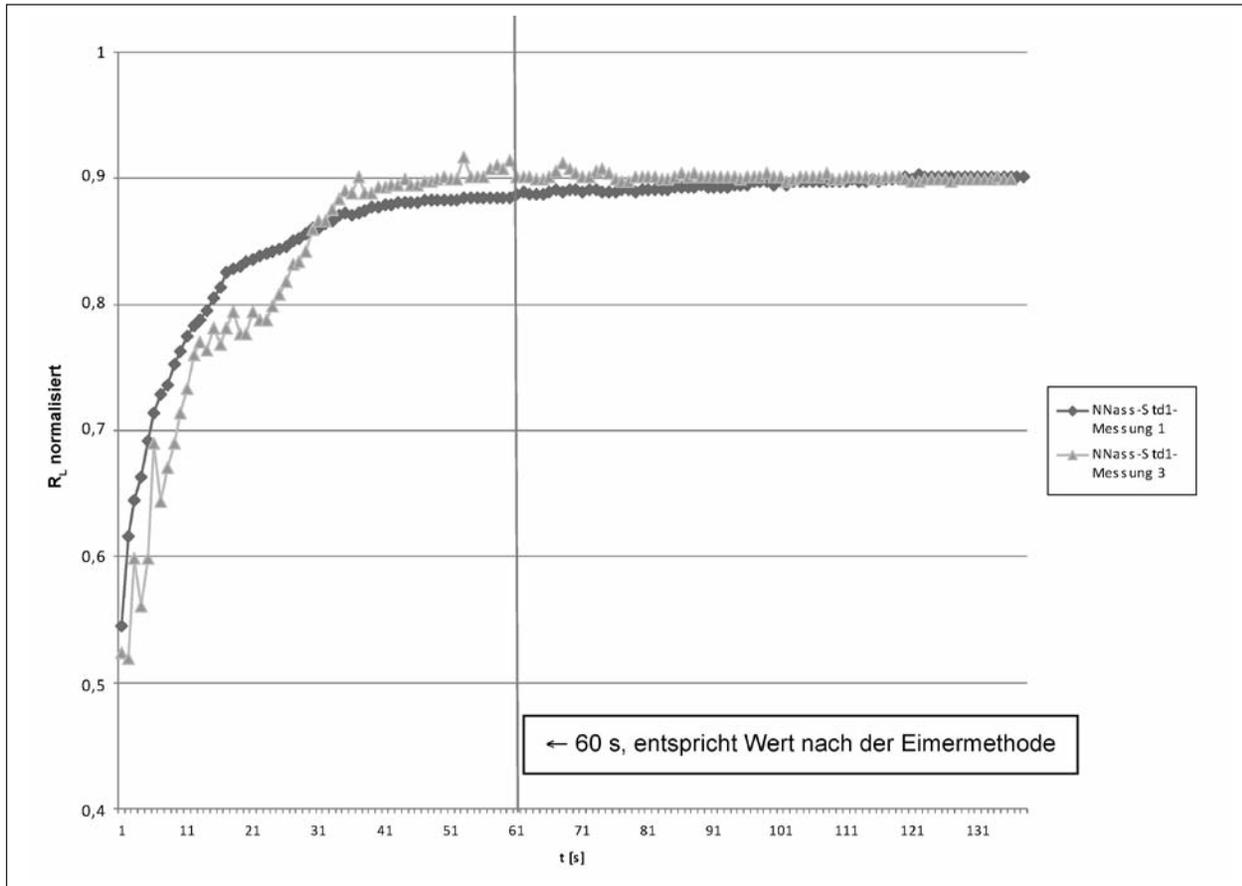


Bild 8: Normalisierte Nassmessung von Standard 1

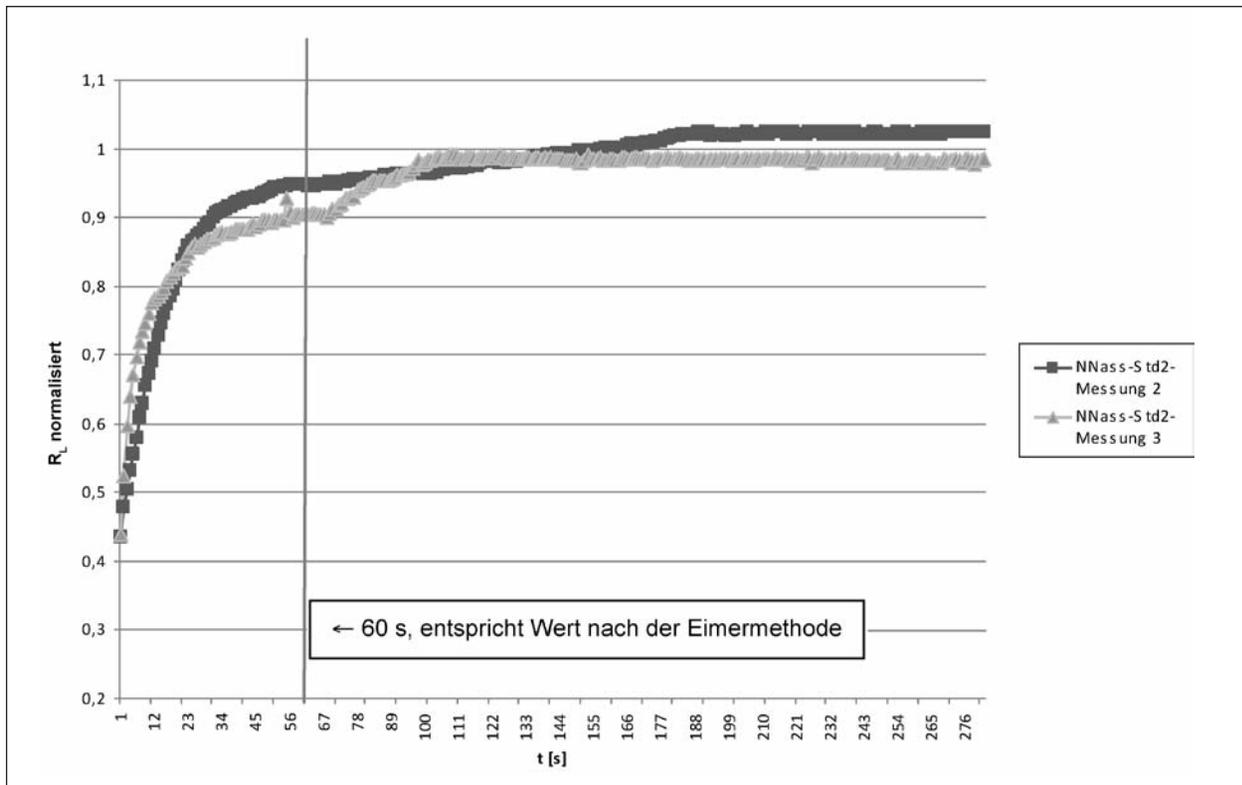


Bild 9: Normalisierte Nassmessung von Standard 2

wurde als unpraktisch angesehen, da die Gefahr von Störeinflüssen mit der Distanz wächst.

Der bei der dynamischen Messung auf der Markierung notwendige Bewässerungszustand muss dem entsprechen, der 60 s nach Bewässerung mit der Eimermethode vorliegt. Führt das Messfahrzeug in einem Abstand zwischen 10 m und 80 m hinter dem Bewässerungsfahrzeug bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h, das exakt so viel Wasser aufbringt wie nach der Eimermethode nach 60 s vorhanden wäre, so erfolgt die Messung 0,6 s bis 4,8 s nach der Bewässerung. Diese Zeitspanne beträgt nur 1/100 bis 1/10 der Eimermethode. Entsprechend ist zu vermuten, dass wesentlich weniger Wasser aufgebracht werden muss. Deshalb wurde zunächst statisch versucht, die Markierung so zu benetzen, dass nach sofortiger Messung bzw. innerhalb der Spanne von ca. 1 bis 5 s vergleichbare Messergebnisse zur Eimermethode erhalten werden.

4.3 Bewässern einer auf der Straße aufgetragenen Markierung

Mit diesem Versuch sollte ein Überblick über das Verhalten von zwei verschiedenen Straßenmarkierungen bei einer Nassmessung gewonnen werden, da bislang nur Standards verwendet worden waren. Hierfür wurden ein Messfahrzeug der Marke Ford, der Messkopf ZDR 6020 R_L sowie das Handgerät ZRM 6013 verwendet. Das Fahrzeug wurde mit montiertem Messkopf auf die Markierungen in 6 m Entfernung ausgerichtet und kalibriert (s. Bild 10). Gemessen wurde kontinuierlich und mit einem Intervall von 1 Sekunde wurden die Messungen in die Messdatei geschrieben. Während einer kurzen Zeit wurde zuerst trocken gemessen und danach die Markierung mit Wasser auf einer Länge von etwa 2 m mit einem Eimer gut bewässert. Dies wurde mehrmals hintereinander wiederholt.

Die ersten Messungen wurden auf einer Typ-I-Markierung gemacht (s. Bild 11), danach wurde dersel-



Bild 10: Messfleck in 6 m Abstand vor der Messoptik

be Versuch auf einer Typ-II-Markierung wiederholt (s. Bild 12). Anschließend wurden die Versuche auf der Typ-II-Markierung nochmals durchgeführt, dabei wurden die Messwerte statt mit dem Messkopf des ZDR 6020 R_L diesmal ca. alle 10 s mit dem Handgerät ZRM 6013 aufgenommen.

Das Verhalten bei beiden Markierungstypen war auch bei bereits feuchter Markierung reproduzierbar (s. Bild 13 und 14). Wie in Bild 14 zu sehen ist, sind die Messwerte, die mit dem Handgerät ZRM 6013 gemessen worden sind, ca. 90 s nach der Bewässerung etwas höher als die mit dem ZDR 6020 R_L gemessenen. Die Typ-II-Markierung hatte nach 60 s ca. 24 % ihrer Leuchtkraft im trockenen Zustand erreicht. In den ersten ca. 45 s stiegen die Messwerte schnell, danach nur noch langsam weiter an, wie es auch bei den Messungen auf dem Typ-II-Standard (s. Kapitel 4.2) zu beobachten war. Demgegenüber stiegen die Messwerte auf dem Typ-I-Standard kontinuierlich weiter an. Eine Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls ist hier daher nicht möglich, aber auch nicht notwendig, da an Typ-I-Markierungen keine Anforderungen an die Nachtsichtbarkeit bei Nässe gestellt werden.



Bild 11: Messung einer Typ-I-Markierung



Bild 12: Messung einer Typ-II-Markierung

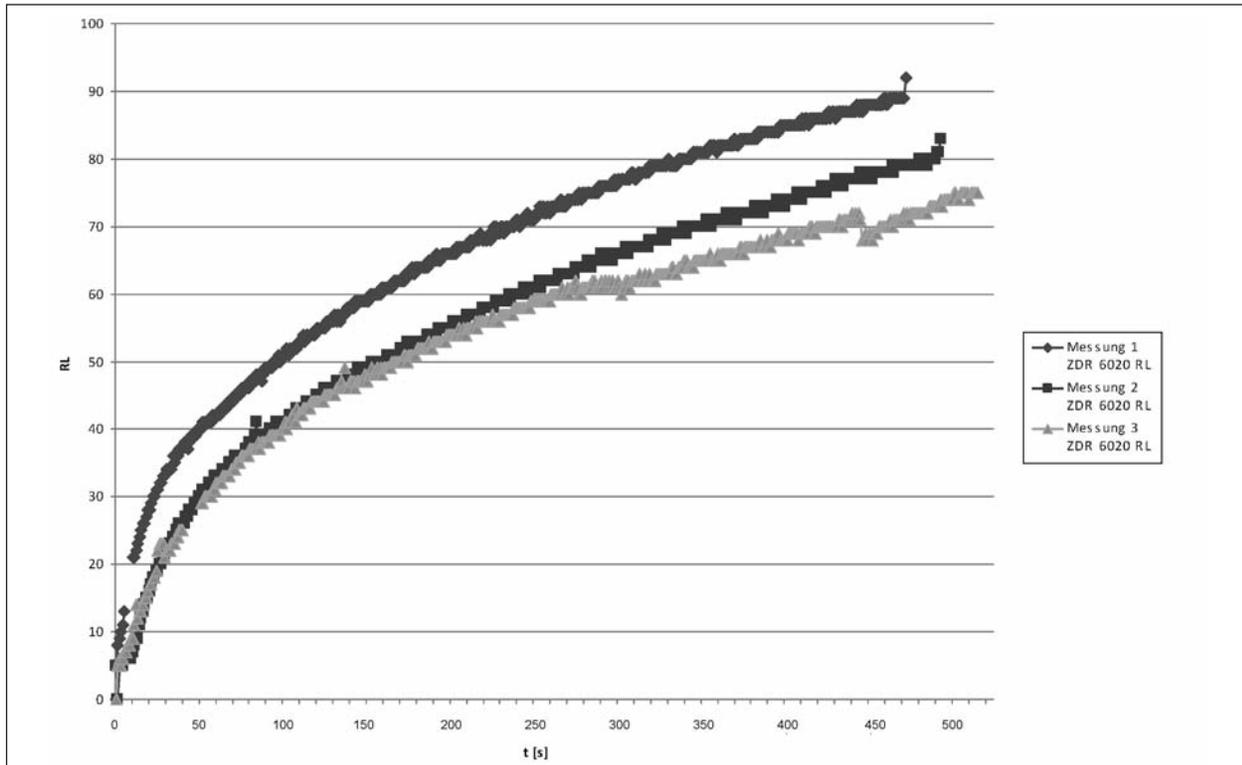


Bild 13: Messung der Nachsichtbarkeit bei Nässe einer Typ-I-Markierung

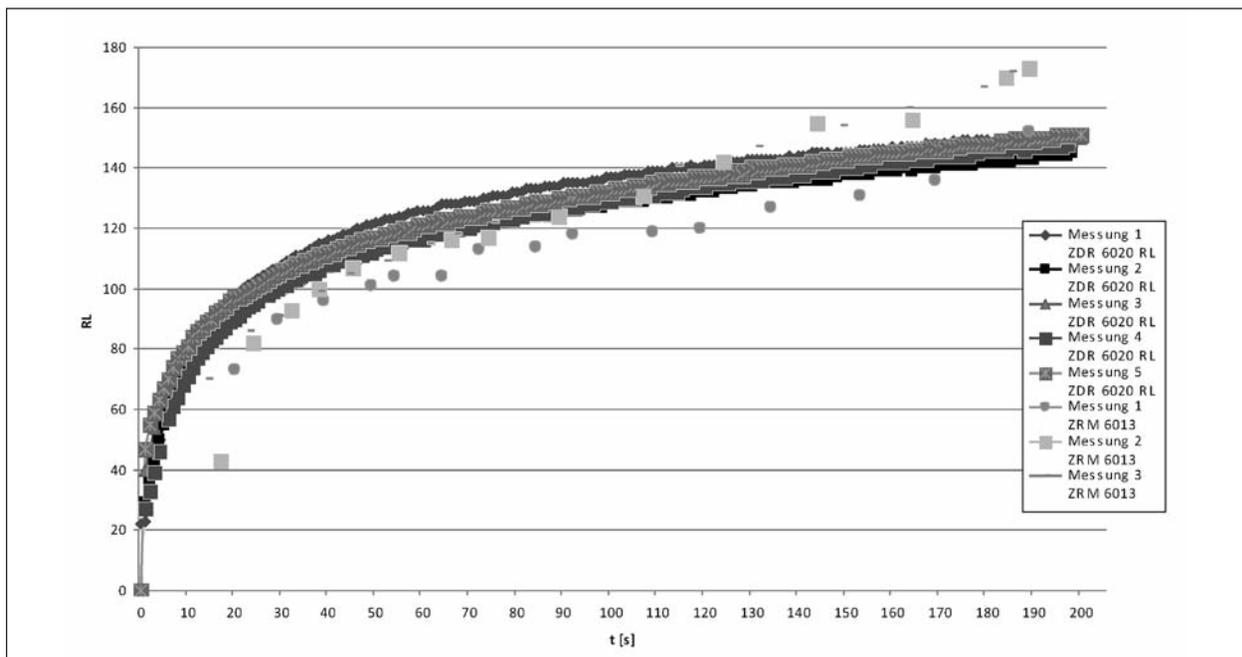


Bild 14: Messung der Nachsichtbarkeit bei Nässe einer Typ-II-Markierung

4.4 Bestimmung der Wassermenge auf der Markierung nach 60 s mit der Eimermethode

Es sollte die Restwassermenge auf der Markierung bestimmt werden, die sich 60 Sekunden nach der Bewässerung mit der Eimermethode noch auf der

Markierung befindet, um die theoretisch optimale Wassermenge für die dynamische Bewässerung zu finden.

Ein strukturiertes Markierungsmuster mit den Abmessungen 25 cm x 50 cm (s. Bild 15) wurde im trockenen Zustand gewogen und danach mit 2°



Bild 15: Strukturiertes Markierungsmuster zur Restwasserbestimmung

Schräglage mit einem Eimer und 2 l Wasser flächendeckend bewässert. Nach 60 s wurde das Muster erneut gewogen und somit die Restwassermenge bestimmt.

Folgende Werte wurden ermittelt:

- Markierungsmuster trocken: 1.183,6 g,
- Markierungsvorlage nach 60 s: 1.260,1 g,
- Markierungsvorlage nach 90 s: 1.258,1 g,
- Markierungsvorlage nach 120 s: 1.257,9 g,
- Markierungsfläche = 0,25 m x 0,5 m = 0,125 m²,
- Markierung nach 60 s – Markierung trocken = 1.260,1 g – 1.183,6 g = 76,5 g entspricht 76,5 ml, 76,5 ml/0,125 m² → 612 ml/m².

60 s nach der Bewässerung waren noch 612 ml/m² Wasser auf der Markierung vorhanden.

4.5 Benötigte Wassermenge bei 60 km/h

Durch Versuche sollte auf einfache Weise die benötigte Menge Wasser bei 60 km/h gefunden werden, um eine Markierung flächendeckend zu bewässern. Aus diesen Daten konnten dann später die benötigte Leistung für die Pumpen und die Art und Größe der Düsen bestimmt werden.

Folgende Materialien wurden für die Versuche eingesetzt: Gartenschlauch Ø 13 mm, Gardena-Regu-

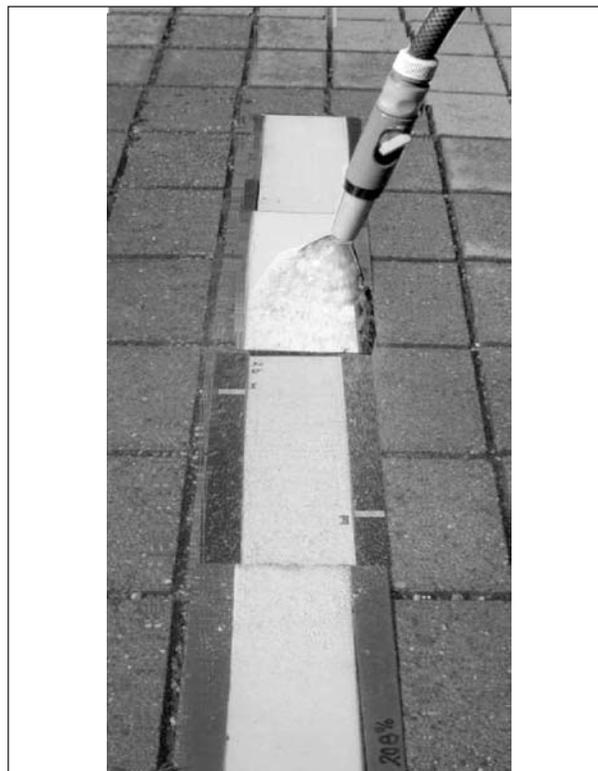


Bild 16: Bewässerung mit Gardena-Regulier-Spritze

lier-Spritze, Gardena-Micro-Drip-System (ohne Druckreduzierung), Gardena-Regulier-Ventil, Gardena-Micro-Drip-Schlauch Ø 4,6 mm, Gardena-Micro-Drip-System-90°-Düse, Gardena-Micro-Drip-System-180°-Düse. An einem Gartenschlauch, der am örtlichen Wassernetz angeschlossen wurde, wurden verschiedene Düsenaufsätze getestet, um festzustellen, wie viel Wasser für eine flächendeckende Bewässerung bei 60 km/h (= 16,7 m/s) nötig ist. Die Düsen wurden jeweils über eine definierte Länge bewegt und dabei die Zeit gemessen, die zur ausreichenden Bewässerung der Markierung benötigt wurde. Daraus ließ sich die benötigte Wassermenge pro Zeit bei 60 km/h hochrechnen. Es wurden vier Messungen durchgeführt.

Messung 1

Mit der Gardena-Regulier-Spritze wurde Standard 1 flächendeckend bewässert.

- Ermittelte Wassermenge pro Zeit für 60 km/h:
0,80 l/m x 16,7 m/s = 13,36 l/s.

Messung 2

Mit der Gardena-Regulier-Spritze wurden auf Blech applizierte Markierungen flächendeckend bewässert (s. Bild 16).

- Ermittelte Wassermenge pro Zeit für 60 km/h:
0,213 l/m x 16,7 m/s = 3,56 l/s.

Messung 3

Mit zwei Gardena-180°-Düsen wurden auf Blech applizierte Markierungen flächendeckend bewässert.

- Ermittelte Wassermenge pro Zeit für 60 km/h:
0,11 l/m x 16,7 m/s = 1,84 l/s.

Messung 4

Mit einer Gardena-90°-Düse, 38 cm Breite, wurden auf Blech applizierte Markierungen flächendeckend bewässert (s. Bild 17).

- Ermittelte Wassermenge pro Zeit für 60 km/h:
0,078 l/m x 16,7 m/s = 1,3 l/s.

Bei einem maximalen Durchfluss von 2,75 l in 100 s bei der 90°-Düse ist theoretisch eine maximale Geschwindigkeit von 127 km/h möglich.

$$16,7 \text{ m/s} / 0,013 \text{ l/s} \times 0,0275 \text{ l/s} = 35,3 \text{ m/s} = 127 \text{ km/h.}$$

Die auf Blech applizierten Markierungen entsprechen bezüglich ihres Verhaltens bei Nässe am ehesten einer Markierung auf Asphalt. Auf dem Standard 1 bildeten sich hingegen einzelne Wassertropfen und kein homogener Wasserfilm, da diese Markierung einer Markierung im Neuzustand entsprach und hydrophob reagierte.

Bei den Gardena-90°- und -180°-Düsen wurde weniger Wasser benötigt als bei der Regulier-Spritze. Die Gardena-90°-Düse hatte einen maximalen Durchfluss von 0,0275 l/s entsprechend 99 l/h.

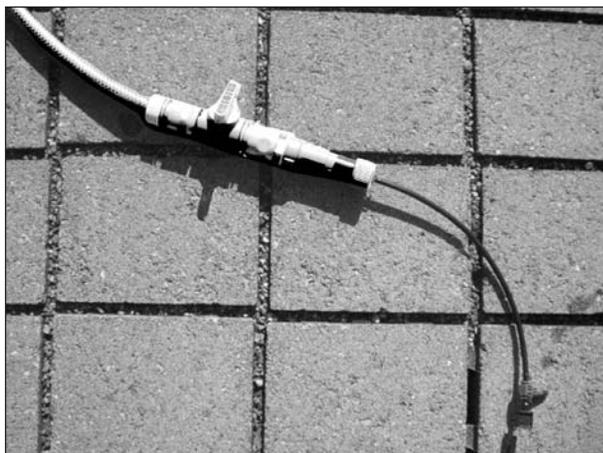


Bild 17: Bewässerung mit Gardena-90°-Düse

Für erste mobile Versuche waren die Gardena-Düsen geeignet. Bei einer industrietauglichen Düse wäre sicher noch Potenzial vorhanden. Bei den Versuchen hat sich gezeigt, dass eine Wassermenge von 1.3-2.5 l/s bei 60 km/h ausreichen müsste, um eine Markierung flächendeckend zu bewässern.

4.6 Vergleich Pinselmethode – Eimermethode

Auf dem Prüffeld wurde nun getestet, wie groß die Abweichung zur Eimermethode ist (Benetzen mit Wasser und Messen nach 60 s ± 5 s), wenn stattdessen eine definierte Wassermenge mit einem breiten, nassen Haarpinsel durch drei- bis viermaliges Überstreichen aufgetragen wird und sofort gemessen wird. Die Messungen erfolgten bei beiden Versuchsanordnungen mit dem Handgerät ZRM 6013.

Muster-Nr.	R _L feucht Eimer = Soll-Wert [mcd/m ² lx]	R _L feucht Pinsel (Abweichung vom Soll-Wert) [mcd/m ² lx]
2	11,1	6,9 (-4,2)
4	3,5	14,5 (+11)
5	16,4	11,8 (-4,6)
6	16,1	8,4 (-7,7)
7	5,6	12,8 (+7,2)
8	38,0	30,0 (+8,0)
9	48,1	56,1 (+8,0)
10	12,5	21,6 (+9,1)
11	33,8	23,5 (-10,3)
29	54,5	56,9 (+2,4)
30	10,9	15,5 (+4,6)
31	41,4	41,4 (±0,0)
32	10,9	15,9 (+5,0)
34	51,9	52,8 (+0,9)
35	58,3	53,8 (-4,5)
36	36,5	32,8 (-3,7)
37	72,1	81,3 (+9,2)
39	29,9	32,4 (+2,5)
40	31,5	31,4 (-0,1)
Gesamt	583	599,8
Durchschnitt	30,68	31,03 (+0,35)

Tab. 1: Ergebnisse der Vergleichsmessungen Pinselmethode – Eimermethode

19 Muster unterschiedlicher Art wurden ausgewählt. Auf die trockenen Markierungen wurden mit einem schon angefeuchteten Haarpinsel 50 ml Wasser auf 1 m des 15 cm breiten Striches aufgetragen, entsprechend ca. 330 ml/m². Anschließend wurde dann sofort mit dem ZRM 6013 die Nachtsichtbarkeit gemessen. Hier wurde ebenfalls der Mittelwert aus 3 Messpunkten gebildet.

Die Übereinstimmung war größtenteils recht gut (s. Tabelle 1). Eine Benetzung von Markierungen mit einer definierten Menge Wasser mit anschließender Verteilung des Wassers auf der Markierung und sofortiger Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe ergab ähnliche Werte wie die Eimermethode. Dieser Ansatz sollte weiterverfolgt werden.

4.7 Vergleich Quastmethode – Eimermethode

Auf dem Winterdienstprüffeld wurde getestet, wie groß die Abweichung bei statischer Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe ist, wenn man das zur Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe notwendige Wasser nach der Eimermethode aufbringt (Benetzen mit Wasser und Messen nach 60 s ± 5 s) oder wenn man eine definierte Wassermenge mit einer Quaste, wie sie beim Tapezieren verwendet wird, aufträgt und sofort misst.

Dazu wurde auf Muster 27 zunächst die Nachtsichtbarkeit bei Nässe mit der Eimermethode statisch gemessen. Es wurden jeweils 3 Messpunkte pro Strich aufgenommen und daraus der Mittelwert gebildet. Später wurde mit einer schon angefeuch-

Strich-Nr.	R _L feucht Eimer = Soll-Wert [mcd/m ² lx]	R _L feucht Quast Messung 1 [mcd/m ² lx]	R _L feucht Quast Messung 2 [mcd/m ² lx]	R _L feucht Quast Messung 3 [mcd/m ² lx]
27a	34	67	62	-
27b	47	62	60	-
27c	45	74	82	-
27d	67	80	83	-
27e	46	67	80	-
27f	50	69	80	-
27g	41	76	71	71
27h	75	142	130	103

Tab. 2: Ergebnisse der Vergleichsmessungen Quastmethode – Eimermethode

teten Quaste Wasser auf dem trockenen Strich aufgetragen und dreimal durch Wischen verteilt. Anschließend wurde sofort mit dem ZRM 6013 die Nachtsichtbarkeit gemessen (Einzelwerte).

Die Werte, die mit dem Quast gemessen wurden, lagen hier deutlich höher als die Werte, die mit der Eimermethode gemessen wurden (Soll-Werte, s. Tabelle 2). Beim vorliegenden Versuch wurde also zu wenig Wasser verwendet.

4.8 Messung R_L und Q_d auf verschiedenen Untergründen

Es galt zu ermitteln, ob trockene Straßenoberflächen Retroreflexionen der Größenordnung von Retroreflexionen nasser Markierungen aufweisen können. Das ist wichtig, um auszuschließen, dass neben der Markierung liegende trockene Straßenoberflächen die Messung eventuell verfälschen. Es wurde also ermittelt, wie breit bewässert werden muss, um diesen Effekt auszuschließen.

Nr.	Untergrund	Q _d trocken	Q _d feucht	R _L trocken	R _L feucht
1	Asphalt hell	91	-	16	4
2	Asphalt hell	110	94	24	3
3	Asphalt hell	104	100	16	8
4	Asphalt dunkel	48	78	6	3
5	Asphalt dunkel	50	70	9	3
6	Waschbeton ohne Besenstrich	88	92	13	5
7	Waschbeton ohne Besenstrich, dunkle Steine	66	95	10	2
8	Beton ganz neu Werte unabhängig von Richtung zu Besenstrich	172	-	60	10
9	Beton ziemlich neu	110	-	35	8
10	Beton ziemlich rau	-	-	-	5 bis 8
11	Betonpflaster, ziemlich neu	-	-	21	5
12	Asphalt mit teilweise hellem Splitt	-	-	21	8
13	Beton normal mit Besenstrich	-	-	16	4
14	Gussasphalt mit buntem Splitt	-	-	23	10

Tab. 3: Messergebnisse der Tages- und Nachtsichtbarkeit [mcd/m²lx] auf verschiedenen Beton- und Asphaltdecken

Verschiedene Arten von Asphalt- und Betondecken wurden auf die Tages- bzw. Nachtsichtbarkeit (trocken und feucht) überprüft (s. Bilder 71 bis 84, Kapitel 11.2.2). Teilweise wurde auch die Tagessichtbarkeit unter feuchten Bedingungen aufgenommen (gleiche Methode wie bei Nachtsichtbarkeit feucht). Es wurden immer 5 Messpunkte aufgenommen und daraus der Mittelwert gebildet.

Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Auf einigen Untergründen war die Nachtsichtbarkeit (trocken) relativ hoch. Insbesondere war dies auf neueren Betondecken und hellem Asphalt der Fall.

Auf Decken mit relativ hoher Nachtsichtbarkeit (trocken) könnte es also zu Schwierigkeiten bei der Erkennung des gewünschten Messfleckes kommen, wenn der umgebende Untergrund nicht auch mit Wasser benetzt würde.

4.9 Ermittlung des Wasserdurchflusses bei verschiedenen Kombinationen von Pumpen und Düsen

Der Durchfluss an Wasser durch verschiedene Pumpensysteme und Düsen wurde aufgenommen, um herauszufinden, welche Wassermenge pro Zeit die verschiedenen Systeme fördern können. Diese Daten bildeten später die Grundlage für die dynamische Bewässerung.

Folgende Pumpen wurden verwendet:

1. Tauchpumpe Gardena TP 300 (s. Bild 18),
Kenndaten:
300 W, maximum: 9,0 m³/h, 0,65 bar,



Bild 18: Tauchpumpe Gardena TP 300

2. Pumpe Jets 110 M (s. Bild 19),
Kenndaten:
1.000 W, maximum: 4,2 m³/h, 4,8 bar,
3. Pumpe CMJ C-BA 800,
Kenndaten:
800 W, maximum: 3,3 m³/h, 4,0 bar.

Außerdem kamen ein 120-l-Tank (s. Bild 19), Schläuche in verschiedenen Längen mit Durchmesser 1 Zoll (grün) und Durchmesser ¾ Zoll (gelb), eine kleine Düse (s. Bild 20), eine mittlere



Bild 19: Pumpe Jets 110 M und 120-l-Tank

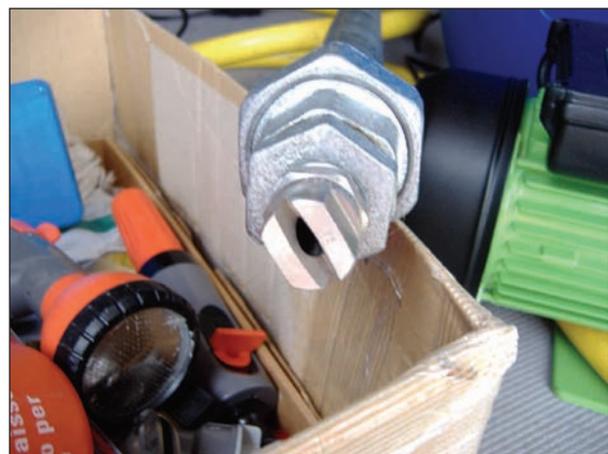


Bild 20: Kleine Düse

Düse (s. Bild 21), eine breite Düse (s. Bild 22) und eine Quaste (s. Bild 23) zum Einsatz.

Verschiedene Kombinationen von Pumpen, Düsen und Schläuchen wurden zusammengestellt und der Wasserdurchfluss pro Zeiteinheit mit einer Stoppuhr gemessen. Die ermittelten Werte sind in Tabelle 4 zusammengestellt.



Bild 21: Mittlere Düse



Bild 22: Breite Düse



Bild 23: Quaste

Versuch	Wasserdurchfluss [l/h]
Tauchpumpe Gardena TP 300	
a) ohne Düse (nur Schlauch) ca. 2 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll	7.200
b) ohne Düse ca. 3 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll	5.500
c) mittlere Düse ca. 3 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll	3.000
d) Doppeldüse (mittlere Düse + breite Düse) ca. 3 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll	5.930
e) Doppeldüse (mittlere Düse + breite Düse) ca. 2 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll	6.120
Pumpe Jets 110 M	
f) ohne Düse ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 3/4 Zoll	3.270
g) ohne Düse ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll Schlauch durch Quaste durch (0,8 bar)	2.950
h) mittlere Düse ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 3/4 Zoll	3.130
i) kleine Düse ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll	2.400
j) kleine Düse ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 3/4 Zoll	2.460
Pumpe CMJ C-BA 800	
k) ohne Düse ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll	2.570
l) breite Düse ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll	2.400
m) mittlere Düse ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll	2.360
n) kleine Düse ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll	1.580
Hauswasseranschluss der Straßenmeisterei Braunlage	
o) kleine Düse ca. 2 m Schlauch, Durchmesser 1 Zoll, direkt zum Hauswasseranschluss	2.850

Tab. 4: Ermittelte Wasserdurchfluss

Bei Versuch a schien es genügend Wasser zu sein bei einer Geschwindigkeit von 20-40 km/h, einer Benetzungsbreite von ca. 30 cm und Quaste im Nachgang.

Anschließend an Versuch c wurde der Filter gereinigt und der Versuch erneut durchgeführt. Der verstopfte Filter hatte keinen Einfluss auf die geförderte Wassermenge.

Die Durchflussmenge bei Versuch j unterschied sich kaum von der Messung i mit einem Auslaufschlauch mit dem Durchmesser 1 Zoll. Es wurde bei j sogar ein etwas größerer Wert ermittelt, jedoch waren die Schlauchlängen eventuell nicht exakt gleich lang.

Die Pumpe CMJ C-BA 800 wurde von der Straßenmeisterei Braunlage zur Verfügung gestellt. Da die Durchflussmengen jedoch geringer waren als bei den beiden vorhergehenden Pumpen, wurde mit dieser Pumpe nicht weiter gearbeitet.

Die Durchflussmengen an Wasser durch die verschiedenen Pumpen- und Düsensysteme waren recht unterschiedlich. Die verwendete Tauchpumpe produzierte aufgrund der kürzeren Schlauchwege eine größere Durchflussmenge als die verwendete Jets-Pumpe.

Die Durchflussmengen lagen zwischen 0,44 l/s und 2 l/s (= 1.580 l/h und 7.200 l/h).

4.10 Versuche mit dynamischer Bewässerung und statischer Messung

Es sollte herausgefunden werden, bei welcher Art der dynamischen Bewässerung die Messwerte für die Nachsichtbarkeit bei Nässe am besten mit der statischen Eimermethode übereinstimmen. Es sollte also der benötigte Wasserdurchfluss bei einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit ermittelt werden sowie die geeignete Art und Weise der Benetzung.

Eine Woche vor den Versuchen mit der dynamischen Bewässerung waren die entsprechenden Messstellen mit der Eimermethode statisch bewässert und statisch gemessen worden. In den nachfolgend aufgeführten Messergebnissen sind diese Messwerte als Soll-Werte aufgeführt.

Für die dynamischen Bewässerungsversuche wurden die in Kapitel 4.9 genannten Bewässerungs-



Bild 24: Handgeführte dynamische Bewässerung



Bild 25: Statische Messung direkt nach dynamischer Bewässerung

systeme jeweils am Bewässerungsfahrzeug montiert. Die Versuchsstrecke wurde dann jeweils mit konstanter Geschwindigkeit dynamisch bewässert. Das Ende der Bewässerungseinheit wurde dabei per Hand geführt und während der Fahrt möglichst nah an den Markierungsstrich gehalten (s. Bild 24). Die Nachsichtbarkeit bei Nässe wurde jeweils direkt nach der dynamischen Bewässerung mit denselben Handgeräten wie bei der Eimermethode gemessen (s. Bild 25). Es wurden 2 bis 3 Einzelmesspunkte pro Strich aufgenommen.

Zunächst wurden einige Versuche bei geringen Geschwindigkeiten (20 km/h und 40 km/h) durchgeführt, um einen Überblick über die benötigte Wassermenge zu erhalten, später auch bei der Zielgeschwindigkeit von 60 km/h. Die Bewässerungsbreite lag durchschnittlich bei 30 cm. Zwischen den einzelnen Messungen wurde vor erneuter Messung derselben Striche so lange gewartet, bis die Striche wieder vollständig getrocknet waren. Benachbarte Striche konnten gleich im Anschluss gemessen

Nr.	Bew. entsprechend Kapitel 4.9, Versuch	Wasser- durchfluss [l/h]	Benetzungs- breite [cm]	Fahrge- schwindigkeit [km/h]	Fördermenge [ml/m ²]	Quaste im Nachgang	Spülmittel im Wasser
1	j	2.460	30	40	205	-	-
2	h	3.130	30	40	261	-	-
3	h	3.130	30	20	522	-	-
4	h	3.130	30	20	522	ja	-
5	h	3.130	30	40	261	ja	-
6	f	3.270	<30	40	ca. 273	ja	-
7	f	3.270	<30	40	ca. 273	ja	-
8	j	2.460	30	40	205	ja	-
9	j	2.460	30	40	205	ja	ja
10	h	3.130	30	40	261	ja	ja
11	a	7.200	30	40	600	ja	-
12	a	7.200	30	60	400	ja	-
13	a	7.200	30	60	400	-	-
14	e	6.120	30	60	340	-	-
15	e	6.120	30	50	408	-	-
16	g	2.950	30	40	246	-	-
17	g	2.950	30	20	492	-	-
18	a und j	9.660	35	60	460	ja	-
19	e und j	8.580	35	60	ca. 409	ja	-
20	d und j	8.360	35	60	400	ja	-
21	d und j	8.360	35	60	400	-	-

Tab. 5: Überblick über die dynamischen Bewässerungsversuche in Kapitel 4.10



Bild 26: Stromversorgung durch Fahrzeugbatterie



Bild 27: Generator

werden, wenn sie nicht aus Versehen mit bewässert worden waren. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die durchgeführten Versuche.

Bei Versuch 1 bis 6 wurde die Stromversorgung mit einem Wechselrichter durch die Fahrzeugbatterie geleistet (s. Bild 26). Ab Versuch 7 wurde der Ge-

nerator zu Hilfe genommen (s. Bild 27), da die Sicherung des Wechselrichters mehrmals ausgelöst hat.

Folgende Messwerte wurden erhalten (R_L in [mcd/m²lx], in Klammern steht die Abweichung absolut vom Wert mit der Eimermethode):

1. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch j, Kapitel 4.9 (s. Bild 28 und Tabelle 6):

Jets-Pumpe, kleine Düse

ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser $\frac{3}{4}$ Zoll

Fahrgeschwindigkeit: 40 km/h

Durchfluss: 2.460 l/h

Benetzungsbreite: 30 cm

Fördermenge: 62 ml/m

205 ml/m²

Bemerkung

Die gemessenen R_L -Werte bei der dynamischen Bewässerung waren zu hoch. Die aufgebrachte Wassermenge war zu gering.

Muster-nummer Prüffeld	R_L Eimer = Soll-Wert	R_L dynamische Bew. 1	R_L dynamische Bew. 2	R_L dynamische Bew. 3
52b	33	59 (+26)	67 (+34)	-
53b	44	132 (+88)	118 (+74)	-
54b	37	58 (+21)	54 (+17)	64 (+27)

Tab. 6: Messwerte – Versuch 1, Kapitel 4.10



Bild 28: Spritzeinheit entsprechend Versuch 1

2. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch h, Kapitel 4.9 (s. Bild 29 und Tabelle 7):

Jets-Pumpe, mittlere Düse

ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser $\frac{3}{4}$ Zoll

Fahrgeschwindigkeit: 40 km/h

Durchfluss: 3.130 l/h

Benetzungsbreite: 30 cm

Fördermenge: 78 ml/m

261 ml/m²

Bemerkung

Die gemessenen R_L -Werte bei der dynamischen Bewässerung waren zu hoch. Die aufgebrachte Wassermenge war zu gering.

Muster-nummer Prüffeld	R_L Eimer = Soll-Wert	R_L dynamische Bew. 1	R_L dynamische Bew. 2
51c	51	88 (+37)	70 (+19)
52c	30	63 (+33)	58 (+28)
53c	37	100 (+63)	100 (+63)

Tab. 7: Messwerte – Versuch 2, Kapitel 4.10



Bild 29: Spritzeinheit entsprechend Versuch 2

3. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch h, Kapitel 4.9 (s. Tabelle 8):

Jets-Pumpe, mittlere Düse

ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser $\frac{3}{4}$ Zoll

Fahrgeschwindigkeit: 20 km/h

Durchfluss: 3.130 l/h

Benetzungsbreite: 30 cm

Fördermenge: 157 ml/m

522 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew. 1	R _L dynamische Bew. 2
52e	36	50 (+14)	68 (+32)
53e	38	69 (+31)	87 (+49)
54e	43	61 (+18)	70 (+27)

Tab. 8: Messwerte – Versuch 3, Kapitel 4.10

Bemerkung

Die R_L-Werte der dynamischen Bewässerung waren trotz doppelter Wassermenge wie bei 2. (gleiche Einstellungen mit halber Fahrgeschwindigkeit) noch zu hoch.

4. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch h, Kapitel 4.9 (s. Bild 30 und Tabelle 9):

Jets-Pumpe, mittlere Düse

ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser $\frac{3}{4}$ Zoll

Fahrgeschwindigkeit: 20 km/h

Quaste im Nachgang

Durchfluss: 3.130 l/h

Benetzungsbreite: 30 cm

Fördermenge: 157 ml/m

522 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew. 1	R _L dynamische Bew. 2
52g	26	31 (+4)	36 (+10)
53g	46	31 (-15)	58 (+12)
54g	34	53 (+19)	46 (+12)
59d	40	38 (-2)	47 (+7)
60d	44	44 (±0)	45 (+1)
61d	19	18 (-1)	20 (+1)

Tab. 9: Messwerte – Versuch 4, Kapitel 4.10



Bild 30: Spritzeinheit mit Quaste entsprechend Versuch 4

Bemerkung

Bei diesem Versuch waren die Abweichungen zu den Eimer-Werten bisher am geringsten. Es wurden dieselben Einstellungen wie bei 3. verwendet. Zusätzlich wurde direkt nach der Bewässerung das Wasser mit einer Quaste verteilt. Dies führt zu einer deutlich besseren Übereinstimmung der Messwerte mit den Eimer-Werten. Nicht nur die Menge an Wasser, sondern auch die richtige Verteilung des Wassers spielt also eine große Rolle für die Messwerte.

5. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch h, Kapitel 4.9 (s. Tabelle 10):

Jets-Pumpe, mittlere Düse

ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser $\frac{3}{4}$ Zoll

Fahrgeschwindigkeit: 40 km/h

Quaste im Nachgang

Durchfluss: 3.130 l/h
 Benetzungsbreite: 30 cm
 Fördermenge: 78 ml/m
 261 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew. 1	R _L dynamische Bew. 2
59g	30	42 (+12)	42 (+12)
60g	35	37 (+2)	37 (+2)
61g	18	26 (+8)	24 (+6)

Tab. 10: Messwerte – Versuch 5, Kapitel 4.10

Bemerkung

Auch hier waren die Abweichungen deutlich geringer mit Verwendung der Quaste als bei denselben Einstellungen ohne Quaste (Versuch 2).

6. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch f, Kapitel 4.9 (s. Bild 31 und Tabelle 11):

Jets-Pumpe, ohne Düse
 ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe
 ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser ¾ Zoll
 Fahrgeschwindigkeit: 40 km/h
 Quaste im Nachgang
 Durchfluss: 3.270 l/h
 Benetzungsbreite: < 30 cm
 Fördermenge: 82 ml/m
 ca. 273 ml/m²



Bild 31: Spritzeinheit mit Quaste entsprechend Versuch 6

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dyna- mische Bew. 1	R _L dyna- mische Bew. 2	R _L dyna- mische Bew. 3
59h	41	148 (+107)	62 (+21)	-
60h	47	55 (+8)	59 (+12)	-
61h	20	21 (+1)	21 (+1)	24 (+3)

Tab. 11: Messwerte – Versuch 6, Kapitel 4.10

Bemerkung

Strich 59h und 60h waren nur halb bewässert worden (der Strich wurde nicht richtig getroffen), deshalb sind die Werte nicht aussagekräftig.

7. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch f, Kapitel 4.9 (s. Tabelle 12):

Jets-Pumpe, ohne Düse
 ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser ¾ Zoll zur Pumpe
 ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll
 Fahrgeschwindigkeit: 40 km/h
 Quaste im Nachgang
 Durchfluss: 3.270 l/h
 Benetzungsbreite: < 30 cm
 Fördermenge: 82 ml/m
 ca. 273 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew. 1	R _L dynamische Bew. 2
28e	24	35 (+11)	44 (+20)
29e	42	49 (+7)	56 (+14)
30e	53	111 (+58)	76 (+23)

Tab. 12: Messwerte – Versuch 7, Kapitel 4.10

Bemerkung

Ab diesem Versuch wurde der Generator verwendet. Ansonsten sind dieselben Versuchseinstellungen verwendet worden wie bei 6. Der von der breiten Düse erzeugte Spritzstrahl war kleiner als 30 cm. Deshalb wurde teilweise der Markierungsstrich nicht ganz getroffen.

8. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch j, Kapitel 4.9 (s. Tabelle 13):

Jets-Pumpe, kleine Düse

ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser $\frac{3}{4}$ Zoll

Fahrgeschwindigkeit: 40 km/h

Quaste im Nachgang

Durchfluss: 2.460 l/h

Benetzungsbreite: 30 cm

Fördermenge: 62 ml/m

205 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dyna- mische Bew. 1	R _L dyna- mische Bew. 2	R _L dyna- mische Bew. 3
74b	29	27 (-2)	30 (+1)	30 (+1)
75b	6	7 (+1)	12 (+6)	13 (+7)
76b	16	37 (+21)	40 (+24)	35 (+19)

Tab. 13: Messwerte – Versuch 8, Kapitel 4.10

Bemerkung

Es wurden dieselben Einstellungen wie bei 1. verwendet. Zusätzlich wurde direkt nach der Bewässerung das Wasser mit einer Quaste verteilt. Die gemessenen R_L-Werte bei der dynamischen Bewässerung waren deutlich niedriger als bei Versuch 1) ohne Quast und stimmten deutlich besser mit den Soll-Werten überein.

Die Markierung war den ganzen Messtag leicht feucht.

9. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch j, Kapitel 4.9 (s. Tabelle 14):

Jets-Pumpe, kleine Düse

ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch. Durchmesser $\frac{3}{4}$ Zoll

Fahrgeschwindigkeit: 40 km/h

Quaste im Nachgang

Durchfluss: 2.460 l/h

Benetzungsbreite: 30 cm

Fördermenge: 62 ml/m

205 ml/m²

Dem Wasser wurde Spülmittel zugesetzt.

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dyna- mische Bew. 1	R _L dyna- mische Bew. 2	R _L dyna- mische Bew. 3
74c	44	61 (+17)	-	-
74d	53	65 (+12)	-	-
75c	16	17 (+1)	-	-
75d	20	32 (+12)	-	-
76c	23	38 (+15)	43 (+20)	47 (+24)
76d	25	39 (+14)	-	-

Tab. 14: Messwerte – Versuch 9, Kapitel 4.10

Bemerkung

Es wurden dieselben Einstellungen wie bei 8. verwendet. Zuvor war das aufzubringende Wasser mit einigen Tropfen Spülmittel versetzt worden, um die Oberflächenspannung herabzusetzen und eine bessere Benetzung zu erreichen. Es ergab sich jedoch keine erkennbare Verbesserung bei den Abweichungen zu den Eimer-Werten, sodass dieser Ansatz nicht weiterverfolgt wurde.

Die Markierung war den ganzen Messtag leicht feucht.

10. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch h, Kapitel 4.9 (s. Tabelle 15):

Jets-Pumpe, mittlere Düse

ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser $\frac{3}{4}$ Zoll

Fahrgeschwindigkeit: 40 km/h

Quaste im Nachgang

Durchfluss: 3.130 l/h

Benetzungsbreite: 30 cm

Fördermenge: 78 ml/m

261 ml/m²

Dem Wasser wurde Spülmittel zugesetzt.

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
74e	40	48 (+8)
75e	9	18 (+8)
76e	20	36 (+16)

Tab. 15: Messwerte – Versuch 10, Kapitel 4.10

Bemerkung

Es wurden dieselben Einstellungen wie bei 5. verwendet. Zuvor war das aufzubringende Wasser mit einigen Tropfen Spülmittel versetzt worden, um die Oberflächenspannung herabzusetzen und einen eventuellen Einfluss auf die Messungen zu beobachten. Es ergab sich jedoch keine erkennbare Verbesserung bei den Abweichungen zu den Eimer-Werten, sodass dieser Ansatz nicht weiterverfolgt wurde. Die Markierung war den ganzen Messtag leicht feucht.

11. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch a, Kapitel 4.9 (s. Bild 32 und Tabelle 16):

Tauchpumpe, ohne Düse

ca. 2 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll

Fahrgeschwindigkeit: 40 km/h

Quaste im Nachgang

Durchfluss: 7.200 l/h

Benetzungsbreite: 30 cm

Fördermenge: 180 ml/m

600 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
74f	26	15 (-11)
75f	8	7 (-1)
76f	16	25 (+9)

Tab. 16: Messwerte – Versuch 11, Kapitel 4.10



Bild 32: Spritzeinheit mit Quaste entsprechend Versuch 11

Bemerkung

Die Markierung war den ganzen Messtag leicht feucht.

12. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch a, Kapitel 4.9 (s. Tabelle 17):

Tauchpumpe, ohne Düse
 ca. 2 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll
 Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
 Quaste im Nachgang
 Durchfluss: 7.200 l/h
 Benetzungsbreite: 30 cm
 Fördermenge: 120 ml/m
 400 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
74h	60	45 (-15)
75h	10	4 (-6)
76h	22	40 (+18)
93c	40	39 (-1)
98c	32	47 (+15)
99c	35	42 (+7)
27h	75	172 (+97)
28h	37	61 (+24)
29h	46	68 (+22)
30h	93	127 (+34)

Tab. 17: Messwerte – Versuch 12, Kapitel 4.10

Bemerkung

Die Abweichungen zu den Eimer-Werten war größer als bei 11. Bei den Mustern 27h, 28h, 29h und 30h handelt es sich um Kaltplastik-Agglomerate, aufgebracht durch Stachelwalze. Die Striche 27h und 30h haben eine feinere Struktur als die Striche 28h und 29h und damit eine größere Oberfläche. Eventuell sind dadurch die größeren Abweichungen bei 27h und 30h zu erklären. Die Markierung war den ganzen Messtag leicht feucht.

13. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch a, Kapitel 4.9 (s. Tabelle 18):

Tauchpumpe, ohne Düse
 ca. 2 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll
 Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
 Durchfluss: 7.200 l/h
 Benetzungsbreite: 30 cm
 Fördermenge: 120 ml/m
 400 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
94d	10	3 (-7)
99d	38	25 (-13)

Tab. 18: Messwerte – Versuch 13, Kapitel 4.10

Bemerkung

Die gemessenen Werte waren niedriger als die Eimer-Werte. Eventuell wurde hier zu viel Wasser eingesetzt, das ohne Verteilung durch den Quast auf der Oberfläche der Markierung verblieb. Die Markierung war den ganzen Messtag leicht feucht.

14. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch e, Kapitel 4.9 (s. Bild 33 und Tabelle 19):

Tauchpumpe, Doppeldüse (mittlere + breite Düse)
 ca. 2 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll
 Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
 Durchfluss: 6.120 l/h
 Benetzungsbreite: 30 cm
 Fördermenge: 102 ml/m
 340 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
93e	47	36 (-11)
98e	33	54 (+21)
99e	39	51 (+12)

Tab. 19: Messwerte – Versuch 14, Kapitel 4.10

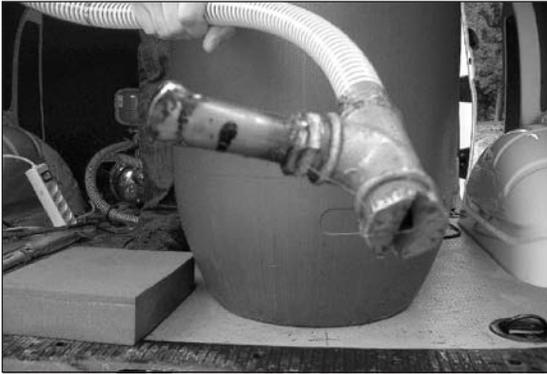


Bild 33: Spritzeinheit entsprechend Versuch 14

Bemerkung

Der Strich wurde bei 98e und 99e nicht richtig getroffen, deshalb sind die Werte nicht aussagekräftig. Die Markierung war den ganzen Messtag leicht feucht.

15. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch e, Kapitel 4.9 (s. Tabelle 20):

Tauchpumpe, Doppeldüse (mittlere + breite Düse)

ca. 2 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll

Fahrgeschwindigkeit: 50 km/h

Durchfluss: 6.120 l/h

Benetzungsbreite: 30 cm

Fördermenge: 122 ml/m
408 ml/m²

Muster-nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
27c	45	90 (+45)
28c	29	43 (+14)
29c	41	50 (+9)
30c	63	110 (+47)

Tab. 20: Messwerte – Versuch 15, Kapitel 4.10

Bemerkung

Bei allen Mustern handelt es sich um Kaltplastik-Agglomerate, aufgebracht durch Stachelwalze. Die Striche 27c und 30c haben eine feinere Struktur als die Striche 28c und 29c und damit eine größere Oberfläche. Eventuell sind dadurch die größeren Abweichungen bei 27c und 30c zu erklären. Die Markierung war den ganzen Messtag leicht feucht.

16. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch g, Kapitel 4.9 (s. Bild 34 bis 37 und Tabelle 21):

Jets-Pumpe, ohne Düse

ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll
Schlauch durch Quaste durch

Fahrgeschwindigkeit: 40 km/h

Durchfluss: 2.950 l/h

Benetzungsbreite: 30 cm

Fördermenge: 73 ml/m
246 ml/m²

Muster-nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
27d	67	82 (+15)
27e	46	63 (+17)
28d	30	41 (+11)
28e	24	38 (+14)
29d	53	65 (+12)
29e	42	46 (+7)
30d	81	105 (+24)
30e	53	71 (+18)
8f	26	15 (-11)
9f	28	35 (+7)
10f	11	19 (+8)
11f	23	10 (-13)

Tab. 21: Messwerte – Versuch 16, Kapitel 4.10



Bild 34: Spritzeinheit entsprechend Versuch 16



Bild 35: Spritzeinheit und Schlauchsystem entsprechend Versuch 16



Bild 36: Spritzeinheit entsprechend Versuch 16 im Einsatz



Bild 37: Durchführung von Versuch 16

Bemerkung

Bei den Mustern 27d, e, 28d, e, 29d, e und 30d, e handelt es sich um Kaltplastik-Agglomerate, aufgebracht durch Stachelwalze. Die Striche 27d, e und 30d, e haben eine feinere Struktur als die Striche 28d, e und 29d, e und damit eine größere Oberfläche. Eventuell sind dadurch die größeren Abweichungen bei 27d, e und 30d, e zu erklären. Die Markierung war den ganzen Messtag leicht feucht.

17. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch g, Kapitel 4.9 (s. Tabelle 22):

Jets-Pumpe, ohne Düse

ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll Schlauch durch Quaste durch

Fahrgeschwindigkeit: 20 km/h

Durchfluss: 2.950 l/h

Benetzungsbreite: 30 cm

Fördermenge: 147 ml/m
492 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
8e	29	15 (-14)
9e	45	49 (+4)
10e	15	11 (-4)

Tab. 22: Messwerte – Versuch 17, Kapitel 4.10

18. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch a und j, Kapitel 4.9 (s. Bild 38 und 39 und Tabelle 23):

Tauchpumpe, ohne Düse

ca. 2 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll zusätzlich

Jets-Pumpe, kleine Düse

ca. 3 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser ¾ Zoll Quaste im Nachgang

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h

Durchfluss:
7.200 l/h + 2.460 l/h = 9.660 l/h

Benetzungsbreite: 35 cm

Fördermenge: 161 ml/m
460 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
27b	47	71 (+24)
28b	20	27 (+7)
29b	37	44 (+7)
30b	57	71 (+14)

Tab. 23: Messwerte – Versuch 18, Kapitel 4.10



Bild 38: Schlauchsystem von Versuch 18



Bild 39: Spritzeinheit entsprechend Versuch 18

Bemerkung

Der Versuch j wurde leicht abgewandelt, da statt einem 2 m langen Ansaugschlauch ein 3 m langer Ansaugschlauch desselben Durchmessers eingesetzt wurde. Es wurden aber trotzdem die Daten aus Versuch j verwendet, da keine größere Abweichung bei der Durchflussmenge zu erwarten ist.

Bei allen Mustern handelt es sich um Kaltplastik-Agglomerate, aufgebracht durch Stachelwalze. Die Striche 27b und 30b haben eine feinere Struktur als die Striche 28b und 29b

und damit eine größere Oberfläche. Eventuell sind dadurch die größeren Abweichungen bei 27b und 30b zu erklären.

Die Markierung war den ganzen Messtag leicht feucht.

19. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch e und j, Kapitel 4.9 (s. Bild 40 und 41 und Tabelle 24):

Tauchpumpe, Doppeldüse (mittlere Düse + breite Düse)

ca. 2 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll zusätzlich

Jets-Pumpe, kleine Düse

ca. 3 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser ¾ Zoll Quaste im Nachgang

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h

Durchfluss:

6.120 l/h + ca. 2.460 l/h = 8.580 l/h

Benetzungsbreite: 35 cm

Fördermenge: ca. 143 ml/m

ca. 409 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
27b	47	48 (+1)
28b	20	27 (+7)
29b	37	40 (+3)
30b	57	35 (-22)
27c	45	90 (+45)
28c	29	32 (+3)
29c	41	56 (+15)
30c	63	117 (+54)

Tab. 24: Messwerte – Versuch 19, Kapitel 4.10



Bild 40: Spritzeinheit entsprechend Versuch 19



Bild 41: Spritzeinheit mit Quaste entsprechend Versuch 19

Bemerkung

Bei Strich 27c, 28c, 29c und 30c wurde der Strich nicht richtig getroffen, deshalb sind diese Werte nicht aussagekräftig. Bei Strich 27b, 28b und 29b gibt es nur geringe Abweichungen zu den Eimer-Werten.

20. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch d und j, Kapitel 4.9 (s. Bild 24 und Tabelle 25):

Tauchpumpe, Doppeldüse (mittlere Düse + breite Düse)

ca. 3 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll zusätzlich

Jets-Pumpe, kleine Düse

ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser $\frac{3}{4}$ Zoll Quaste im Nachgang

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h

Durchfluss:

5.930 l/h + ca. 2.430 l/h = 8.360 l/h

Benetzungsbreite: 35 cm

Fördermenge: 140 ml/m
400 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
27d	67	72 (+5)
28d	30	37 (+7)
29d	53	59 (+6)
30d	82	82 (+1)
27e	46	61 (+15)
28e	24	32 (+8)
29e	42	51 (+9)
30e	53	75 (+22)
26d	13	11 (-2)
26e	5	8 (+3)
34f	47	33 (-14)
35f	32	22 (-10)
36f	11	16 (+5)
37f	55	42 (-13)
38f	19	24 (+5)

Tab. 25: Messwerte – Versuch 20, Kapitel 4.10

Bemerkung

Hier sind die Abweichungen zu den Eimer-Werten bis auf Muster 30e bisher am geringsten. Diese Versuchsanordnung wurde daher weiterentwickelt.

21. Dynamische Bewässerungsmethode entsprechend Versuch d und j, Kapitel 4.9 (s. Tabelle 26):

Tauchpumpe, Doppeldüse (mittlere Düse + breite Düse)

ca. 3 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll zusätzlich

Jets-Pumpe, kleine Düse

ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe

ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser $\frac{3}{4}$ Zoll

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h

Durchfluss:

5.930 l/h + ca. 2.430 l/h = 8.360 l/h

Benetzungsbreite: 35 cm

Fördermenge: 140 ml/m

400 ml/m²

Muster- nummer Prüffeld	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
27e	46	70 (+24)
28e	24	40 (+16)
29e	42	46 (+4)
30e	53	82 (+29)

Tab. 26: Messwerte – Versuch 21, Kapitel 4.10

Bemerkung

Die Abweichungen zu den Soll-Werten sind bei Verwendung der Quaste im Nachgang (s. Versuch 20) deutlich geringer als ohne Verwendung der Quaste.

Für die Versuche in Kapitel 4.10 wurde allgemein festgestellt, je höher die Fahrgeschwindigkeit war, desto schwieriger wurde es, den Markierungsstrich exakt mit der Bewässerung zu treffen, da die Bewässerungseinheit nicht fest am Fahrzeug montiert war, sondern per Hand geführt wurde. Eine feste Montage der Bewässerungseinheit mit visueller Verkehrsführung des Fahrers wird die Treffsicherheit später verbessern.

Die Versuche haben gezeigt, dass für die dynamische Bewässerung gerade bei hohen Geschwindigkeiten (hier 60 km/h) mehr Wasser benötigt wird als zunächst angenommen (mehr als 8.000 l/h). Versuchsanordnung Nr. 20 ist bislang am vielver-

sprechendsten. Hier wurde eine optimale Wassermenge von 400 ml/m² für die dynamische Bewässerung ermittelt (bei einem Wasserdurchfluss von 8.360 l/h, Benetzungsbreite 35 cm, Geschwindigkeit: 60 km/h). Diese Wassermenge ist etwas geringer als die ermittelte Wassermenge für die Eimermethode mit 612 ml/m² (s. Kapitel 4.4). Da sich bei der dynamischen Bewässerung und direkt anschließenden Messung kein überschüssiges Wasser in den Vertiefungen der strukturierten Markierungen sammelt, welches für die Retroreflexion keinen Einfluss hat, ist davon auszugehen, dass die ermittelten 8.360 l/h ungefähr das Optimum für die dynamische Bewässerung sind.

Weitere Feldversuche mit verbesserten Pumpen- und Düsensystemen sollten auf dieser Grundlage folgen, um die optimale Bewässerung (Menge und Verteilung) zu klären. Es wurde daher zunächst für die Bewässerungseinheit ein Prototyp entwickelt. Hierbei wurde dann eine neue Pumpe verwendet, die einen Wasserdurchfluss von ca. 8.500 l/h durch einen Düsensatz leisen konnte. Da sich auch gezeigt hat, dass unabhängig von der Wassermenge auch die schnelle Verteilung und Benetzung wichtig sind (s. Versuche mit dem Quast), wurde eine Anordnung von mehreren hintereinander liegenden Düsen konstruiert.

Beim Vergleich zu den Eimerwerten muss berücksichtigt werden, dass bei der Eimermethode nie exakt derselbe Messfleck auf dem Markierungsstrich getroffen wird wie bei den Vergleichsmessungen. Führt man mehrere statische Messungen auf einem der 2 m langen Striche durch, so weichen schon hier die Messwerte teilweise erheblich voneinander ab.

4.11 Versuche mit dynamischer Bewässerung und dynamischer Messung

Eine Randmarkierung sollte mit dem in Kapitel 4.10, Versuch 20, beschriebenen Verfahren mit 400 ml/m² dynamisch bewässert werden und anschließend die Nachsichtbarkeit bei Nässe dynamisch mit dem ZDR 6020 R_L gemessen werden. Die Messungen sollten dann mit den zuvor ermittelten Eimerwerten verglichen werden.

Auf der eigens für das Forschungsprojekt hergestellten Randmarkierung im Bereich des Markierungsprüffeldes auf der B 4 bei Torfhaus wurde die Nachsichtbarkeit bei Nässe nach der Eimerme-

thode gemessen (vgl. Kapitel 3.4). Es wurde auf jedem Meter ein Messpunkt aufgenommen, jeweils am Anfang, in der Mitte und am Ende der benachbarten Prüffeldmuster (s. Bilder 42 bis 45). Anhand der festgelegten Geometrie der Prüffeldmuster konnte die Lage der aufgenommenen Messpunkte der Randmarkierung genau nachvollzogen werden. Die Randmarkierung bestand auf 97 m Länge aus einer Kaltplastik-Glattstrichmarkierung und auf 194 m Länge aus einer Kaltplastik-Agglomeratmarkierung (beide Typ II, jeweils rechter Rand).

Später wurde dieselbe Markierung entsprechend Versuch 20, Kapitel 4.10, dynamisch bewässert, um direkt danach mit dem dynamischen Messgerät ZDR 6020 R_L die Nachsichtbarkeit zu messen. Direkt nach den dynamischen Messungen wurden an einigen Messpunkten wiederum die statischen Werte mit dem Handgerät ZRM 1013+ bzw. ZRM 6013 gemessen.

Die dynamische Bewässerung mit der dynamischen Messung und anschließender statischer Messung wurde insgesamt zweimal durchgeführt. Schließlich wurde nochmals dynamisch bewässert und dann nur statisch an einigen Punkten gemessen.

Die beiden Markierungen waren im April 2010 appliziert worden und waren bereits lang genug bewässert und überrollt worden, sodass sie sich für die Messungen eigneten. Die erzielten Mittelwerte der einzelnen Messungen sind im Folgenden aufgeführt.

- Mittelwerte Kaltplastik-Glattstrich (km 0,01 bis km 0,097):
 - R_L Eimer: 83,81 mcd/m²lx,
 - R_L nass dyn 1: 52,83 mcd/m²lx,
 - R_L nass dyn 2: 65,45 mcd/m²lx.

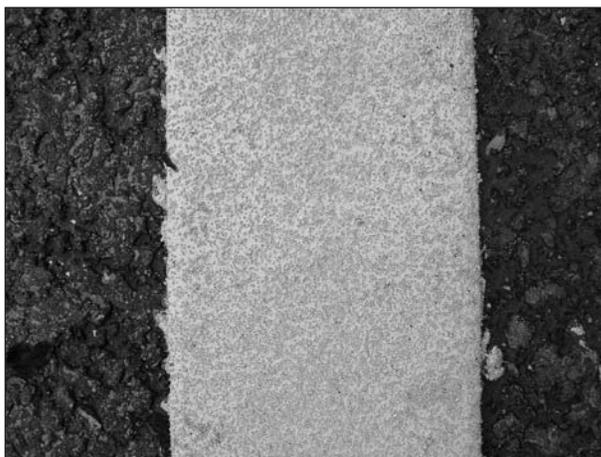


Bild 42: Kaltplastik-Glattstrich Typ II

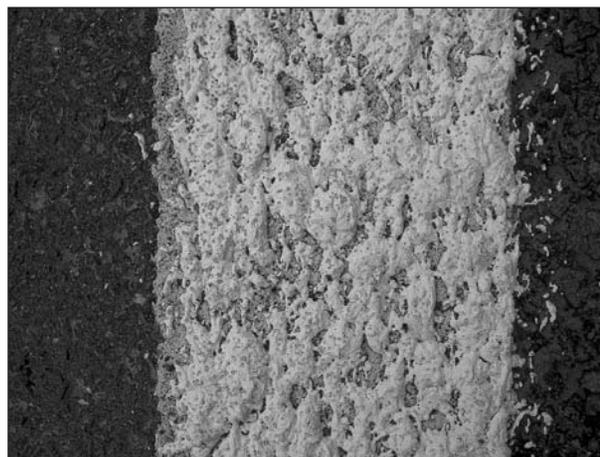


Bild 44: Kaltplastik-Agglomerate



Bild 43: Statische Messung des Kaltplastik-Glattstrichs Typ II



Bild 45: Statische Messung der Kaltplastik-Agglomerate

- Mittelwerte Kaltplastik-Agglomerat (km 0,10 bis km 0,27):
 - R_L Eimer: 125,24 mcd/m²lx,
 - R_L nass dyn 1: 129,05 mcd/m²lx,
 - R_L nass dyn 2: 121,97 mcd/m²lx.

Da bei der statischen Messung mit der Eimermethode immer nur einzelne Messpunkte aufgenommen werden, ist hier die Schwankung der Einzelmesswerte zueinander relativ hoch. Je nach Verteilung, Menge und Einbettung der Nachstreumittel sowie beim Agglomerat der Verteilung der Kleckse auf dem Messfleck fallen die Messwerte unterschiedlich aus.

Bei der dynamischen Messung (s. Bild 46) werden kontinuierlich Werte ermittelt, die je nach Auflösung, z. B. nach je 1 m, gemittelt werden. Dadurch liegen hier die Messwerte viel näher zusammen, da Schwankungen beim Mitteln ausgeglichen werden.

Die über die Gesamtstrecke gemittelten Werte für die Nachsichtbarkeit nach dynamischer Bewässerung zeigen für das Kaltplastik-Agglomerat eine sehr gute Übereinstimmung zur Eimermethode. Im Fall des Kaltplastik-Glattstriches sind die dynamisch ermittelten Werte gegenüber dem Referenzwert der statischen Methode zu gering (ca. 20 bis 30 mcd/m²lx). Eventuell muss hier weniger Wasser eingesetzt werden.

Die statischen Messungen im Anschluss an die dynamischen Messungen nach dynamischer Bewässerung sind nicht sehr aussagekräftig, da sie teilweise mit erheblicher Verzögerung gemessen worden sind.



Bild 46: Dynamische Messungen mit ZDR 6020 R_L

5 Prototyp zur dynamischen Bewässerung

Für die dynamische Bewässerung der Markierung war es notwendig, einen Prototyp zu konstruieren, der die benötigte Wassermenge pro Zeit in einer ausreichenden Breite auf die Markierung aufbringen konnte. Die Wassermenge sollte möglichst variabel sein, damit weitere Versuche durchgeführt werden konnten. Als Bewässerungsfahrzeug wurde ein größeres Auto vorgesehen, da es einen 1.000 l fassenden Wassertank transportieren sollte.

5.1 Konstruktion des Prototyps

In Versuch 20, Kapitel 4.10, wurde eine optimale Durchflussmenge an Wasser von ca. 8.400 l/h für die dynamische Bewässerung ermittelt. Das Ziel war nun, eine feststehende Pumpen- und Düsenkombination inklusive Wassertank als Prototyp zu konstruieren, die diese Menge fördern konnte und am Fahrzeug befestigt werden konnte. Um weitere Versuche mit unterschiedlichen Durchflussmengen durchführen zu können, sollte die Durchflussmenge zudem variiert werden können.

Folgendes System wurde zwischen Mai und August 2010 konstruiert: Als Bewässerungsfahrzeug diente ein Mercedes-Sprinter-Lieferwagen. Dieses Fahrzeug ist hinten mit einer Doppeltür und auf der rechten Seite mit einer Schiebetür ausgestattet (s. Bild 47). Im Laderaum des Bewässerungsfahrzeugs wurde ein 1.000 l fassender Wassertank befestigt (s. Bild 48). Um das Wasser vom Wassertank zur Bewässerungseinheit fördern zu können, wurde eine Motorpumpe mit folgenden Kenndaten verwendet:



Bild 47: Bewässerungsfahrzeug mit Prototyp im Einsatz

- Motorpumpe PP2 Honda WB 20 XT,
Kenndaten:
2,9 kW, maximum: 36,0 m³/h, 3,2 bar Zo.

Diese wurde auf dem Wassertank montiert (s. Bild 49). Der Schlauch von der Pumpe zu den Düsen war ca. 5 m lang und hatte einen Innendurchmesser von 50 mm (s. Bild 50 und 51).

Mit Hilfe eines Systems aus hintereinandergeschalteten Düsen konnte das geförderte Wasser sowohl



Bild 48: Wassertank mit einem Fassungsvermögen von 1.000 l



Bild 49: Motorpumpe PP2 Honda WB 20 XT



Bild 50: Wasserzuleitung vom Wassertank abgehend



Bild 51: Schlauchsystem zur Düsenkonstruktion

fein verteilt aufgebracht als auch dosiert werden (s. Bild 52). Insgesamt sechs Düsen des Herstellers SSCO Spraying System aus rostfreiem Stahl wurden verwendet.

- Bezeichnung der Düsen 1 bis 3:
Veejet H1/2U-316SS95100 (kleinere Düsen mit einem Spritzwinkel von 95°),
- Bezeichnung der Düsen 4 bis 6:
Veejet H21/2U-316SS95150 (größere Düsen mit einem Spritzwinkel von 95°).

Die Dosierung erfolgt durch Öffnen oder Schließen der Hähne bei den Düsen 3, 4 und/oder 5. Die Düsen 1, 2 und 6 können nicht ausgeschaltet werden. Die Düse 1 ist in einem Winkel von ca. 45° in Fahrtrichtung gekippt. Die anderen Düsen spritzen jeweils senkrecht auf den Boden. Die einzelnen Düsen sind in fünf T-Stücke und einem Endstück mit einem Innendurchmesser von jeweils 1½ Zoll eingelassen.

Ein Manometer am Ende der Düsenkonstruktion zeigt den aktuellen Druck im System an (s. Bild 52). Das Manometer hat einen Anzeigebereich von 0 bis 10 bar und ist mit einem Anschlussstück von ¼ Zoll Durchmesser eingebaut.

Eine schraubbare Höhenverstellung erlaubt es, das gesamte Düsenystem in der Höhe zu variieren (s. Bild 53). Hierdurch ändern sich sowohl die Spritzbreite als auch die aufgebrauchte Wassermenge pro Quadratmeter. Ist der Abstand der Düsen zum Boden geringer, so verringert sich die Spritzbreite und die aufgebrauchte Wassermenge erhöht sich. Die Höhe wird vom Boden bis zum Anfang von Düse 4 gemessen.

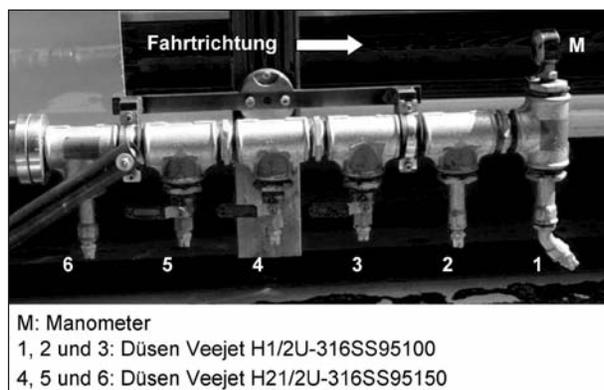


Bild 52: Düsensystem

Der Spritzeinrichtung kann entweder wie oben beschrieben betrieben werden oder es kann optional ein Quastsystem (s. Bild 53) oder ein Lappensystem (s. Bild 54) nachgeschaltet werden. Beim Quastsystem werden zwei Quasten, die nebeneinander an einem Schwenksystem montiert sind und eine Gesamtbreite von 34 cm aufweisen, beim Herunterlassen mit zwei Gewichten A und B beschwert. Gewicht A wiegt 1,5 kg, Gewicht B wiegt 1,3 kg, das Gesamtgewicht beträgt also 2,8 kg. So werden die Quasten beim Fahren auf den Boden gedrückt. Sie befinden sich ca. 40 cm hinter Düse 6. Das Lappensystem funktioniert ebenso, weist eine Gesamtbreite von 33 cm auf, wird aber nur durch ein Gewicht (Gewicht A mit 1,5 kg) beschwert. Das Material der Lappen entspricht einem Material, wie es in Autowaschanlagen verwendet wird.

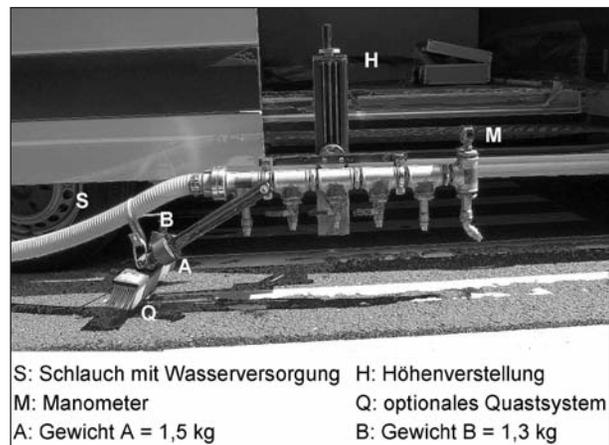


Bild 53: Bewässerungssystem



Bild 54: Bewässerungssystem

5.2 Ermittlung des Wasserdurchflusses

Folgende Durchflussmengen an Wasser wurden am 10.08.2010 für das in Kapitel 5.1 beschriebene System ermittelt (s. Tabelle 27 sowie Bild 55 und 56):

Dynamische Bewässerung	Offene Düsen (Nummern)	Durchfluss [l/s]	Durchfluss [l/h]	Druck [bar]
mit 3 Düsen	1, 2, 6	2,2	7.920	2,8
mit 4 Düsen	1, 2, 4, 6	3,1	11.160	2,5
mit 5 Düsen	1, 2, 4, 5, 6	3,85	13.860	2,3
mit 6 Düsen	1, 2, 3, 4, 5, 6	4,3	15.480	2,2

Tab. 27: Durchflussmengen



Bild 55: Wasserdurchfluss von der Seite



Bild 56: Wasserdurchfluss von vorne

Die durchschnittliche Bewässerungsbreite mit dem Düsensystem des Prototyps lag bei einer Höheneinstellung von 22,0 cm bei 40 cm, bei einer Höheneinstellung von 27,0 cm bei 50 cm und bei einer Höheneinstellung von 29,0 cm bei 55 cm (s. Bild 57). Diese tatsächlichen Spritzbreiten wurden für die weiteren Berechnungen bei den Versuchen zugrunde gelegt.

Bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h und einer durchschnittlichen Bewässerungsbreite von 40, 50 bzw. 55 cm werden dementsprechend die in Tabelle 28 dargestellten Wassermengen verspritzt.

Im Prinzip kann mit der Höhenverstellung stufenlos die Wassermenge geregelt werden. Bei den für die Versuche ausgewählten Spritzbreiten von 40, 50 bzw. 55 cm werden Wassermengen zwischen 240 und 645 ml/m² gefördert.

Dynamische Bewässerung	Wassermenge pro laufendem Meter [ml/m]	Wassermenge bei 40 cm Spritzbreite [ml/m ²]	Wassermenge bei 50 cm Spritzbreite [ml/m ²]	Wassermenge bei 55 cm Spritzbreite [ml/m ²]
mit 3 Düsen	132	330	264	240
mit 4 Düsen	186	465	372	340
mit 5 Düsen	231	578	462	420
mit 6 Düsen	258	645	516	470

Tab. 28: Wassermengen pro Fläche

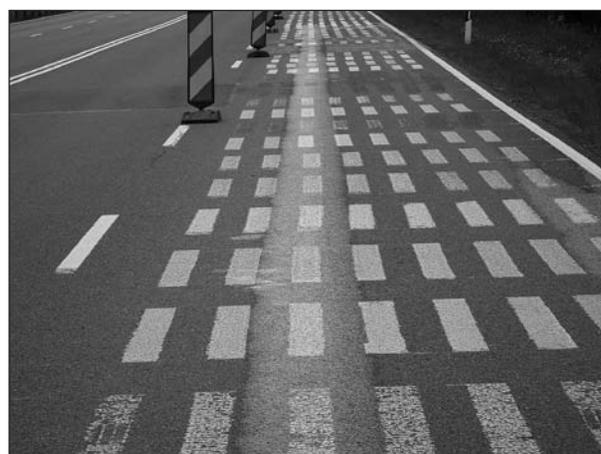


Bild 57: Benetzungsbreite 55 cm

6 Durchführung der Hauptversuche und Versuchsergebnisse

Entsprechend Kapitel 4.2 sollte jetzt die Entwicklung der Nachsichtbarkeit im Zeitverlauf nach der dynamischen Bewässerung untersucht werden.

Des Weiteren wurden umfangreiche Messungen mit dem Prototyp zur dynamischen Bewässerung der Markierung auf dem Winterdienstprüffeld auf der B 4 bei Torfhaus durchgeführt. Zunächst wurde direkt nach der Bewässerung statisch gemessen, später auch dynamisch.

6.1 Ermittlung des Zeitraums zwischen Bewässerung und Messung

Zur Ermittlung des Zeitraums, der zwischen der dynamischen Bewässerung und der anschließenden Messung zur Verfügung steht, wurden auf dem Winterdienstprüffeld Versuche durchgeführt.

Da bei der Fahrt der Bewässerungseinheit keine Hindernisse im Fahrverlauf vorhanden sein durften, war es hier nicht möglich, mit dem Messkopf des dynamischen Messgerätes zu arbeiten. Nach der dynamischen Bewässerung wurden daher jeweils mit den Handgeräten ZRM 6014 und LTL-XL so schnell wie möglich nacheinander Messungen durchgeführt. Beide Geräte können alle 2 bis 4 s eine erneute Messung der Nachsichtbarkeit durchführen.

Drei Versuche wurden durchgeführt. Es wurden nacheinander zwei Markierungen des Prüffeldes sowie einmal die rechte Randmarkierung dynamisch mit dem Prototyp bewässert, anschließend die statischen Messgeräte aufgestellt und die Messwerte hintereinander aufgenommen, ohne das Messgerät zu versetzen. Im Folgenden sind die ermittelten Messwerte aufgeführt (R_L in $\text{mcd/m}^2\text{l}$).

1. Markierung: 36h (s. Tabelle 29 und Bild 58)

Art der Markierung: Kaltspritzplastik-Glattstrich
 Sollwert R_L Eimer: 55 $\text{mcd/m}^2\text{l}$
 Düsen: 3
 Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
 mit Quast im Nachgang
 Höhe der Spritzeinheit: 27 cm
 Fördermenge: 264 ml/m^2

Messung Nr.	Sekunden nach Bew.	R_L dynamische Bew.
1	3	50
2	5	53
3	7	55
4	9	54
5	10	54
6	12	55
7	14	55
8	15	56
9	17	55
10	18	56
11	20	56

Tab. 29: Messwerte nach dynamischer Bewässerung bei Markierung 36h

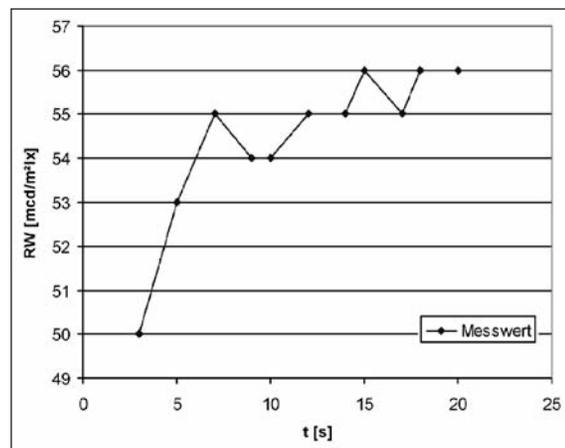


Bild 58: Änderung der Nasswerte bei Markierung 36h

Messgerät: ZRM 6014

Schwankung der Messwerte zwischen 5 und 10 s: 1,9 %

2. Markierung: rechter Rand in Höhe des Musters 35 Ende (s. Tabelle 30 und Bild 59)

Art der Markierung: Kaltplastik-Glattstrich

Sollwert R_L Eimer: 111 $\text{mcd/m}^2\text{l}$

Düsen: 3

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h

mit Quast im Nachgang

Höhe der Spritzeinheit: 29 cm

Fördermenge: 240 ml/m^2

Messgerät: ZRM 6014

Schwankung der Messwerte zwischen 5 und 10 s: 9,3 %

Messung Nr.	Sekunden nach Bew.	R _L dynamische Bew.
1	3	79
2	5	86
3	7	88
4	9	91
5	11	94
6	13	94
7	14	95
8	16	98
9	18	103
10	20	107
11	21	108
12	23	110
13	25	108
14	27	106
15	28	104
16	30	103

Tab. 30: Messwerte nach dynamischer Bewässerung bei der rechten Randmarkierung in Höhe 35 Ende

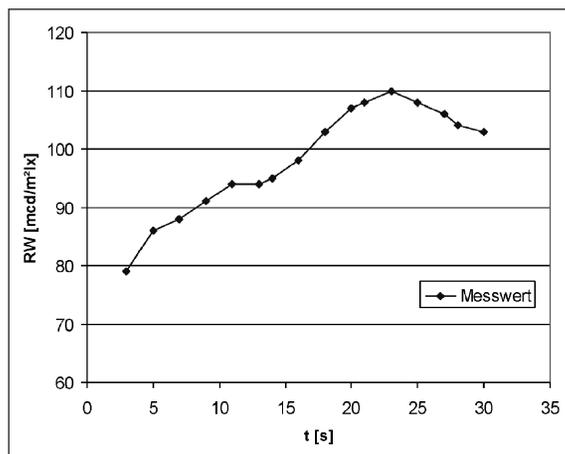


Bild 59: Änderung der Nasswerte bei der rechten Randmarkierung in Höhe 35 Ende

3. Markierung: 38h (s. Tabelle 31 und Bild 60)
 Art der Markierung: Kaltspritzplastik-Glattstrich
 Sollwert R_L Eimer: 46 mcd/m²lx
 Düsen: 3
 Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
 ohne Quast im Nachgang
 Höhe der Spritzeinheit: 29 cm
 Fördermenge: 240 ml/m²
 Messgerät: ZRM 6014

Schwankung der Messwerte zwischen 5 und 10 s: 9,5 %

Messung Nr.	Sekunden nach Bew.	R _L dynamische Bew.
1	3	56
2	6	56
3	8	59
4	10	59
5	12	61
6	14	62
7	16	64
8	18	64
9	20	66
10	23	65
11	25	66
12	27	66
13	28	65
14	30	66

Tab. 31: Messwerte nach dynamischer Bewässerung bei Markierung 38h

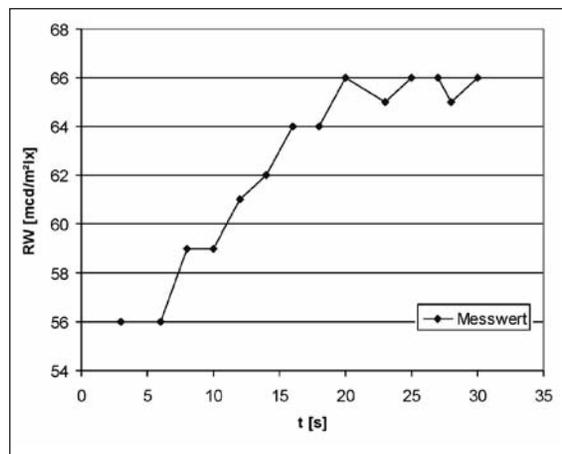


Bild 60: Änderung der Nasswerte bei Markierung 38h

Fazit

In den ersten 5 Sekunden nach der Bewässerung ändert sich der Messwert noch erheblich. So lange braucht das überschüssige Wasser, bis es abgeflossen ist. Erst danach bleiben die Werte relativ konstant.

Beim Wasserablauf spielen verschiedene Einflüsse eine Rolle. Das überschüssige Wasser läuft sofort ab, da Flüssigkeiten der Schwerkraft folgen und zum tiefsten Punkt streben. Der Wasserabfluss durch Schwerkraft und die Verringerung des Wasserfilms durch Verdunstung treten teilweise gleichzeitig auf. In den ersten 5 Sekunden überwiegt eindeutig der Wasserabfluss, danach spielen beide

Phänomene eine Rolle, bis schließlich die Verringerung des Wasserfilms durch Verdunstung überwiegt.

Bei einer Schrägstellung der Markierungsfläche wie bei Agglomeraten oder Profilmarkierungen kann das Wasser schneller abfließen als bei Glattstrichsystemen. Ein dünner Wasserfilm bleibt jedoch auf allen Markierungen zurück, der durch die Oberflächenspannung des Wassers und Adhäsionskräfte zur Oberfläche der Markierung gehalten wird. Abhängig von der Art und Oberflächentextur der Markierung können dabei unterschiedliche Wassermengen auf der Markierung bleiben. Erst nach und nach verringert sich die Dicke des Wasserfilms durch Verdunstung des Wassers. Die Verdunstungsgeschwindigkeit ist abhängig von der Wasseroberfläche, der Luft- und Bodentemperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Sonneneinstrahlung und der Windgeschwindigkeit.

Wenn zwischen 5 und 10 s nach der dynamischen Bewässerung gemessen wird, so streuen die Messwerte um $\pm 5\%$. Dies wird für die lichttechnischen Messungen akzeptiert.

Sowohl das Bewässerungsfahrzeug als auch das Messfahrzeug müssen mit derselben Geschwindigkeit von 60 km/h fahren. Wird also 5 s gewartet zwischen Bewässerung und Messung, so beträgt der Abstand beider Fahrzeuge 84 m, bei 10 s sind es 167 m Abstand. In diesem Bereich muss also das dynamische Messfahrzeug hinter dem Bewässerungsfahrzeug fahren.

6.2 Versuche mit dynamischer Bewässerung und statischer Messung

Die folgenden Versuche wurden mit dem zuvor konstruierten Prototyp für die dynamische Bewässerung durchgeführt (s. Kapitel 5). In den Vorversuchen wurde eine optimale Bewässerungsmenge von 400 ml/m² ermittelt. Im Nachgang zur Bewässerung wurde das Wasser mit Hilfe eines Quastes verteilt (s. Versuch 20, Kapitel 4.10).

Anhand von weiteren Messfahrten auf dem Winterdienstmarkierungsprüffeld auf der B 4 bei Torfhaus (s. Kapitel 3.4) sollte herausgefunden werden, wie der konstruierte Prototyp in der Praxis funktioniert und welche Wassermenge bzw. -verteilung für eine optimale Übereinstimmung zwischen der Eimermethode und einer dynamischen Bewässerung mit

sofortiger anschließender Messung benötigt wird. Hierzu wurden zunächst wieder statische Messungen nach der dynamischen Bewässerung durchgeführt. Zum Einsatz kamen die Handgeräte ZRM 6014, ZRM 6013, LTL-XL und LTL 2000 (s. Bild 61).

Nach jeder Messung musste die Markierung zunächst trocknen, bevor sie wieder gemessen werden konnte. Benachbarte Striche konnten direkt nacheinander gemessen werden, wenn die Nachbarmarkierung nicht aus Versehen mit bewässert worden waren. Es konnten nur die Randmarkierung und Strich h in Fahrtrichtung bewässert werden, Strich a, b und c wurden gegen die Fahrtrichtung bewässert, denn für die Versuche stand nur der rechte Fahrstreifen zur Verfügung. Der linke Fahrstreifen lag während der Messungen unter Verkehr (s. Bild 62). Strich a wurde nach einigen Probeläufen nicht mehr gemessen, da er zu nah am Gegenverkehr lag. Alle Messungen der Nachtsichtbarkeit wurden in Fahrtrichtung ausgeführt. Die übrigen Striche konnten aufgrund der seitlichen Konstruktion der Bewässerungseinheit am Bewässerungsfahrzeug nicht erreicht werden.



Bild 61: Statische Messungen nach dynamischer Bewässerung



Bild 62: Versuchsstrecke Prüffeld B 4

Bei einigen Bewässerungsfahrten wurde der zu messende Strich nicht oder nur unvollständig getroffen. Diese Messungen wurden nicht gewertet.

Pro Bewässerungsfahrt wurden maximal 6 Messwerte mit einem statischen Messgerät aufgenommen. Bei den ersten Versuchen (Versuch 3 bis 8) begannen die Messungen jeweils 4 s nach der Bewässerung. Diese Zeit wurde benötigt, um nach der Durchfahrt des Bewässerungsfahrzeuges zum Messpunkt zu gelangen, das Messgerät aufzustellen und zu messen. Die Messungen waren nach maximal weiteren 20 s abgeschlossen. Später stellte sich heraus, dass in den ersten Sekunden die Streuung noch zu hoch war und es wurde erst nach 8 s nach der Bewässerung angefangen zu messen (Versuch 9 bis 13). Daraufhin wurden die Versuche zum zeitlichen Abstand durchgeführt (s. Kapitel 6.1). Es wurde nun nur noch zwischen 5 und 10 s nach der Bewässerung gemessen (maximal 2 Messwerte). Da mehrere Messgeräte und genügend Messpersonal vorhanden waren, konnten die Messungen teilweise gleichzeitig erfolgen.

Die Benetzungsbreite wurde bei den ersten Testfahrten zunächst auf 40 cm eingestellt (Versuch 3 bis 8). Da die an die Markierung angrenzende Asphalt- oder Betondecke jedoch ebenfalls bewässert werden muss, um eine exakte Abgrenzung der Markierung von der Decke zu erhalten, wurde die Benetzungsbreite später auf optimale 55 cm eingestellt (Versuch 9 bis 14).

Mit den für jede Versuchsanordnung charakteristischen Einstellungen am Bewässerungsfahrzeug wurden teilweise mehrere Fahrten durchgeführt. Auf den Prüffeldmustern wurden jeweils 3 Messpunkte pro Musterstrich aufgenommen und daraus das arithmetische Mittel gebildet. Auf dem rechten Rand neben den Prüffeldmustern wurde jeweils nur 1 Messpunkt aufgenommen.

Nach wenigen Messungen stellte sich bereits heraus, dass Glattnstrichsysteme eine andere Menge an Wasser benötigen als strukturierte Systeme. Deshalb wurden sie getrennt betrachtet.

1. Bei 20 km/h wurde eine Trockenfahrt mit dem Bewässerungsfahrzeug durchgeführt. Die Bewässerungseinheit wurde auf den rechten Rand ausgerichtet und die Treffsicherheit getestet. Es war möglich, den Strich exakt zu treffen.
2. Bei 60 km/h wurde wiederum eine Trockenfahrt mit dem Bewässerungsfahrzeug durchgeführt.

Die Bewässerungseinheit wurde auf Strich h ausgerichtet und die Treffsicherheit getestet. Es war möglich, den Strich zu treffen. Es bedurfte jedoch einiger Übung und hoher Konzentration bei dieser Geschwindigkeit. Der Fahrer musste zunächst stark beschleunigen, da die Teststrecke nur ca. 400 m lang war, dann gleichzeitig die Geschwindigkeit konstant halten und die Bewässerungseinheit auf Kurs halten. Für spätere Messkonstruktionen wäre es daher sinnvoll, das Bewässerungsfahrzeug mit Tempomat auszustatten, so wie es beim Messfahrzeug auch der Fall ist.

3. Dynamische Bewässerung mit 3 Düsen (s. Tabelle 32)

Fahrgeschwindigkeit:	60 km/h
Durchfluss:	7.920 l/h
Höhe der Spritzeinheit:	22 cm
Benetzungsbreite:	40 cm
Fördermenge:	132 ml/m 330 ml/m ²

Messungen: zwischen 4 und 24 s

Muster- nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynami- sche Bew.
Rand bei 35A	KP Glattnstrich	105	84 (-21)
Rand bei 35M	KP Glattnstrich	122	116 (-6)
Rand bei 35E	KP Glattnstrich	111	101 (-10)
Rand bei 36A	KP Glattnstrich	102	95 (-7)
Rand bei 40A	KP Agglo	159	178 (+19)
Rand bei 40M	KP Agglo	156	146 (-10)
Rand bei 40E	KP Agglo	127	153 (+26)
Rand bei 41A	KP Agglo	148	163 (+15)
Rand bei 41M	KP Agglo	124	143 (+19)
Rand bei 41E	KP Agglo	143	210 (+63)
Rand bei 42A	KP Agglo	154	181 (+27)
Rand bei 42M	KP Agglo	157	179 (+22)
Rand bei 42E	KP Agglo	163	165 (+2)
Rand bei 43E	KP Agglo	146	186 (+40)
Rand bei 44A	KP Agglo	150	150 (±0)
Rand bei 44M	KP Agglo	136	156 (+20)
Rand bei 44E	KP Agglo	147	160 (+13)
Rand bei 45A	KP Agglo	122	152 (+30)
Rand bei 45M	KP Agglo	146	161 (+15)
Rand bei 45E	KP Agglo	144	171 (+27)

Tab. 32: Messwerte – Versuch 3, Kapitel 6.2

Bemerkung

Glattstrichsysteme: Die Werte für die Nachtsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu niedrig im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um $-11,0 \text{ mcd/m}^2\text{lx}$, 4 Messwerte gesamt).

Strukturierte Systeme: Die Werte für die Nachtsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu hoch im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um $+20,5 \text{ mcd/m}^2\text{lx}$, 16 Messwerte gesamt).

4. Dynamische Bewässerung mit 4 Düsen (s. Tabelle 33)

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
 Durchfluss: 11.160 l/h
 Höhe der Spritzeinheit: 22 cm
 Benetzungsbreite: 40 cm
 Fördermenge: 186 ml/m
 465 ml/m²

Messungen: zwischen 4 und 24 s

Muster-nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
38h	KSP Glattstrich	46	34 (-12)
38a	KSP Glattstrich	9	14 (+5)
37h	KP Agglo	80	90 (+10)
39h	KP Agglo	35	48 (+13)
40h	KP Agglo	34	39 (+5)
37a	KP Agglo	34	47 (+13)
39a	KP Agglo	12	20 (+8)
40a	KP Agglo	12	21 (+9)

Tab. 33: Messwerte – Versuch 4, Kapitel 6.2

Bemerkung

Glattstrichsysteme: Die Werte für die Nachtsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu niedrig im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um $-3,5 \text{ mcd/m}^2\text{lx}$, 2 Messwerte gesamt).

Strukturierte Systeme: Die Werte für die Nachtsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu hoch im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um $+9,7 \text{ mcd/m}^2\text{lx}$, 6 Messwerte gesamt).

5. Dynamische Bewässerung mit 5 Düsen (s. Tabelle 34)

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
 Durchfluss: 13.860 l/h
 Höhe der Spritzeinheit: 22 cm
 Benetzungsbreite: 40 cm
 Fördermenge: 231 ml/m
 578 ml/m²

Messungen: zwischen 4 und 24 s

Muster-nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
38b	KSP Glattstrich	13	7 (-5)
38c	KSP Glattstrich	28	14 (-14)
74h	Folie	56	50 (-6)
79h	TP Glattstrich	39	20 (-19)
37b	KP Agglo	50	55 (+5)
39b	KP Agglo	16	22 (+6)
40b	KP Agglo	20	21 (+1)
37c	KP Agglo	73	83 (+10)
39c	KP Agglo	24	32 (+8)
40c	KP Agglo	20	33 (+13)
76h	KP Agglo	32	30 (-2)
77h	TP Agglo	66	72 (+6)
80h	KP Agglo	39	38 (-1)

Tab. 34: Messwerte – Versuch 5, Kapitel 6.2

Bemerkung

Glattstrichsysteme: Die Werte für die Nachtsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu niedrig im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um $-11,0 \text{ mcd/m}^2\text{lx}$, 4 Messwerte gesamt).

Strukturierte Systeme: Die Werte für die Nachtsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu hoch im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um $+5,1 \text{ mcd/m}^2\text{lx}$, 9 Messwerte gesamt).

6. Dynamische Bewässerung mit 3 Düsen (s. Tabelle 35)

Fahrgeschwindigkeit:	60 km/h
mit Quast im Nachgang	
Durchfluss:	7.920 l/h
Höhe der Spritzeinheit:	22 cm
Benetzungsbreite:	40 cm
Fördermenge:	132 ml/m
	330 ml/m ²

Messungen: zwischen 4 und 24 s

Muster-nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
36h	KSP Glattstrich	55	50 (-5)
38h	KSP Glattstrich	46	48 (+2)
Rand bei 34E	KP Glattstrich	92	63 (-29)
Rand bei 35A	KP Glattstrich	105	87 (-18)
Rand bei 35M	KP Glattstrich	122	113 (-9)
Rand bei 35E	KP Glattstrich	111	106 (-5)
Rand bei 36A	KP Glattstrich	102	87 (-15)
Rand bei 36M	KP Glattstrich	114	105 (-9)
37h	KP Agglo	80	93 (+13)
39h	KP Agglo	35	43 (+8)
40h	KP Agglo	34	44 (+10)
Rand bei 39A	KP Agglo	139	167 (+28)
Rand bei 39M	KP Agglo	162	160 (-2)
Rand bei 39E	KP Agglo	146	167 (+21)
Rand bei 40A	KP Agglo	159	165 (+6)
Rand bei 40M	KP Agglo	156	130 (-26)
Rand bei 40E	KP Agglo	127	142 (+15)

Tab. 35: Messwerte – Versuch 6, Kapitel 6.2

Bemerkung

Glattstrichsysteme: Die Werte für die Nachsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu niedrig im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um -11,0 mcd/m²lx, 8 Messwerte gesamt).

Strukturierte Systeme: Die Werte für die Nachsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu hoch im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um +8,1 mcd/m²lx, 9 Messwerte gesamt).

7. Dynamische Bewässerung mit 4 Düsen (s. Tabelle 36)

Fahrgeschwindigkeit:	60 km/h
mit Quast im Nachgang	
Durchfluss:	11.160 l/h
Höhe der Spritzeinheit:	22 cm
Benetzungsbreite:	40 cm
Fördermenge:	186 ml/m
	465 ml/m ²

Messungen: zwischen 4 und 24 s

Muster-nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
24c	KP Glattstrich	22	14 (-8)
25c	KP Glattstrich	31	23 (-8)
37c	KP Agglo	73	85 (+12)
38c	KP Agglo	28	25 (-3)

Tab. 36: Messwerte – Versuch 7, Kapitel 6.2

Bemerkung

Glattstrichsysteme: Die Werte für die Nachsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu niedrig im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um -8,0 mcd/m²lx, 2 Messwerte gesamt).

Strukturierte Systeme: Die Werte für die Nachsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu hoch im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um +4,5 mcd/m²lx, 2 Messwerte gesamt).

8. Dynamische Bewässerung mit 5 Düsen (s. Tabelle 37)

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
mit Quast im Nachgang
Durchfluss: 13.860 l/h
Höhe der Spritzeinheit: 22 cm
Benetzungsbreite: 40 cm
Fördermenge: 231 ml/m
578 ml/m²

Messungen: zwischen 4 und 24 s

Muster-nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
24a	KP Glattstrich	17	10 (-7)
25a	KP Glattstrich	16	13 (-3)
38b	KSP Glattstrich	13	14 (+1)
37b	KP Agglo	50	55 (+5)

Tab. 37: Messwerte – Versuch 8, Kapitel 6.2

Bemerkung

Glattstrichsysteme: Die Werte für die Nachsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu niedrig im Vergleich zu den Eimer-Werten (durchschnittlich um -3,0 mcd/m²lx, 3 Messwerte gesamt).

Strukturiertes System: Der Wert für die Nachsichtbarkeit ist bei der dynamischen Bewässerung zu hoch im Vergleich zum Eimer-Wert (um +5,0 mcd/m²lx, 1 Messwert gesamt).

9. Dynamische Bewässerung mit 3 Düsen (s. Tabelle 38)

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
mit Quast im Nachgang
Durchfluss: 7.920 l/h
Höhe der Spritzeinheit: 29 cm
Benetzungsbreite: 55 cm
Fördermenge: 132 ml/m
240 ml/m²

Messungen: zwischen 8 und 28 s

Muster-nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
24c	KP Glattstrich	22	15 (-7)
25c	KP Glattstrich	31	20 (-9)
36h	KSP Glattstrich	55	70 (+15)
38h	KSP Glattstrich	46	55 (+9)
Rand bei 32A	KP Glattstrich	103	82 (-21)
Rand bei 32M	KP Glattstrich	120	98 (-22)
Rand bei 32E	KP Glattstrich	116	103 (-13)
Rand bei 34A	KP Glattstrich	115	114 (-1)
Rand bei 34M	KP Glattstrich	99	109 (+10)
Rand bei 34E	KP Glattstrich	92	101 (+9)
Rand bei 35A	KP Glattstrich	105	82 (-23)
Rand bei 35M	KP Glattstrich	122	119 (-3)
Rand bei 35E	KP Glattstrich	111	111 (±0)
Rand bei 36A	KP Glattstrich	102	93 (-10)
Rand bei 36M	KP Glattstrich	114	94 (-20)
37h	KP Agglo	80	90 (+10)
39h	KP Agglo	35	47 (+12)

Tab. 38: Messwerte – Versuch 9, Kapitel 6.2

Bemerkung

Glattstrichsysteme: Die Werte für die Nachsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu niedrig im Vergleich zu den Eimer-Werten (durchschnittlich um -5,7 mcd/m²lx, 15 Messwerte gesamt).

Strukturierte Systeme: Die Werte für die Nachsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu hoch im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um +11,0 mcd/m²lx, 2 Messwerte gesamt).

10. Dynamische Bewässerung mit 4 Düsen (s. Tabelle 39)

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
mit Quast im Nachgang
Durchfluss: 11.160 l/h
Höhe der Spritzeinheit: 29 cm
Benetzungsbreite: 55 cm
Fördermenge: 186 ml/m
338 ml/m²

Messungen: zwischen 8 und 28 s

Muster- nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
51h	KP Agglo	69	118 (+49)
53h	KP Agglo	63	96 (+33)
54h	KP Agglo	46	70 (+24)
51c	KP Agglo	45	104 (+59)
52c	KP Agglo	33	60 (+27)
53c	KP Agglo	43	89 (+46)
54c	KP Agglo	35	68 (+33)
55c	KP Agglo	26	48 (+22)
51h	KP Agglo	69	90 (+21)
52h	KP Agglo	48	63 (+15)
53h	KP Agglo	63	77 (+14)
54h	KP Agglo	46	61 (+15)
51c	KP Agglo	45	80 (+35)
52c	KP Agglo	33	54 (+21)
53c	KP Agglo	43	82 (+39)
54c	KP Agglo	35	61 (+26)
Rand bei 51A	KP Agglo	152	133 (-19)
Rand bei 51M	KP Agglo	156	144 (-12)
Rand bei 51E	KP Agglo	152	152 (±0)
Rand bei 52A	KP Agglo	168	174 (+6)
Rand bei 52M	KP Agglo	161	174 (+13)
Rand bei 52E	KP Agglo	153	163 (+10)
Rand bei 53A	KP Agglo	149	143 (-6)
Rand bei 53M	KP Agglo	152	152 (±0)
Rand bei 53E	KP Agglo	149	159 (+10)
Rand bei 54A	KP Agglo	134	147 (+13)
Rand bei 54M	KP Agglo	132	165 (+33)
Rand bei 54E	KP Agglo	160	170 (+10)
Rand bei 51A	KP Agglo	152	137 (-15)
Rand bei 51M	KP Agglo	156	137 (-19)
Rand bei 51E	KP Agglo	152	146 (-6)
Rand bei 52A	KP Agglo	168	141 (-27)
Rand bei 52M	KP Agglo	161	161 (±0)
Rand bei 52E	KP Agglo	153	158 (+5)
Rand bei 54A	KP Agglo	134	148 (+14)
Rand bei 54M	KP Agglo	132	166 (+34)
Rand bei 54E	KP Agglo	160	170 (+10)
Rand bei 55A	KP Agglo	133	163 (+30)
Rand bei 55M	KP Agglo	150	156 (+6)
Rand bei 55E	KP Agglo	164	174 (+10)

Tab. 39: Messwerte – Versuch 10, Kapitel 6.2

Bemerkung

Strukturierte Systeme: Die Werte für die Nachsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu hoch im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um +14,5 mcd/m²lx, 40 Messwerte gesamt).

11. Dynamische Bewässerung mit 4 Düsen (s. Tabelle 40)

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
mit Lappen im Nachgang
Durchfluss: 11.160 l/h
Höhe der Spritzeinheit: 29 cm
Benetzungsbreite: 55 cm
Fördermenge: 186 ml/m
338 ml/m²
Messungen: zwischen 8 und 28 s

Muster- nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
24c	KP Glattstrich	22	5 (-17)
25c	KP Glattstrich	31	30 (-1)
38c	KSP Glattstrich	28	23 (-5)
74h	Folie	56	32 (-24)
79h	TP Glattstrich	39	11 (-28)
37c	KP Agglo	73	72 (-1)
76h	KP Agglo	32	31 (-1)
77h	TP Agglo	66	57 (-9)
80h	KP Agglo	39	40 (+1)
Rand bei 76A	KP Agglo	105	89 (-16)
Rand bei 76M	KP Agglo	130	100 (-30)
Rand bei 76E	KP Agglo	166	111 (-55)
Rand bei 77A	KP Agglo	144	129 (-15)
Rand bei 77M	KP Agglo	138	126 (-12)
Rand bei 77E	KP Agglo	129	131 (+2)
Rand bei 78M	KP Agglo	111	139 (+28)
Rand bei 78E	KP Agglo	146	139 (-7)
Rand bei 79A	KP Agglo	150	141 (-9)
Rand bei 79M	KP Agglo	136	141 (+5)
Rand bei 79E	KP Agglo	149	141 (-8)

Tab. 40: Messwerte – Versuch 11, Kapitel 6.2

Bemerkung

Glattstrichsysteme: Die Werte für die Nachtsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu niedrig im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um $-15,0 \text{ mcd/m}^2\text{lx}$, 5 Messwerte gesamt).

Strukturierte Systeme: Die Werte für die Nachtsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu niedrig im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um $-8,5 \text{ mcd/m}^2\text{lx}$, 15 Messwerte gesamt).

Da sich keine sichtbaren Verbesserungen mit dem Lappensystem ergeben haben, wurde es nicht weiter verfolgt.

12. Dynamische Bewässerung mit 4 Düsen (s. Tabelle 41)

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
 Durchfluss: 11.160 l/h
 Höhe der Spritzeinheit: 29 cm
 Benetzungsbreite: 55 cm
 Fördermenge: 186 ml/m
 338 ml/m²

Messungen: zwischen 8 und 28 s

Muster-nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
74c	Folie	37	37 (±0)
51c	KP Agglo	45	87 (+42)
52c	KP Agglo	33	54 (+22)
53c	KP Agglo	43	101 (+58)
54c	KP Agglo	35	64 (+29)

Tab. 41: Messwerte – Versuch 12, Kapitel 6.2

Bemerkung

Glattstrichsystem: Der Wert für die Nachtsichtbarkeit ist bei der dynamischen Bewässerung im Vergleich zum Soll-Wert passend ($\pm 0 \text{ mcd/m}^2\text{lx}$, 1 Messwert gesamt).

Strukturierte Systeme: Die Werte für die Nachtsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu hoch im Vergleich zu den Soll-Werten (durchschnittlich um $+37,8 \text{ mcd/m}^2\text{lx}$, 4 Messwerte gesamt).

13. Dynamische Bewässerung mit 5 Düsen (s. Tabelle 42)

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
 Durchfluss: 13.860 l/h
 Höhe der Spritzeinheit: 29 cm
 Benetzungsbreite: 55 cm
 Fördermenge: 231 ml/m
 420 ml/m²

Messungen: zwischen 8 und 28 s

Muster-nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
74b	Folie	24	11 (-13)
27h	KP Agglo	69	80 (+11)
28h	KP Agglo	40	39 (-1)
29h	KP Agglo	56	56 (±0)
30h	KP Agglo	71	87 (+16)
27h	KP Agglo	69	79 (+10)
28h	KP Agglo	40	39 (-1)
29h	KP Agglo	56	57 (+1)
30h	KP Agglo	71	90 (+19)
27c	KP Agglo	43	78 (+35)
28c	KP Agglo	30	36 (+6)
29c	KP Agglo	44	54 (+10)
30c	KP Agglo	68	92 (+24)
37c	KP Agglo	73	79 (+6)
39c	KP Agglo	24	36 (+12)
40c	KP Agglo	20	38 (+18)
59c	KP Agglo	26	44 (+18)
60c	KP Agglo	28	47 (+19)
69c	KP Agglo	45	57 (+12)
71c	KP Agglo	15	22 (+7)
Rand bei 46A	KP Agglo	153	136 (-17)
Rand bei 46M	KP Agglo	151	150 (-1)
Rand bei 46E	KP Agglo	155	167 (+12)
Rand bei 47A	KP Agglo	166	174 (+8)
Rand bei 47M	KP Agglo	137	174 (+37)
Rand bei 47E	KP Agglo	143	186 (+43)
Rand bei 48A	KP Agglo	137	157 (+20)
Rand bei 48M	KP Agglo	149	148 (-1)
Rand bei 48E	KP Agglo	166	160 (-6)
Rand bei 49A	KP Agglo	150	160 (+10)
Rand bei 49M	KP Agglo	144	183 (+39)
Rand bei 49E	KP Agglo	146	180 (+34)
Rand bei 80A	KP Agglo	131	113 (-18)

Tab. 42: Messwerte – Versuch 13, Kapitel 6.2

Muster- nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
Rand bei 80M	KP Agglo	144	125 (-19)
Rand bei 80E	KP Agglo	181	146 (-35)
Rand bei 81A	KP Agglo	168	151 (-17)
Rand bei 81M	KP Agglo	178	162 (-16)
Rand bei 81E	KP Agglo	149	136 (-13)
Rand bei 82A	KP Agglo	144	123 (-21)
Rand bei 82M	KP Agglo	167	130 (-37)
Rand bei 80A	KP Agglo	131	105 (-26)
Rand bei 80M	KP Agglo	144	118 (-26)
Rand bei 80E	KP Agglo	181	130 (-51)
Rand bei 81A	KP Agglo	168	145 (-23)
Rand bei 81M	KP Agglo	178	136 (-42)
Rand bei 81E	KP Agglo	149	121 (-28)
Rand bei 82E	KP Agglo	155	142 (-13)
Rand bei 83A	KP Agglo	148	146 (-2)
Rand bei 83M	KP Agglo	154	124 (-30)
Rand bei 83E	KP Agglo	146	135 (-11)

Tab. 42: Fortsetzung

Bemerkung

Glattstrichsystem: Der Wert für die Nachtsichtbarkeit ist bei der dynamischen Bewässerung zu niedrig im Vergleich zum Eimer-Wert (um -13,0 mcd/m²lx, 1 Messwert gesamt).

Strukturierte Systeme: Die Werte für die Nachtsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu niedrig im Vergleich zu den Eimer-Werten (durchschnittlich um -0,6 mcd/m²lx, 49 Messwerte gesamt). Hier ist die durchschnittliche Abweichung zu den Sollwerten am geringsten von allen geprüften Varianten.

14. Dynamische Bewässerung mit 3 Düsen (s. Tabelle 43)

Fahrgeschwindigkeit: 60 km/h
 Durchfluss: 7.920 l/h
 Höhe der Spritzeinheit: 29 cm
 Benetzungsbreite: 55 cm
 Fördermenge: 132 ml/m
 240 ml/m²

Messungen: zwischen 5 und 10 s

Muster- nummer Prüffeld	Art der Markierung	R _L Eimer = Soll-Wert	R _L dynamische Bew.
24h	KP Glattstrich	28	26 (-2)
25h	KP Glattstrich	43	39 (-4)
24c	KP Glattstrich	22	9 (-13)
25c	KP Glattstrich	31	26 (-5)
36c	KSP Glattstrich	17	32 (+15)
38c	KSP Glattstrich	28	37 (+9)
79c	TP Glattstrich	26	32 (+6)
89c	TP Glattstrich	52	75 (+23)
89b	TP Glattstrich	65	62 (-3)
79h	TP Glattstrich	39	38 (-1)
Rand bei 31E	KP Glattstrich	94	77 (-17)
Rand bei 32A	KP Glattstrich	103	86 (-17)
Rand bei 32M	KP Glattstrich	120	109 (-11)
Rand bei 32E	KP Glattstrich	116	124 (+8)
Rand bei 34A	KP Glattstrich	115	109 (-6)
Rand bei 34M	KP Glattstrich	99	110 (+11)
Rand bei 34E	KP Glattstrich	92	100 (+8)
Rand bei 35A	KP Glattstrich	105	72 (-33)
Rand bei 35M	KP Glattstrich	122	95 (-27)
Rand bei 35E	KP Glattstrich	111	85 (-26)
Rand bei 36A	KP Glattstrich	102	67 (-35)
Rand bei 36M	KP Glattstrich	114	78 (-36)
Rand bei 31E	KP Glattstrich	94	80 (-14)
Rand bei 32A	KP Glattstrich	103	92 (-11)
Rand bei 32M	KP Glattstrich	120	119 (-1)
Rand bei 32E	KP Glattstrich	116	107 (-9)
Rand bei 34A	KP Glattstrich	115	117 (+2)
Rand bei 34M	KP Glattstrich	99	114 (+15)
Rand bei 34E	KP Glattstrich	92	110 (+18)
Rand bei 35A	KP Glattstrich	105	95 (-10)
Rand bei 35M	KP Glattstrich	122	119 (-3)
Rand bei 35E	KP Glattstrich	111	96 (-15)
Rand bei 36A	KP Glattstrich	102	88 (-14)
Rand bei 36M	KP Glattstrich	114	102 (-12)
34c	KP Agglo	39	49 (+10)
35c	KP Agglo	62	59 (-3)
37c	KP Agglo	73	75 (+2)
39c	KP Agglo	24	41 (+17)
34b	KP Agglo	35	33 (-2)
35b	KP Agglo	25	30 (+5)
37b	KP Agglo	50	54 (+4)
39b	KP Agglo	16	31 (+15)
58b	KP Agglo	25	33 (+8)
59b	KP Agglo	26	39 (+13)
60b	KP Agglo	28	40 (+12)

Tab. 43: Messwerte – Versuch 14, Kapitel 6.2

Bemerkung

Glattstrichsysteme: Die Werte für die Nachsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu niedrig im Vergleich zu den Eimer-Werten (durchschnittlich um $-6,2 \text{ mcd/m}^2\text{x}$, 34 Messwerte gesamt).

Strukturierte Systeme: Die Werte für die Nachsichtbarkeit sind bei der dynamischen Bewässerung tendenziell zu hoch im Vergleich zu den Eimer-Werten (durchschnittlich um $+7,4 \text{ mcd/m}^2\text{x}$, 11 Messwerte gesamt).

Eine Zusammenstellung der durchschnittlichen Abweichungen der Messwerte zu den vorher gemessenen Eimer-Werten ist in Tabelle 44 und 45 zu sehen.

Fazit

Nicht für jede denkbare Kombination von Düsen, Spritzbreiten und nachgeschalteten Verteilungssystemen (Quast, Lappen, ohne Verteilung) konnten Messdaten aufgenommen werden. Der Vorrat an trockener geeigneter Markierungsfläche war begrenzt. Auch wurden unterschiedlich viele Daten bei den einzelnen Varianten aufgenommen. Daher ist es schwierig, die unterschiedlichen Varianten eindeutig zu vergleichen. Bei manchen Varianten liegen nur wenige Daten vor, sodass die Unsicherheit durch die Streuung der Messwerte relativ groß ist.

Zunächst lag das Augenmerk auf den strukturierten Systemen, dies ist auch an der Anzahl der jeweiligen Messdaten ersichtlich. Es stellte sich im Verlauf der Messungen heraus, dass die Variante nach

Nr.	Versuch-Nr.	Fördermenge Wasser [ml/m ²]	Düsenanzahl	Benetzungsbreite [cm]	Messzeit [s]	Durchschnittliche Abweichung bei dynamischer Bewässerung [mcd/m ² x]		
						ohne Quast	mit Quast	mit Lappen
1	14	240	3	55	5-10	-6,2 (34)		
2	9	240	3	55	8-28		-5,7 (15)	
3	3, 6	330	3	40	4-24	-11,0 (4)	-11,0 (8)	
4	11, 12	338	4	55	8-28	±0 (1)		-15,0 (5)
5	13	420	5	55	8-28	-13,0 (1)		
6	4, 7	465	4	40	4-24	-3,5 (2)	-8,0 (2)	
7	5, 8	578	5	40	4-24	-11,0 (4)	-3,0 (3)	

(in Klammern: Anzahl der zugrunde liegenden Daten)

Tab. 44: Durchschnittliche Abweichungen der Messwerte bei dynamischer zu statischer Bewässerung von Glattstrichsystemen

Nr.	Versuch-Nr.	Fördermenge Wasser [ml/m ²]	Düsenanzahl	Benetzungsbreite [cm]	Messzeit [s]	Durchschnittliche Abweichung bei dynamischer Bewässerung [mcd/m ² x]		
						ohne Quast	mit Quast	mit Lappen
1	14	240	3	55	5-10	+7,4 (11)		
2	9	240	3	55	8-28		+11,0 (2)	
3	3, 6	330	3	40	4-24	+20,5 (16)	+8,1 (9)	
4	10, 11, 12	338	4	55	8-28	+37,8 (4)	+14,5 (40)	-8,5 (15)
5	13	420	5	55	8-28	-0,6 (49)		
6	4, 7	465	4	40	4-24	+9,7 (6)	+4,5 (2)	
7	5, 8	578	5	40	4-24	+5,1 (9)	+5,0 (1)	

(in Klammern: Anzahl der zugrunde liegenden Daten)

Tab. 45: Durchschnittliche Abweichungen der Messwerte bei dynamischer zu statischer Bewässerung von strukturierten Systemen

Versuch 13 die besten Übereinstimmungen zu den Sollwerten ergab (5 geöffnete Düsen, Benetzungsbreite: 55 cm, Fördermenge: 420 ml/m²). Es wurden insgesamt 49 Daten ausgewertet. Die durchschnittliche Abweichung des Mittelwertes aus den Sollwerten zum Mittelwert aus den Messwerten der dynamischen Messungen betrug hier -0,6 mcd/m²lx.

Die Abweichung der einzelnen Messwerte von den Eimer-Werten sind allerdings bei allen Versuchen recht hoch gewesen. Das liegt zum einen daran, dass die Messungen an unterschiedlichen Tagen mit unterschiedlichen Witterungsbedingungen durchgeführt wurden (s. Kapitel 6.1). Die Hauptursache für die Streuungen ist aber, dass bei den Sollwerten und den anschließenden Messwerten nach der dynamischen Bewässerung nicht exakt derselbe Messfleck gemessen wird. Eine Markierung weist jedoch auf einer Distanz von wenigen Zentimetern manchmal eine deutlich andere Nachsichtbarkeit auf, die durchaus im Bereich der hier zu beobachtenden Streuungen liegt. Entgegenwirken kann man dem nur, indem man die Anzahl der Daten erhöht und dadurch die Streuungen herausmittelt.

Bei den strukturierten Systemen kann festgestellt werden, dass die Wassermenge einen direkten Einfluss auf die gemessenen Werte hat. Vergleicht man die durchschnittliche Abweichung der Messwerte von den Sollwerten für die Versuche 3, 4 und 5, bei denen mit exakt derselben Anordnung bewässert wurde, außer dass unterschiedlich viele Düsen geöffnet wurden, so sieht man eine deutliche Verschiebung Richtung Sollwerte, wenn man von 3 geöffneten Düsen zu 5 geöffneten Düsen übergeht.

Je mehr Wasser sich auf der Markierung befindet, desto schlechter ist naturgemäß die Nachsichtbarkeit. Das vom Autoscheinwerfer eingestrahlte Licht kann durch eine dickere Wasserschicht nur noch eingeschränkt hindurchgelangen und wieder reflektiert werden. Befindet sich eine geschlossene Wasserdecke auf der Markierung, so geht die Nachsichtbarkeit oft gegen null. Aus diesem Grund darf die Markierung vor der dynamischen Bewässerung auch nicht feucht sein. Eine größere Wassermenge würde die Messwerte nach unten verfälschen. Eine Ausnahme von dieser Regel bilden Markierungen, die mit unter Wasser leuchtenden Reflexkörpern ausgestattet sind, die sich seit kurzem im Umlauf befinden (s. Kapitel 2).

Der Quast, der durch den Einsatz auf dem Boden kaum Verschleißerscheinungen aufweist, bewirkt eine Verschiebung der Messwerte zu geringeren Werten. Erklären kann man dies durch seine Wirkung: Der feuchte Quast verteilt das Wasser, das bereits abgeflossen ist, wieder auf der Oberfläche der Markierung, von wo aus es dann erneut erst abfließen muss. Beim Messvorgang ist also mehr Wasser auf der Markierung vorhanden als bei einer Messung ohne Wasserverteilung durch den Quast. Beim Lappensystem erscheint der Effekt noch deutlicher. Die Messwerte liegen hier nochmals erheblich unter den Messwerten mit Quasteinsatz. Im Laufe der Versuche hat sich ergeben, dass eine nachgeordnete Verteilung des Wassers durch ein Quast- oder Lappensystem nicht nötig ist. Das zu entwickelnde Messsystem soll möglichst einfach zu handhaben sein, daher wurde beschlossen, auf ein Verteilungssystem zu verzichten. Durch den Druck des Wassers, mit dem es aus den Düsen gepresst wird, wird das Wasser gut genug auf der Markierung verteilt.

Da bei den Glattstrichsystemen weniger Messdaten erfasst wurden, ist eine Auswertung hier schwieriger als bei den strukturierten Systemen. Eindeutig ist jedoch zu erkennen, dass die Messwerte bei den Glattstrichsystemen bei Verwendung derselben Bewässerungsvariante wie bei den strukturierten Systemen immer viel niedriger ausfallen. Dies ist z. B. bei Versuch Nr. 14 zu sehen. Bei einer Fördermenge an Wasser von 240 ml/m² beträgt die durchschnittliche Abweichung der Mess- von den Sollwerten bei den strukturierten Systemen +7,4 mcd/m²lx und bei den Glattstrichsystemen -6,2 mcd/m²lx. Bei allen gemessenen Werten für Glattstrichsysteme mit dem Bewässerungs-Prototyp wurden die Eimer-Werte jeweils unterschritten. D. h., dass bei Glattstrichsystemen ca. 240 ml/m² Wasser bei der dynamischen Bewässerung eingesetzt werden muss, um die Sollwerte der Eimermethode zu erreichen. Für die strukturierten Systeme sind dagegen ca. 400 ml/m² die richtige Wassermenge.

Die Ursache für diese unterschiedlichen einzusetzenden Wassermengen bei Glattstrich- und strukturierten Systemen liegt in der Oberflächenstruktur der Markierungen.

Bei der dynamischen Bewässerungsmethode wird nicht 60 s bis zur Messung der Nachsichtbarkeit bei Nässe gewartet, sondern es wird zeitnah nach der Bewässerung gemessen. In den ersten 5 s

nach der dynamischen Bewässerung kann das Wasser bei strukturierten Markierungen bereits zum Großteil abfließen. Bei Glatstrichsystemen dauert dieses länger. Daraus ergibt sich als Konsequenz, dass bei einer Messung, die 5 s nach der Bewässerung stattfindet, bei Glatstrichen von vornherein weniger Wasser verwendet werden muss. Außerdem benötigt eine strukturierte (größere) Oberfläche bei gleicher Wassermenge pro Fläche mehr Wasser.

6.3 Versuche mit dynamischer Bewässerung und dynamischer Messung

Es wurden drei Versuche mit dynamischer Bewässerung und dynamischer Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe durchgeführt. Dabei wurde der in Kapitel 5.1 konstruierte Prototyp zur dynamischen Bewässerung getestet in Kombination mit der anschließenden dynamischen Messung mit dem ZDR 6020 R_L.

1. Es wurde eine Messfahrt auf freier Strecke vorgenommen (s. Bild 63 und 64). Die dynamische Bewässerung erfolgte entsprechend Versuch 10, Kapitel 6.2. Gemessen wurde der rechte Rand auf der L 504, Torfhaus > Altenau ab km 4,8, mit dem ZDR 6020 R_L. Ein Vergleich mit vorher ermittelten 7 statischen Messungen (Eimermethode) sollte gezogen werden.

Die Werte, die bei der Messfahrt aufgenommen wurden, ergaben einen Durchschnittswert von 93 mcd/m²lx für die Nachtsichtbarkeit bei Nässe. Dieser niedrige Wert gegenüber dem mit der Eimermethode gemessenen Durchschnittswert von 421 mcd/m²lx konnte zunächst nicht begründet werden. Es stellte sich im Nachhinein heraus, dass die ausgewählte Strecke ungeeignet war, da hier eine Kaltspritzplastik mit speziellen Nachstreumitteln appliziert worden war, die sich bezüglich des Wasserablaufes und der Messwerte anders verhielt als die bisher getesteten Markierungstypen. Für einen Vergleich des Systems mit der Eimermethode sind Standardmaterialien zunächst besser geeignet. Die Werte für die Nachtsichtbarkeit bei Nässe laut Eimermethode waren auf der L 504 extrem hoch.

Bei der Testfahrt auf offener Strecke fuhr das Messfahrzeug in einer Entfernung von ca. 80 m



Bild 63: Bewässerungs- und Messfahrzeug im Einsatz von vorne



Bild 64: Bewässerungs- und Messfahrzeug im Einsatz von hinten

hinter dem Bewässerungsfahrzeug her. Bereits nach wenigen 100 m drängte sich ein anderes Fahrzeug zwischen die beiden. Hier wäre eine Hinweistafel mit Blinkpfeil sowohl auf dem Mess- als auch auf dem Bewässerungsfahrzeug sicher hilfreich.

2. Einen Tag später wurde auf derselben Strecke eine weitere Testfahrt entsprechend Versuch 1, Kapitel 6.3, absolviert.

Diese Messfahrt brachte viele Erkenntnisse für den praktischen Einsatz des Messprinzips: Die Fahrbahn und die Markierung waren nach 500 m noch nass von vorherigem Regen. Da es bereits gegen Abend war, stand die Sonne in Fahrtrichtung tief. Die Messungen setzten zeitweilig immer wieder aus (Anzeige: 0 mcd/m²lx), bevor wieder ein Messwert generiert wurde. Hier konnte man erkennen, dass dem Messen der Nachtsichtbarkeit bei Nässe im dynamischen Verfahren bei gewissen Witterungsbedingungen Grenzen gesetzt sind. Im Unterschied zu den

Handgeräten, die meistens die Messung unter dem Messgerät vornehmen, misst das ZDR 6020 R_L in 6 m Entfernung vor dem Messgerät, also außerhalb des Gerätes. Fährt man jetzt mit dem Messfahrzeug auf die tief stehende Sonne (oder andere flach einstrahlende starke Lichtquellen) zu, so kann die direkte Reflexion durch Glanz, hervorgerufen durch die nasse Oberfläche, so stark sein, dass keine Markierung mehr erkannt wird (s. Bild 65). Diese Schwierigkeit, die der Betrachter hat, gibt es auch für den Messsensor. Einerseits ist es dann nicht mehr möglich, die Markierung durch höhere Reflexionswerte von der Straße zu unterscheiden, was ein wichtiger Bestandteil des Messverfahrens ist, andererseits können eventuell die sehr hohen Signale den für normale Retroreflexionswerte optimierten Messbereich verlassen. Dabei ist zu bedenken, dass die erwarteten Messwerte für die Nachsichtbarkeit bei Nässe relativ gering sind. Diese Situationen können jedoch leicht automatisch ausgeklammert werden. An allen Stellen, an denen ein eindeutiges Erkennen der Markierung nicht möglich ist, sei es bei zu starkem Gegenlicht oder aus anderen Gründen, wird kein Messwert generiert. Auf den parallel aufgezeichneten Bildern ist dann die Ursache für die Messaussetzer zu sehen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass das Messsystem angepasst werden kann, um solche Situationen mit zu erfassen. Mit dem System im aktuellen Stand muss zunächst auf eine Messung verzichtet bzw. es kann dann nur in Gegenrichtung gemessen werden.

Während der Messfahrt gab es noch drei weitere Probleme: Der Verbindungsschlauch von der Pumpe zur Spritzeinheit lag so tief auf dem Boden, dass er während der Fahrt durchgeschauert wurde und ein Leck die Folge war. Zusätzliches Wasser strömte unkontrolliert auf die Fahrbahn bzw. die Markierung. Der Schlauch muss also zukünftig besser gesichert werden. Außerdem wurde bei dieser ersten längeren Fahrt mit dynamischer Nassmessung festgestellt, dass die Messoptik während der Fahrt zunehmend durch Spritzwasser verschmutzt. Die beiden rechten Autoreifen des Messfahrzeugs fahren teilweise über die bewässerte Fläche, schleudern das Wasser inklusive Straßendreck hoch und das Wasser landet nach und nach auf der Messoptik. Dieses Problem bestand bei den Trockenmessungen bislang noch nicht. Ein Ver-



Bild 65: Glanzproblematik

such, bei dem mit einer Spritzflasche Wasser kontrolliert auf die Messoptik gespritzt wurde, bis diese mit Wasser gesättigt war, ergab ein Absinken des Messwertes auf einem Standard um ca. 10-20 %. Die Verschmutzung während der Messfahrt war jedoch nicht so stark wie bei dieser Simulation. Das Verschmutzungsproblem kann jedoch durch den Einsatz einer Haube über der Messoptik verringert werden.

Ein weitaus größeres Problem stellt die benötigte Wassermenge dar. Bei einem Durchfluss von 2,2 l/s ist der 1.000 l fassende Wassertank nach ca. 7½ min oder auch 7,5 km Streckenlänge leer. Bei einem Durchfluss von 3,85 l/s ist dies bereits nach gut 4 min oder auch ca. 4 km der Fall. Selbst wenn ein Bewässerungsfahrzeug einen Wassertank von 3.000 l transportieren könnte, ist das Problem nicht grundsätzlich gelöst. Um eine Markierung flächendeckend messen zu können, wird sehr viel Wasser benötigt. Gerade für Messungen in der Praxis stellt die Wasserbeschaffung ein Problem dar. Die Messungen an Markierungen werden oft in fremden Regionen durchgeführt, in denen man sich nicht auskennt. Dann kann die Wasserversorgung schwierig sein.

3. Entsprechend Versuch 1, Kapitel 6.3, wurde nun die Randmarkierung auf dem Winterdienstprüffeld auf der B 4 bei Torfhaus dynamisch bewässert und dynamisch gemessen (s. hierzu auch Vorversuche, Kapitel 4.11). Die Markierung bestanden hier im Gegensatz zu den vorherigen Versuchen in Kapitel 6.3 aus Standardmaterialien. Die dynamische Bewässerung erfolgte entsprechend Versuch 14, Kapitel 6.2, mit 240 ml/m². Auf statische Messungen im An-

schluss wurde hier verzichtet. Die dynamischen Messungen wurden dann mit den zuvor frisch ermittelten Eimerwerten verglichen.

Für die Glattstrichmarkierung wurde eine Strecke von 70 m, entsprechend der Randmarkierung in Höhe der Prüffeldmuster 9 Ende bis 32 Ende, ausgewählt. Folgende durchschnittlichen Messergebnisse wurden erhalten:

- R_L Eimer: 90,2 mcd/m²lx,
- R_L nass dyn: 67,4 mcd/m²lx.

Für die Agglomeratmarkierung wurde eine Strecke von 180 m, entsprechend der Randmarkierung in Höhe der Prüffeldmuster 40 Anfang bis 99 Ende, ausgewählt. Folgende durchschnittlichen Messergebnisse wurden erhalten:

- R_L Eimer: 144,0 mcd/m²lx,
- R_L nass dyn: 117,7 mcd/m²lx.

Sowohl beim Glattstrichsystem als auch beim Agglomeratsystem waren die durchschnittlichen Messwerte der dynamischen Bewässerung und dynamischen Messungen zu gering gegenüber den statischen Messungen nach der Eimermethode. Dies ist zumindestens für das Agglomeratsystem überraschend, da in den vorherigen Versuchen eine Wassermenge von ca. 400 ml/m² hierfür als angemessen gefunden worden war (s. Kapitel 6.2). Auch im Vergleich mit den Versuchen aus Kapitel 4.11, bei denen eine Wassermenge von 400 ml/m² eingesetzt worden war, sind die jetzt niedrigeren Werte (trotz der jetzt – einige Monate später – sogar höheren Eimerwerte) nicht erklärbar. Da nur eine Messfahrt durchgeführt wurde, kann es sich aber auch um einen Fehler bei der Messung (beispielsweise Fehlkalibrierung und/oder falsche Bewässerungsmenge) handeln. Es ist auch nicht auszuschließen, dass je nach Oberflächenbeschaffenheit der Markierung weitere Differenzierungen bezüglich der Wassermenge erfolgen müssen. Weitere Messreihen/Untersuchungen diesbezüglich sollten durchgeführt werden.

7 Zusammenfassung

Ziel des im vorliegenden Bericht vorgestellten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens war die Identifikation einer dynamischen Messmethode zur Er-

fassung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe von Markierungen, die mit den derzeit verwendeten statischen Messmethoden korreliert.

Die Literaturlauswertung sowie weitere Recherchen ergaben, dass zur dynamischen Messung der Nachtsichtbarkeit (trocken) entsprechend der 30-m-Geometrie derzeit weltweit vier verschiedene dynamische Messgerätetypen im Einsatz sind:

- Ecodyn,
- ZDR 6020 R_L ,
- Laserlux,
- LTL-M.

Für die Messung der Nachtsichtbarkeit unter Bedingungen bei Regen gibt es Ansätze einer französischen Arbeitsgruppe. Dieses Messverfahren ist allerdings nur für eine Geschwindigkeit von maximal 20 km/h ausgelegt. Hier wurde mit einer Wassermenge von 460 ml/m² gearbeitet.

Für die Messung der Nachtsichtbarkeit unter Bedingungen bei Feuchtigkeit wurde auf der Intertraffic, Amsterdam, im April 2010 ein neues Verfahren der Fa. Ramböll aus Schweden vorgestellt, das die Nachtsichtbarkeit unter Bedingungen bei Feuchtigkeit jedoch nicht misst, sondern aus den mit Hilfe des LTL-M dynamisch gemessenen Daten der Nachtsichtbarkeit (trocken) sowie der durch Laser abgetasteten Oberflächentextur berechnet. Dies soll bislang nur bei profilierten Markierungen funktionieren und ist deshalb für die Vielzahl von Markierungssystemen, die in Deutschland zum Einsatz kommen, nicht geeignet.

Die im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Versuche konzentrierten sich auf eine Zielgeschwindigkeit von 60 km/h. Auf Grundlage der bereits existierenden dynamischen Messverfahren für die Nachtsichtbarkeit (trocken) war in den Versuchen insbesondere zu klären, in welcher Art und Weise die vor der Messung durchzuführende Bewässerung beschaffen sein muss. Vorrangig ging es dabei um die aufzubringende Wassermenge pro Quadratmeter. Außerdem war die Art der Aufbringung (Düsenform, Grad der Zerstäubung) zu klären sowie eine eventuell im Anschluss notwendige gleichmäßige Verteilung des Wassers (beispielsweise durch eine Stoffwalze, Pinsel, Quaste). Auch die Zeitspanne war zu bestimmen, in der nach der Bewässerung gemessen werden muss.

Die Vorversuche führten zu folgenden Ergebnissen:

- Die Bewässerungseinheit und die Messoptik müssen in zwei getrennten Fahrzeugen untergebracht werden. Bei einer Veränderung des Messwinkels zur Verkürzung der Messdistanz, erforderlich bei Benutzung nur einer Fahrzeug-einheit, verkleinert sich sonst auch der Mess-fleck. Dies stellte sich bei Geschwindigkeiten > 50 km/h als Problem heraus, da die zu beur-teilende Markierung schon bei kleinen Lenk-bewegungen aus dem Messbereich läuft.
- Die an die Markierung links und rechts angren-zende Asphalt- oder Betondecke muss ebenfalls bewässert werden, um eine exakte Abgrenzung der Markierung zur Decke zu erhalten.
- Mit verschiedenen Düsen- und Pumpenkombi-nationen wurden der Wasserdurchfluss, der er-forderliche Spritzdruck und die Benetzung der Straße getestet und die Versuchsstrecke, das Markierungsprüffeld auf der B 4 bei Torfhaus, mit diesen Systemen dynamisch bewässert. Im Anschluss an die Bewässerung wurde sofort mit einem Handgerät die Nachtsichtbarkeit bei Nässe gemessen. Durch den Vergleich zu den mit der Eimermethode ermittelten Werten konn-te die beste Kombination für die dynamische Be-wässerung ermittelt werden. Bei einer Fahr-geschwindigkeit von 60 km/h und einer Benet-zungsbreite von 35 cm ergab sich eine Gesamt-wasserfördermenge von 8.400 l/h (entspre-chend 140 ml/m oder 400 ml/m²) als Optimum.
- Ein Vergleich der Ergebnisse einer dynamischen Messung mit dem ZDR 6020 R_L nach dynami-scher Bewässerung, die sich in den o. g. Versu-chen als optimal herausgestellt hatte, ergab bei einer Kaltplastik-Agglomeratmarkierung eine gute Übereinstimmung zur Eimermethode. Bei einer Kaltplastik-Glattstrichmarkierung waren die Messwerte bei der dynamischen Bewässerung mit dieser Wassermenge zu niedrig.

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurde ein Prototyp für die dynamische Bewässerung ent-wickelt. Mit einer Höhenverstellung war es möglich, sowohl die Benetzungsbreite als auch die aufge-brachte Wassermenge stufenlos zu regulieren. Aus einem 1.000 l fassenden Wassertank wurde das Wasser mit Hilfe einer leistungsfähigen Pumpe durch insgesamt 6 Düsen, die teilweise auch abge-stellt werden konnten, auf die Markierung befördert. Im Anschluss an die eigentliche Bewässerung

konnte optional noch ein Quast- bzw. Lappen-system nachgeschaltet werden.

Mit Hilfe dieses Prototyps wurden nun die Haupt-versuche durchgeführt.

Als optimales Zeitfenster zwischen der dynami-schen Bewässerung und der dynamischen Mes-sung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe der Markie-rung wurden 5-10 s ermittelt. Dies entspricht einem Abstand von 84 bis 167 m zwischen Bewässe-rungs- und Messfahrzeug, wenn beide mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h fahren.

Auf der Versuchsstrecke im Harz wurden umfang-reiche Testfahrten mit der Bewässerungseinheit durchgeführt. Nur durch eine Vielzahl von Daten können die Messwerte, die mit der statischen Eimermethode gewonnen wurden, mit den dynami-schen Messwerten verglichen werden, weil die Messungen mit der Eimermethode selbst stark streuen. Die besten Übereinstimmungen mit den Sollwerten nach der Eimermethode ergab bei strukturierten Markierungen folgende Versuchs-anordnung: 5 geöffnete Düsen, Benetzungsbreite: 55 cm, Fördermenge: 420 ml/m². Dies entspricht in etwa den Erkenntnissen der Vorversuche. Die durchschnittliche Abweichung des Mittelwertes aus den Sollwerten zum Mittelwert aus den Mess-werten der dynamischen Messungen betrug hier -0,6 mcd/m²lx. Für Glattstrichmarkierungen konnte noch keine optimale Versuchs-anordnung ermittelt werden. Allerdings muss eindeutig erheblich weni-ger Wasser für Glattstrichsysteme verwendet wer-den als für strukturierte Markierungen. Nach derzei-tigem Kenntnisstand wird eine Wassermenge von etwas weniger als 240 ml/m² nötig sein.

Ein nachgeschaltetes Wasserverteilungssystem nach der eigentlichen Bewässerungseinheit stellte sich als unnötig heraus.

Folgende Probleme kristallisierten sich erst bei Testfahrten auf offener Strecke heraus: Dem Mes-sen der Nachtsichtbarkeit bei Nässe im dynami-schen Verfahren sind bei gewissen Witterungsbe-dingungen Grenzen gesetzt. Im Unterschied zu den Handgeräten, die meistens die Messung unter dem Messgerät vornehmen, messen dynamische Mess-geräte in einer gewissen Entfernung vor dem Mess-kopf, also außerhalb des Gerätes. Fährt man jetzt mit dem Messfahrzeug auf die tief stehende Sonne (oder andere flach einstrahlende starke Lichtquel-len) zu, so kann die direkte Reflexion durch Glanz so stark sein, dass keine Markierung mehr erkannt

wird. Diese Schwierigkeit, die der Betrachter hat, gibt es auch für den Messsensor. Einerseits ist es dann nicht mehr möglich, die Markierung durch höhere Reflexionswerte von der Straße zu unterscheiden, was ein wichtiger Bestandteil des Messverfahrens ist, andererseits können eventuell die sehr hohen Signale den für normale Retroreflexionswerte optimierten Messbereich verlassen.

Es wurde zudem festgestellt, dass die Messoptik während der Fahrt zunehmend durch Spritzwasser verschmutzt. Die beiden rechten Autoreifen des Messfahrzeugs fahren teilweise über die bewässerte Fläche, schleudern das Wasser hoch und das dreckige Wasser landet nach und nach auf der Messoptik. Dieses Problem bestand bei den Trockenmessungen bislang noch nicht, da diese nur bei trockener Straßenoberfläche durchgeführt werden.

Je mehr Wasser sich auf der Markierung befindet, desto schlechter ist naturgemäß die Nachtsichtbarkeit. Das vom Autoscheinwerfer eingestrahlte Licht kann durch eine auf der Markierung befindliche Wasserschicht nur noch eingeschränkt hindurchgelangen und wieder reflektiert werden. Befindet sich eine geschlossene Wasserdecke auf der Markierung, so geht die Nachtsichtbarkeit oft gegen null. Aus diesem Grund darf die Markierung vor der dynamischen Bewässerung auch nicht feucht sein. Eine größere Wassermenge würde die Messwerte nach unten verfälschen. Eine Ausnahme von dieser Regel bilden Markierungen, die mit unter Wasser leuchtenden Reflexkörpern ausgestattet sind, die sich seit kurzem im Umlauf befinden.

8 Bewertung

Das in der Aufgabenstellung beschriebene Ziel des vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsvorhabens ist erreicht worden. Die Identifikation einer dynamischen Messmethode zur Erfassung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe ist gelungen.

Es wurden die in Europa entwickelten dynamischen Messmethoden für die Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe identifiziert und es wurde geprüft, inwieweit sie in Deutschland anwendbar sind. Das schwedische Ramböll-System ist für die Vielzahl an Markierungssystemen, die in Deutschland verlegt werden, nicht geeignet. Die Nachtsichtbarkeit unter Bedingungen bei Feuchtigkeit wird hierbei nicht gemessen, sondern aus den mit Hilfe des LTL-M dynamisch gemessenen Daten

der Nachtsichtbarkeit (trocken) sowie der durch Laser abgetasteten Oberflächentextur berechnet. Das System kann bislang nur für profilierte Systeme angewendet werden. Die französische Variante zur Messung der Nachtsichtbarkeit bei Regen basiert auf der statischen Messmethode der Nachtsichtbarkeit bei Regen und nicht der Nachtsichtbarkeit bei Nässe und scheidet wegen der zu geringen Fahrgeschwindigkeit aus. Der hier vorhandene Ansatz zur dynamischen Bewässerung der Markierung wurde aufgegriffen und für die Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe neu bzw. weiterentwickelt. Die durchgeführten Versuche mit dem Prototyp für die dynamische Bewässerung zeigten teilweise bereits eine gute Übereinstimmung zu den etablierten statischen Messmethoden.

Das entwickelte System zur dynamischen Bewässerung ist jedoch noch nicht uneingeschränkt zum Einsatz in der Praxis bereit. Es stellte sich heraus, dass auf strukturierten Systemen und auf Glattstrichsystemen unterschiedliche Wassermengen eingesetzt werden müssen. Die Vergleichbarkeit zur statischen Methode gilt bislang nur für strukturierte Systeme und nicht für Glattstrichsysteme. Es müssen daher noch weitere Reihenuntersuchungen bezüglich der Korrelation zu den Messungen nach der Eimermethode durchgeführt werden.

9 Folgerung für die Praxis

Bei der dynamischen Bewässerung und anschließenden dynamischen Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe einer Markierung muss vor Beginn der Messungen ermittelt werden, ob es sich bei der zu messenden Markierung um eine strukturierte Markierung oder ein Glattstrichsystem handelt. Je nach Oberflächenbeschaffenheit der Markierung muss eine andere Wassermenge pro Quadratmeter aufgebracht werden. In der Praxis ist es jedoch, zumindest während der Fahrt aus dem Auto heraus, nicht einfach zu erkennen, wo ein bestimmtes Markierungssystem beginnt bzw. endet. Markierungen werden oft stückweise erneuert. Teilweise ist nicht mehr nachvollziehbar, welche Art Markierung zu welcher Zeit in einem zu messenden Abschnitt appliziert worden ist. Dies kann in der Praxis also problematisch sein.

Die Bewässerungseinheit und der Messkopf werden in zwei getrennten Fahrzeugen untergebracht, die bei 60 km/h im Verkehr schwimmend in einem Ab-

stand von 84 bis 167 m hintereinander fahren. Auch der an die Markierung angrenzende Straßenbelag muss mit bewässert werden, um eine exakte Abgrenzung zwischen Markierung und Decke zu erhalten.

Für die dynamische Bewässerung wird mehr Wasser benötigt als zunächst angenommen. Bei einer Fahrt bei 60 km/h werden bei einem Wasserdurchfluss von 3,85 l/s innerhalb von 4 min oder auch 4 km Streckenlänge ca. 1.000 l Wasser verbraucht. Selbst wenn ein Bewässerungsfahrzeug einen Wassertank von 3.000 l transportieren könnte, ist das Problem nicht grundsätzlich gelöst. Um eine Markierung flächendeckend messen zu können, wird einfach zu viel Wasser benötigt. Gerade für Messungen in der Praxis stellt die Wasserbeschaffung ein Problem dar. Die Messungen an Markierungen werden oft in für das Prüfinstitut fremden Regionen durchgeführt, in denen man sich nicht auskennt. Dann ist es extrem schwierig, Wasser zu beschaffen, vor allem nicht in den benötigten Mengen.

Daher wird eine flächendeckende dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe mit dynamischer Bewässerung wahrscheinlich nicht möglich sein. Empfehlenswert ist eine abwechselnde Messung der Nachtsichtbarkeit trocken und der Nachtsichtbarkeit bei Nässe. Beispielsweise könnte auf jedem Kilometer eine Strecke von 50-100 m nass gemessen werden.

Weitere Einschränkungen sind bei der vorgestellten Messmethode zu beachten. Eine Messung bei tiefstehender Sonne im Gegenlicht ist wegen der direkten Reflexion des Lichtes an der feuchten Oberfläche nicht möglich. Es ist nicht ausgeschlossen, dass das Messsystem angepasst werden kann, um solche Situationen mit zu erfassen. Mit dem System im aktuellen Stand muss zunächst auf eine Messung verzichtet bzw. es kann dann nur in Gegenrichtung gemessen werden.

Auch darf die Markierung vor der Bewässerung nicht schon feucht gewesen sein. Eine Verschmutzung der Messoptik durch aufgewirbeltes Schmutzwasser muss durch geeignete Maßnahmen verhindert werden. Das Verschmutzungsproblem kann durch den Einsatz einer Haube über der Messoptik und andere geeignete Maßnahmen verringert werden.

Es ist zu beachten, dass dynamische Messungen stets eine Zustandserfassung der jeweiligen verkehrstechnischen Eigenschaft darstellen. Die Messwerte geben wieder, wie der Verkehrsteilneh-

mer die Markierung zum Zeitpunkt der Messungen wahrnimmt. Sie beinhalten jedoch keine Aussage über die tatsächliche Qualität der Markierung. Messwerte können durch äußere Einwirkungen beeinflusst werden, beispielsweise Schmutz, Salz oder Feuchtigkeit auf der Markierung. Für eine Qualitätskontrolle der Markierungen wird auf statische Messungen und eine Betrachtung der Markierung aus der Nähe nicht verzichtet werden können.

10 Ausblick

Das vorgelegte System zur dynamischen Messung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe von Markierungen ist noch nicht uneingeschränkt zum Einsatz in der Praxis bereit. Daher wird vorgeschlagen, die Messmethode im Anschluss an dieses Forschungsprojekt im Großversuch zu überprüfen.

Die genaue Bestimmung der benötigten Wassermenge für strukturierte Markierungen bzw. Glattstrichsysteme ist möglich, wenn eine Vielzahl von Vergleichsmessungen durchgeführt wird. Es ist nicht auszuschließen, dass weitere Differenzierungen bezüglich der Wassermenge, abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit der Markierungen, erfolgen müssen. Dies gilt es ebenfalls näher zu untersuchen.

Weiterhin müssen geeignete Maßnahmen zur Verhinderung der Verschmutzung der Messoptik durch aufgewirbeltes Schmutzwasser entwickelt werden.

Es ist sicherlich möglich, die Messmethodik anhand weiterer Untersuchungen so zu modifizieren, dass sie später bei der Funktionsinspektion von Markierungen, zumindest abschnittsweise, angewendet werden kann.

11 Messgeräte und Messdaten

In diesem Kapitel werden die verwendeten Messgeräte und weitere Daten zu den durchgeführten Versuchen aufgeführt. Tabellen mit den Einzelmesswerten der einzelnen Versuche werden dem Auftraggeber in digitaler Form zur Verfügung gestellt.

11.1 Messgeräte

Folgende Messgeräte wurden im Rahmen des vorliegenden Forschungsauftrages verwendet:

- zur dynamischen Messung der Retroreflexion: Messkopf des ZDR 6020 R_L, Fa. Zehntner, Seriennummer 426020998 (s. Bild 66),



Bild 66: Messkopf des ZDR 6020 R_L

- zur statischen Messung der Retroreflexion:
 - ZRM 6013, Fa. Zehntner, Seriennummer 426013861 (s. Bild 67),
 - ZRM 6013, Fa. Zehntner, Seriennummer 406013989 (s. Bild 67),
 - ZRM 6014, Fa. Zehntner, Seriennummer 440006014 (s. Bild 68),
 - ZRM 1013+, Fa. Zehntner, Seriennummer 341013957 (s. Bild 45),
 - LTL 2000 SQ, Fa. Delta Light & Optics, Seriennummer 119U (s. Bild 69),
 - LTL-XL, Fa. Delta Light & Optics, Seriennummer 175 (s. Bild 70).



Bild 67: ZRM 6013



Bild 69: LTL 2000 SQ (links im Bild)



Bild 68: ZRM 6014

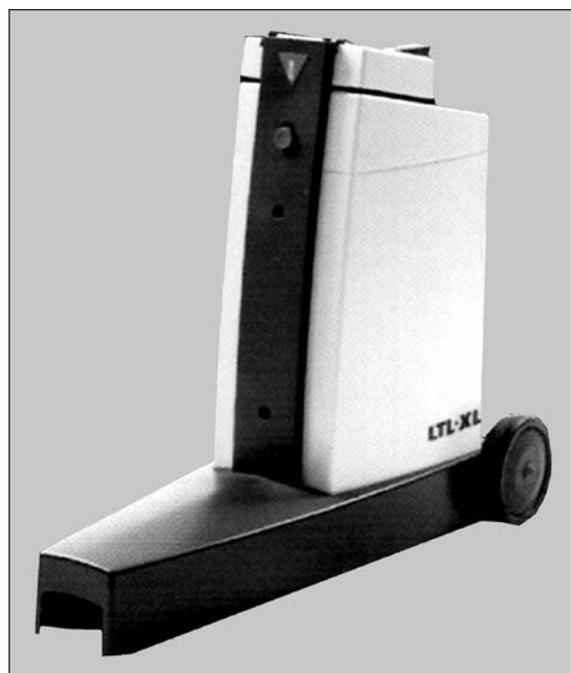


Bild 70: LTL-XL

11.2 Messdaten

11.2.1 Messdaten zu Kapitel 4.5 „Benötigte Wassermenge bei 60 km/h“

Messung 1

Mit der Gardena-Regulier-Spritze wurde Standard 1 flächendeckend bewässert.

- Ermittelte Wassermenge pro Zeit:
 - 9,5 l in 60 s = 0,16 l/s,
 - 2 m in 10 s = 0,2 m/s = 5 s/m,
 - 0,16 l/s x 5 s/m = 0,80 l/m,
 - für 60 km/h (= 16,7 m/s) 0,80 l/m x 16,7 m/s = 13,36 l/s.

Messung 2

Mit der Gardena-Regulier-Spritze wurden auf Blech applizierte Markierungen flächendeckend bewässert.

- Ermittelte Wassermenge pro Zeit:
 - 2,9 l in 100 s = 0,029 l/s,
 - 1,5 m in 11 s = 0,1364 m/s = 7,33 s/m,
 - 0,029 l/s x 7,33 s/m = 0,213 l/m,
 - für 60 km/h 0,213 l/m x 16,7 m/s = 3,56 l/s.

Messung 3

Mit zwei Gardena-180°-Düsen wurden auf Blech applizierte Markierungen flächendeckend bewässert.

- Ermittelte Wassermenge pro Zeit:
 - 2 l in 100 s = 0,02 l/s,
 - 2 m in 11 s = 0,18 m/s = 5,5 s/m,
 - 0,02 l/s x 5,5 s/m = 0,11 l/m,
 - für 60 km/h 0,11 l/m x 16,7 m/s = 1,84 l/s.

Messung 4

Mit einer Gardena-90°-Düse, 38 cm Breite, wurden auf Blech applizierte Markierungen flächendeckend bewässert.

- Ermittelte Wassermenge pro Zeit:
 - 1,3 l in 100 s = 0,013 l/s,
 - 2 m in 12 s = 0,167 m/s = 6 m/s,
 - 0,013 l/s x 6 m/s = 0,078 l/m,
 - Für 60 km/h 0,078 l/m x 16,7 m/s = 1,3 l/s.

11.2.2 Messdaten zu Kapitel 4.8 „Messung R_L und Q_d auf verschiedenen Untergründen“

Fotos zu den Messstellen 1 bis 14

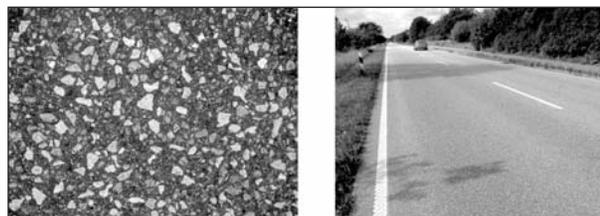


Bild 71: Messstelle 1, B 432, Abschnitt 360, km 1,5 bei Rand li, Untersteenrade > Holstendorf, Bereich AM/SM Scharbeutz, Asphalt hell



Bild 72: Messstelle 2, BAB A 24, Rasthof Gudow Süd, Durchfahrspur, Asphalt hell

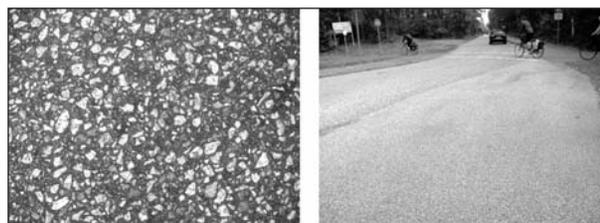


Bild 73: Messstelle 3, B 191, NK 2635, Abschnitt 110, km 2,2 bei Abzweig Ludwigslust > Neustadt-Glewe, Bereich SM Ludwigslust, Asphalt hell



Bild 74: Messstelle 4, B 191, NK 2635, Abschnitt 110, km 1,0 bei Rand re Ludwigslust > Neustadt-Glewe, Bereich SM Ludwigslust, Asphalt dunkel



Bild 75: Messstelle 5, B 191, NK 2635, Abschnitt 110, km 0,6 bei Rand li, Ludwigslust > Neustadt-Glewe, Bereich SM Ludwigslust, Asphalt dunkel



Bild 76: Messstelle 6, BAB A 44, Rasthof am Haarstrang, Süd, Waschbeton ohne Besenstrich



Bild 77: Messstelle 7, BAB A 44, Rasthof Soester Börde, Süd, Waschbeton ohne Besenstrich, dunkle Steine

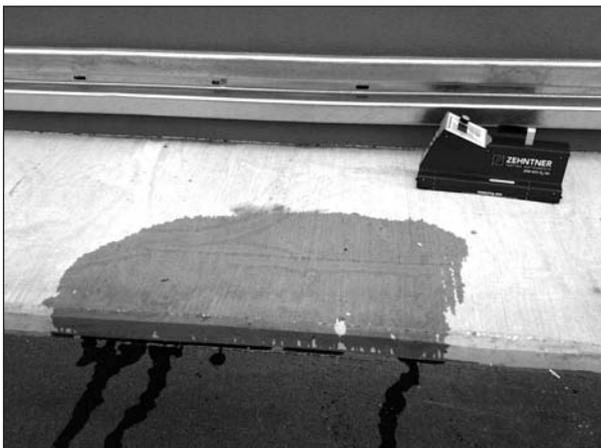


Bild 78: Messstelle 8, Parkdeck Centrum Galerie Dresden, Werte unabhängig von Richtung zu Besenstrich, Beton ganz neu



Bild 79: Messstelle 9, Beton ziemlich neu am Rastplatz



Bild 80: Messstelle 10, Parkplatz bei Pocking, Beton ziemlich rau



Bild 81: Messstelle 11, Betonpflaster in Rellingen, ziemlich neu



Bild 82: Messstelle 12, Asphalt mit teilweise hellem Splitt

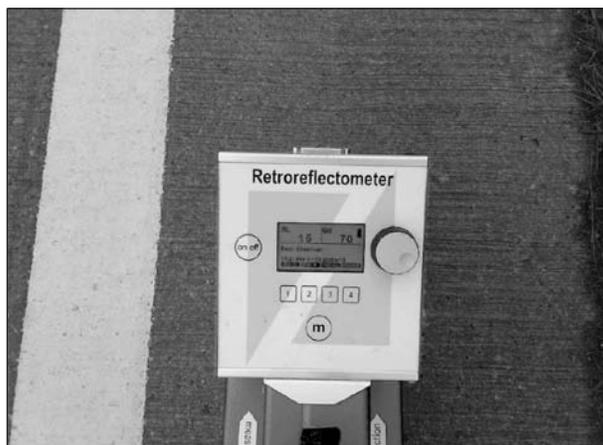


Bild 83: Messstelle 13, Beton normal mit Besenstrich



Bild 84: Messstelle 14, Gussasphalt mit buntem Splitt

11.2.3 Messdaten zu Kapitel 4.9 „Ermittlung des Wasserdurchflusses bei verschiedenen Kombinationen von Pumpen und Düsen“

Daten zu den Pumpen

1. Tauchpumpe Gardena TP 300
 Kenndaten: 300 W
 maximum: 150 l / min = 9.000 l/h = 9,0 m³/h
 6,5 m Wassersäule = 0,65 bar
2. Pumpe Jets 110 M
 Kenndaten: 1.000 W
 maximum: 70 l/min = 4.200 l/h = 4,2 m³/h
 48 m Wassersäule = 4,8 bar
3. Pumpe CMJ C-BA 800
 Kenndaten: 800 W
 maximum: 55 l/min = 3.300 l/h = 3,3 m³/h
 40 m Wassersäule = 4,0 bar

Folgender Wasserdurchfluss wurde jeweils ermittelt:

Versuche mit Tauchpumpe Gardena TP 300

- a) ohne Düse (nur Schlauch)
 ca. 2 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll
 Messwert: 10 l/5 s
 Ergebnis: 2 l/s = 120 l/min = 7.200 l/h

Bemerkung

Bei einer Fahrt mit 20-40 km/h plus Quaste im Nachgang: Breite ca. 30 cm, es schien genügend Wasser zu sein.

- b) ohne Düse
 ca. 3 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll
 Messwert: 13 l/8,5 s
 Ergebnis: 1,53 l/s = 91,8 l/min = 5.500 l/h

- c) mittlere Düse
 ca. 3 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll
 Messwert: 10 l/12 s
 Ergebnis: 0,83 l/s = 50 l/min = 3.000 l/h

Bemerkung

Anschließend wurde der Filter gereinigt und der Versuch erneut durchgeführt. Der verstopfte Filter hatte keinen Einfluss auf die geförderte Wassermenge.

- d) Doppeldüse (mittlere Düse + breite Düse)
 ca. 3 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll
 Messwert: 14 l/8,5 s
 Ergebnis: 1,65 l/s = 98,8 l/min = 5.930 l/h

- e) Doppeldüse (mittlere Düse + breite Düse)
 ca. 2 m Schlauchlänge, Durchmesser 1 Zoll
 Messwert: 17 l/10 s
 Ergebnis: 1,7 l/s = 102 l/min = 6.120 l/h

Versuche mit Pumpe Jets 110 M

- f) ohne Düse
 ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe
 ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser ¾ Zoll
 Messwert: 10 l/11 s
 Ergebnis: 0,91 l/s = 54,6 l/min = 3.270 l/h

g) ohne Düse
ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe
ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll
Schlauch durch Quaste durch (0,8 bar)

Messwert: 9 l/11 s
Ergebnis: 0,82 l/s = 49,1 l/min = 2.950 l/h

h) mittlere Düse
ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe
ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser $\frac{3}{4}$ Zoll

Messwert: 10 l/11,5 s
Ergebnis: 0,87 l/s = 52,2 l/min = 3.130 l/h

i) kleine Düse
ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe
ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll

Messwert: 10 l/15 s
Ergebnis: 0,67 l/s = 40 l/min = 2.400 l/h

j) kleine Düse
ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe
ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser $\frac{3}{4}$ Zoll

Messwert: 11 l/16 s
Ergebnis: 0,68 l/s = 41,3 l/min = 2.460 l/h

Versuche mit Pumpe CMJ C-BA 800

k) ohne Düse
ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe
ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll

Ergebnis: 0,71 l/s = 42,9 l/min = 2.570 l/h

l) breite Düse
ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe
ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll

Ergebnis: 0,67 l/s = 40 l/min = 2.400 l/h

m) mittlere Düse
ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe
ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll

Ergebnis: 0,66 l/s = 39,4 l/min = 2.360 l/h

n) kleine Düse
ca. 2 m Ansaugschlauch, Durchmesser 1 Zoll zur Pumpe
ca. 3 m Auslaufschlauch, Durchmesser 1 Zoll

Ergebnis: 0,44 l/s = 26,4 l/min = 1.580 l/h

12 Literatur

- [1] Mündliche Angaben von Dr. Harald Guder, Geschäftsführer der Limburger Lackfabrik GmbH, Diez
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen, Ausgabe 2002 (ZTV M 02), Köln
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen, Schlussfassung 23.05.2012, (ZTV M 12)
- [4] DIN EN 1436:2007 + A1:2008: Straßenmarkierungsmaterialien – Anforderungen an Markierungen auf Straßen. Berlin 2009
- [5] www.dsgs.de/uploads/archiv/liste_messgeraete_32012.pdf
- [6] MESEBERG, H.-H.; GOERNER, E. W.: Methoden zur Messung der Retroreflexion von Fahrbahnmarkierungen, Schriftenreihe der Deutschen Studiengesellschaft der Hersteller von Markierungsglasperlen (DSGM), Heft 5, Essen, 1984
- [7] http://www.lcpc.fr/fr/produits/materiels_mlpc/fiche.dml?id=44&type=abcaire#eco
- [8] http://www.mechatronic-traffic.de/de/06/line_in.html
- [9] http://www.zehntner.com/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=12&lang=de=goto_zdr6020
- [10] http://www.roadvista.com/products/laser/laser_luxcen30.shtml
- [11] http://www.madebydelta.com/delta/Business_units/LO/Roadsensors/LTL-M.page?

-
- [12] 1st European Road Marking Symposium im Rahmen der Intertraffic, 03.04.2008, Amsterdam. Französischer Beitrag: Dynamic measurement of Type 2 road markings' performance
- [13] www.rambollrst.se
- [14] Straßenverkehrsordnung vom 16. November 1970 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch die Verordnung vom 28. November 2007 (BGBl. I, S. 2774)
- [15] Prüfzeugnis Nr. 0913-2009-05 über die Eignung des dynamischen Retroreflektometers ZDR6020 zur dynamischen Messung des Leuchtdichtekoeffizienten bei Retroreflexion R_L von Fahrbahnmarkierungen, Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsgemeinschaft der Straßenausstatter e. V., Berlin 2009
- [16] DIN EN 1824: Straßenmarkierungsmaterialien: Feldprüfungen. Berlin 1998

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2008

V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit
Frost, Schulze € 15,50

V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen
Wermuth, Wulff € 15,50

V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen
Roos, Zimmermann, Riffel, Cyra € 16,50

V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)
Weinert, Vengels € 17,50

V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50

V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00

V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM_x-Belastung an Straßen
Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, Becker, Richter, Schmidt € 29,00
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50

2009

V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw
Schulze, Hübel € 13,00

V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50

V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen € 26,00

V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50

V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn
Hausmann € 14,50

V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50

V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00

V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00

V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern
Alrutz, Bohle, Müller, Prahlow, Hacke, Lohmann € 19,00

V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00

V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst
Badelt, Moritz € 17,00

V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrszentralen des Bundes
Kirschfink, Aretz € 16,50

2010

V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00

V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM₁₀-Belastung an Straßen
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50

V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitwahl
Lank, Steinauer, Busen € 29,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008
Fitschen, Nordmann € 27,00
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme
Gärtner, Egelhaaf € 14,00

V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen
Klöckner € 14,50

V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50

V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Londong, Meyer € 29,50

V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung
Bark, Kutschera, Baier, Klemps-Kohnen € 16,00

V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008
Lensing € 16,50

V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50

V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2006/2007
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

V 200: Ermittlung von Standarts für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen
Bäumer, Hautzinger, Kathmann, Schmitz, Sommer, Wermuth € 18,00

V 201: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen
Vieten, Dohmen, Dürhager, Legge € 16,00

2011

V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM10-Belastung
Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann, Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00

V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit
Dohmen, Vieten, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM10-Belastung
Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009
Fitschen, Nordmann € 27,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN
Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50

V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen
Becker € 16,00

V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten
Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50

V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2008/2009
Beer, Surkus, Kocher € 14,50

2012

V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)
Maier, Berger € 18,50

V 211: Innliegende Linkseinfädelungstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete
Richter, Neumann, Zierke, Seebö € 17,00

V 212: Anlagenkonzeption für Meistereigehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB
Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00

V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren
Schmellekamp, Tegethof
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 215: Stauprävention auf BAB im Winter
Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00

V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)
Lippold, Weise, Jährig € 17,50

V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen
Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase, Fohlmeister, Häckelmann € 18,50

V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzungen
Hausmann € 16,00

V 219: Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter
Roos, Zimmermann, Schulz, Riffel € 16,50

2013

V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie
Pöpping, Pollack, Müller € 16,00

V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS
Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil, Rehberger € 19,50

V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010
Fitschen, Nordmann € 16,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufenthaltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00

V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst – Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken
Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50

V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00

V 227: Radpotenziale im Stadtverkehr
Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann, Mahlau, Gässler € 17,00

V 228: Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr
Baier, Göbbels, Klemp-Kohnen € 15,50

V 229: Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Messsystemen
Schmidt, Frenken, Hellebrandt, Regniet, Mahmoudi € 20,50

V 230: Verkehrsadaptive Netzsteuerungen
Hohmann, Giuliani, Wietholt € 16,50

V 231: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011
Fitschen, Nordmann € 28,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 232: Reflektkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelgemischen für Markierungssysteme
Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50

V 233: Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse
Lensing € 16,00

V 234: Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik
Lensing € 17,50

V 235: Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe
Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Komplettverzeichnis erhältlich.