

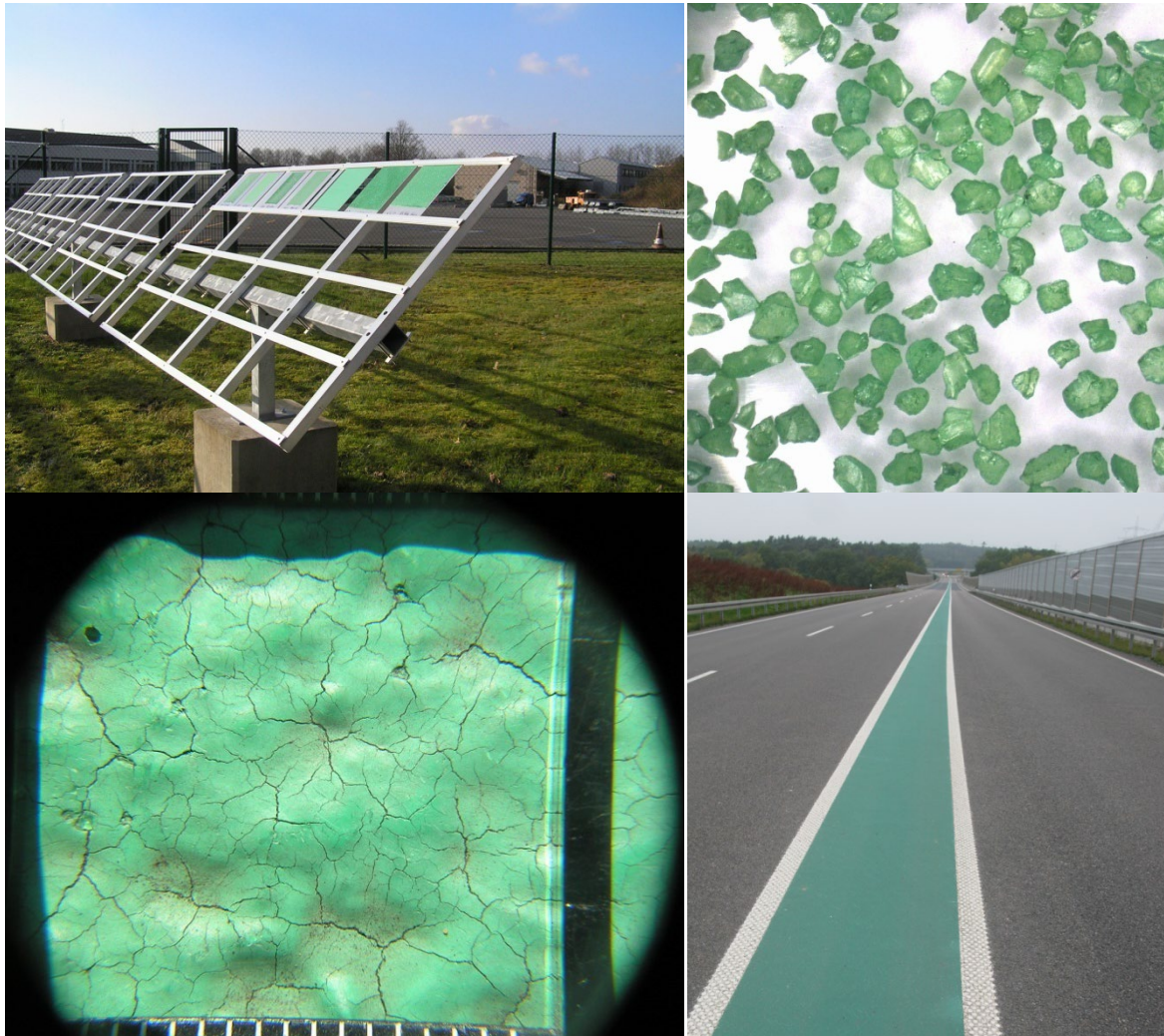
**Ergebnisbericht zum
BASt-Projekt
F1100.6415011**

**aktualisierte Version 2
vom 24.01.2023**

**Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

bast

Ergebnisbericht zum BASt-Projekt F1100.6415011



Untersuchung von Einfärbungen in der Farbe „Verkehrsgrün“ (RAL 6024) für Landstraßen der Entwurfsklasse 1

Bundesanstalt für Straßenwesen, 2020
(aktualisierte Version 2 vom 24.01.2023)

Referat V4, Dr. Jan Ritter

Mitwirkung: Referat V3 (Dr. Sandra Jacobi, Hr. Michael Fuhrmann)

Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	Hintergrund.....	2
2.1	Einsatz grüner Fahrbahnoberflächeneinfärbungen.....	2
2.2	Farbmessung	4
2.2.1	Grundbegriffe	4
2.2.2	Messung der Tagessichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen nach EN 1436	7
2.2.3	RAL Farben.....	8
2.3	Farbbereiche für Verkehrszeichen, Anforderung an die Helligkeit	9
2.3.1	Bestehende Farbbereiche für Markierungen und die Aufsichtsfarbe Grün.....	9
2.3.2	Anforderungen an die Helligkeit der Aufsichtsfarbe Grün	13
2.4	Wahrnehmung farbiger Verkehrsflächen	13
2.5	Kreiden und Ausbleichen von Farben	14
3	Untersuchungsmethodik.....	16
3.1	Fragestellungen und Untersuchungskonzept.....	16
3.2	Proben.....	17
3.2.1	RAL-Präzisionsfarbkarten	17
3.2.2	Testfeld.....	18
3.2.3	Prüfbleche	20
3.2.4	Nachstreumittel.....	20
3.2.5	Bezeichnung der Markierungssysteme und Nachstreumittel	21
3.3	Verkehrsbelastung und Bewitterung.....	21
3.4	Messung.....	22
4	Ergebnisse	23
4.1	Normfarbwertanteile der RAL-Farbtöne.....	23
4.2	Farbort von RAL 6024 im Vergleich zu standardisierten Farbbereichen	24
4.3	Neuzustand.....	26
4.3.1	Beschaffenheit der Proben.....	26
4.3.2	Visueller Eindruck, Vergleich mit RAL-Farbkarte 6024.....	28
4.3.3	Farbort der Nachstreumittel im Neuzustand	28
4.3.4	Farborte der Proben im Neuzustand	29
4.3.5	Leuchtdichtefaktor β im Neuzustand.....	33
4.4	Bewitterung.....	34
4.4.1	Einfluss der Bewitterung auf die Proben auf Prüfblechen	34
4.4.2	Visueller Eindruck - Markierungen auf Prüfblechen	35
4.4.3	Farbort der Proben auf Prüfblechen bei Bewitterung	36
4.4.4	Auswirkung der Bewitterung auf die Proben auf dem Testfeld	42
4.4.5	Farbort der Proben auf dem Markierungsfeld unter Bewitterung.....	46
4.4.6	Leuchtdichtefaktor β im Neuzustand und während der Bewitterung.....	51
4.5	Griffigkeit im Neuzustand	52
4.6	Retroreflexionsvermögen.....	52

4.7	Farbmessungen auf Praxisstrecken	53
5	Interpretation der Ergebnisse	54
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	59
7	Literatur.....	61

1 Einleitung

Gemäß den Richtlinien für die Anlage für Landstraßen (RAL) ist der verkehrstechnische Mittelstreifen der Entwurfsklasse 1 (EKL 1) mit einer grünen Oberflächengestaltung im Farbton „RAL 6024“ auszuführen. Ein standardisierter Farbbereich ist Voraussetzung, um z. B. bei der Abnahme von Markierungsarbeiten eine messtechnische Bewertung des Farbtons vornehmen zu können. Bisher existiert ein solcher Bereich für die grüne Oberflächengestaltung der EKL 1 nicht.

In dem vorliegenden Bericht sind die Untersuchungsergebnisse des Projektes F1100.6415011 der BAST dargestellt. Wesentliche Ziele des Projektes bestanden in der Bestimmung der Normfarbwertanteile x, y des RAL-Farbtons 6024 „Verkehrsgrün“, der Normfarbwertanteile x, y von Markierungen im RAL-Farbton 6024 unter Variation des Nachstreumittels sowie in der Gewinnung von Kenntnissen zum Verhalten dieser Markierungen unter Bewitterung. Hierzu wurden Proben unter Variation des Markierungsstoffs und der Nachstreumittel im Neuzustand messtechnisch bewertet. Anschließend erfolgte eine natürliche Bewitterung der Markierungsproben. Vergleichend wurden die Normfarbwertanteile von RAL-Farbmustern bestimmt. Die Untersuchungsergebnisse wurden abschließend im Hinblick auf die Möglichkeit der Festlegung eines Farbbereichs interpretiert.

2 Hintergrund

2.1 Einsatz grüner Fahrbahnoberflächeneinfärbungen

Generell können Verkehrsflächen oder Teile davon, z. B. zur Verbesserung der Verkehrsführung, der Vermittlung von zusätzlichen Informationen für den Verkehrsteilnehmer oder der Abtrennung von Flächen bestimmter Funktionen, eingefärbt werden. Beispiele hierfür sind gelbe Fahrbahnmarkierungen in Arbeitsstellen oder rote Einfärbungen von Radverkehrsflächen. Die Farbgebung kann z. B. über die Einfärbung des Bitumens im Asphalt oder die Aufbringung einer farbigen Schicht auf der Fahrbahnoberfläche realisiert werden. Bei Letzterem können für Fahrbahnmarkierungen eingesetzte Materialien verwendet werden, wie z. B. reaktive oder thermoplastische Materialien und High Solid-Farben. Die Einfärbung kann grundsätzlich in allen Farben vorgenommen werden (MESEBERG 1987).

In den Niederlanden werden beispielsweise grüne Mittelmarkierungen als ein Element zur Umsetzung des Konzepts standardisierter und wieder erkennbarer Straßen eingesetzt (LIPPOLD et al. 2013). So findet ein sog. verkehrstechnischer Mittelstreifen, bestehend aus einer grünen Markierung zwischen zwei Markierungen als Fahrstreifenbegrenzung, zur Trennung des entgegen gerichteten Verkehrs außerhalb auf Hauptverkehrsstraßen (nationale „Stroomwegen“, autosnelweg) Anwendung (LIPPOLD et al. 2013). Dabei werden zwei Varianten eingesetzt: Bei der ersten Variante sind die an die grüne Markierung angrenzenden Fahrstreifenbegrenzungen durchgezogen. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 100 km/h und das Überholen ist verboten. Bei der zweiten Variante wird die Fahrstreifenbegrenzung als unterbrochene Markierung ausgeführt. Bei dieser Variante ist das Überholen erlaubt, sofern die Verkehrssituation dies zulässt. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt ebenfalls 100 km/h (ADAC 2016).

In Deutschland wurde das entwurfstechnische Regelwerk für Landstraßen in den vergangenen Jahren als ein Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit überarbeitet und umstrukturiert. Dabei wurde in Maßnahmen zur Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und der Beeinflussung des Überholverhaltens eine hohe Bedeutung gesehen (LIPPOLD et al. 2013). Eine Maßnahme besteht in der Umsetzung des Prinzips der standardisierten und wiedererkennbaren Straße, d. h. Landstraßen einer bestimmten Netzfunktion sollen „in sich möglichst gleichartig ausgebildet werden („standardisiert“) und sich von Straßen einer anderen Netzfunktion möglichst deutlich unterscheiden („wieder erkennbar“) (RAL 2012). Mit der Ausprägung deutlich unterscheidbarer und wieder erkennbarer Straßentypen soll der Kraftfahrer in der Lage sein, intuitiv die Bedeutung der Straße im Netz zu erkennen und sein Fahr- und Geschwindigkeitsverhalten in Anhängigkeit vom Entwurfsstandard anzupassen (LIPPOLD et al. 2013). Nach (LIPPOLD et al. 2013) kann das Prinzip der wiedererkennbaren Straße nur erreicht werden, „wenn die geometrische Gestaltung mit einer eindeutigen Markierung und Beschilderung einhergeht.“

In dem Projekt FE 02.281/2007/AGB „Wirkung, Akzeptanz und Dauerhaftigkeit von Elementen zur Fahrtrichtungstrennung auf Landstraßen“ (LIPPOLD et al. 2013) wurden verschiedene Varianten von Elementen zur Fahrtrichtungstrennung auf Landstraßen untersucht.



Abbildung 2-1: Bilder der Versuchsstrecken mit verkehrstechnischem Mittelstreifen (LIPPOLD et al. 2013)

Unter anderem wurden Vorher-Nachher-Vergleiche an Probestrecken mit einem an die niederländische Variante der Richtungstrennung angelehnten verkehrstechnischen Mittelstreifen mit grüner Markierung durchgeführt (s. Abb. 2-1). Angesichts der im o. g. Projekt festgestellten guten Wiedererkennbarkeit und Akzeptanz durch den Verkehrsteilnehmer wurde zur Fahrtrichtungstrennung ein verkehrstechnischer Mittelstreifen mit grüner Einfärbung empfohlen, der Eingang in die RAL gefunden hat.

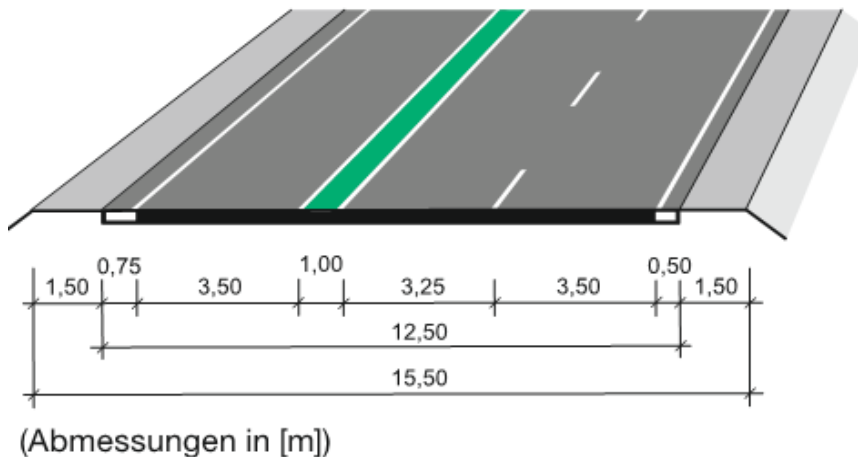


Abbildung 2-2: Schematische Darstellung des Querschnitts der EKL 1 (RAL)

So trägt bei dem Regelquerschnitt für Straßen der EKL 1, die bei hochbelasteten Fernstraßen Anwendung findet, die grüne Einfärbung wesentlich zur Wiedererkennung bei (s. Abb. 2-2). Gemäß den RAL soll die Fläche zwischen den Fahrstreifenbegrenzungen in einem „optisch auffälligen Grün“ gekennzeichnet sein und den Farbton RAL 6024 „Verkehrsgrün“ aufweisen. Der verkehrstechnische Mittelstreifen weist eine Breite von insgesamt 1,00 m auf und beinhaltet die mittige grüne Einfärbung als auch die durchgehenden weißen Fahrstreifenbegrenzungen. Weiterhin muss gemäß den RAL die aufgebrachte Farbe den materialtechnischen Anforderungen von Fahrbahnmarkierungen entsprechen. Sie soll in der Farbe „Verkehrsgrün“ (RAL 6024) nicht-retroreflektierend ausgebildet sein.

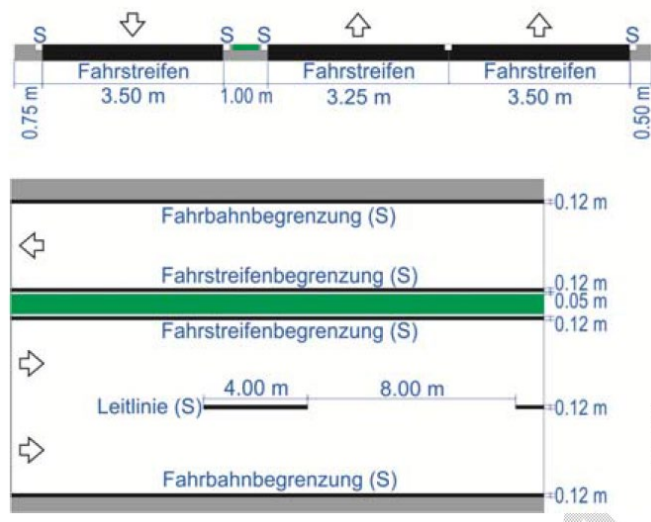


Abbildung 2-3: Querschnitt für EKL 1 gemäß den RMS, Teil Landstraßen (Entwurf, Stand: 18.09.2017)

Die Vorgaben der RAL zum verkehrstechnischen Mittelstreifen werden im Entwurf der überarbeiteten RMS, Teil „Landstraßen“ weiter konkretisiert bzw. ergänzt. Gemäß den RMS-L (Entwurf, Stand: 2018) sind die Fahrstreifenbegrenzungen als Schmalstriche jeweils 0,12 m breit (s. Abb. 2-3). Zwischen der grünen Einfärbung und der Fahrstreifenbegrenzung befindet sich jeweils ein Spalt von 5 cm, der nicht markiert ist. Damit ergibt sich eine Breite der grünen Einfärbung von 66 cm. Die RMS-L (Entwurf) führen näher aus, dass die Anforderungen an die Griffigkeit gemäß den ZTV M (SRT-Wert ≥ 45 SRT-Einheiten) sowie die materialtechnischen Anforderungen der TL M einzuhalten sind.

Verkehrsrechtlich handelt es sich bei der grünen Einfärbung der EKL 1 nicht um eine Markierung gemäß der StVO: In Deutschland sind gemäß der StVO dauerhafte Markierungen weiß und vorübergehend gültige Markierungen gelb. Entsprechend werden grüne Einfärbungen bisher nicht in den ZTV M 13 und den TL M 06 behandelt. Da zur Herstellung der grünen Einfärbung in der Praxis i. d. R. Markierungsstoffe wie z. B. reaktive Stoffe („Kaltplastiken“) oder HS-Farben und ggf. Nachstreumittel mit entsprechender Färbung eingesetzt werden, soll im Folgenden vereinfachend der Begriff „grüne Markierung“ verwendet werden, wobei nicht eine Markierung im Sinne der StVO gemeint ist.

2.2 Farbmessung

2.2.1 Grundbegriffe

Unter dem Begriff „**Farbe**“ wird gemäß DIN 5033-1 ein „durch das Auge vermittelt Sinneseindruck (...)“ verstanden. Dabei wird zwischen der visuellen Empfindung einer Farbe (**Farberscheinung**) und der durch drei Farbwerte beschreibbaren **Farbvalenz** unterschieden (DIN 5033-1). Ein Beispiel für die Farberscheinung ist der empfundene **Bunnton**. So wird nach DIN 5033-1 für die Art der Buntheit einer Farbe der Begriff „Bunnton“ empfohlen. Der Bunnton einer Farbe wird allgemein z. B. mit rot, gelb, grün, blau, violett usw. bezeichnet. Im Folgenden wird abweichend von DIN 5033-1 zur besseren Verständlichkeit für „Bunnton“ der in der Praxis häufig gebrauchte Begriff „Farbton“ verwendet.

Da der Begriff „Farbe“ im täglichen Gebrauch auch für stoffliche Mittel verwendet wird, soll in diesem Bericht unter der Farbe der Sinneseindruck verstanden werden, während das stoffliche Mittel entsprechend den TL M hier z. B. als „High-Solid Farbe“ oder „Dispersionsfarbe“ bezeichnet wird.

Zur eindeutigen Kennzeichnung einer Farbvalenz sind jeweils drei voneinander unabhängige Zahlenangaben erforderlich. Für die Kennzeichnung einer Valenz können drei **Farbwerte** verwendet werden. Um eine **Farbart** zu kennzeichnen, sind hingegen zwei von der Leuchtdichte unabhängige Maßzahlen ausreichend. Eine Farbart ist eine Farbvalenz, die sich nur z. B. durch die Leuchtdichte von einer anderen unterscheidet (DIN 5033-1).

Im 2°-(Kleinfeld-) Normvalenzsystem wird eine Farbvalenz durch die 2°-**Normfarbwerte X, Y und Z** beschrieben (DIN EN ISO/CIE 11664-3). Aus den Normfarbwerten lassen sich wiederum zur Kennzeichnung der Farbart die **Normfarbwertanteile x, y und z** berechnen. Da $x + y + z = 1$ gilt, werden meist nur x und y betrachtet.

Unter einer **Farbmessung** wird die Ermittlung von drei zu einer Farbvalenz gehörigen Normfarbwerten für einen bestimmten farbmetrischen Normalbeobachter verstanden (DIN 5033-1).

Als **Helligkeit** wird die Stärke einer Lichtempfindung, wie sie mit jeder Farbwahrnehmung verbunden ist, verstanden (DIN 5033-1). Bei Körperfarben dient als Helligkeitsmaß der Hellbezugswert (DIN 5033-1). Im Normvalenzsystem für den farbmetrischen Normalbeobachter CIE 1931 ist der **Hellbezugswert** mit dem **Normfarbwert Y** identisch (DIN 5033-1). Farbvalenzen, die sich nur durch den Hellbezugswert unterscheiden, besitzen die gleiche Farbart. Y entspricht der Hellempfindung des menschlichen Auges (Meseberg 1993).

Der Hellbezugswert Y ist im Allgemeinen das 100fache des Leuchtdichtefaktors β (Frank 2003). Unter dem **Leuchtdichtefaktor β** einer Aufsichtfarbe wird nach DIN 6171 das Verhältnis einer gemessenen Leuchtdichte auf einer Oberfläche zur unter derselben Beleuchtung gemessenen Leuchtdichte auf einer vollkommen mattweißen Fläche verstanden. Gemäß DIN EN 1436 ist der Leuchtdichtefaktor β (Einheit 1) das Verhältnis der Leuchtdichte des Straßenmarkierungsfeldes in der gegebenen Richtung zur Leuchtdichte eines vollkommenen reflektierenden Diffusors bei identischer Beleuchtung. β ist ein Maß für die Leuchtdichte einer Farbe im Vergleich zur Leuchtdichte von Normalweiß bei gleicher Intensität der Anleuchtung durch Tageslicht (Frank 2003).

Nach (Frank 2003) werden **Aufsichtfarben** in allen Verkehrszweigen für Verkehrszeichen und Markierungen verwendet. Dabei ist gemäß DIN 6171 die Aufsichtfarbe die Körperfarbe, bei der der Farbeindruck durch reflektiertes Licht entsteht.

Die Normfarbwertanteile x, y können in einem rechtwinkligen Koordinatensystem zur graphischen Darstellung der Farbarten als Koordinaten eines „**Farbortes**“ dargestellt werden. Der Farbort einer Aufsichtfarbe ist die Beschreibung einer Aufsichtfarbe durch die Normfarbwertanteile x und y im 2°-Normvalenzsystem (DIN 6171).

Dabei wird das Diagramm als **Normfarbtafel** bezeichnet (BERGER-SCHUNN 1994). Der Normfarbwertanteil x wird als Abszisse, der Normfarbwertanteil y als Ordinate aufgetragen. Jeder Farbart wird in der Farbtafel jeweils ein Farbort zugewiesen.

Hierbei wird auf die dritte Dimension der Farbvalenz verzichtet: Aufsichtfarben, die einen identischen Farbort aufweisen, können sich durch ihre Helligkeit unterscheiden. So ist bei der grafischen Darstellung des Farbraums als Ebene die Helligkeit gedanklich als dritte Dimension senkrecht zur Normfarbtafel zu ergänzen (BERGER-SCHUNN 1994).

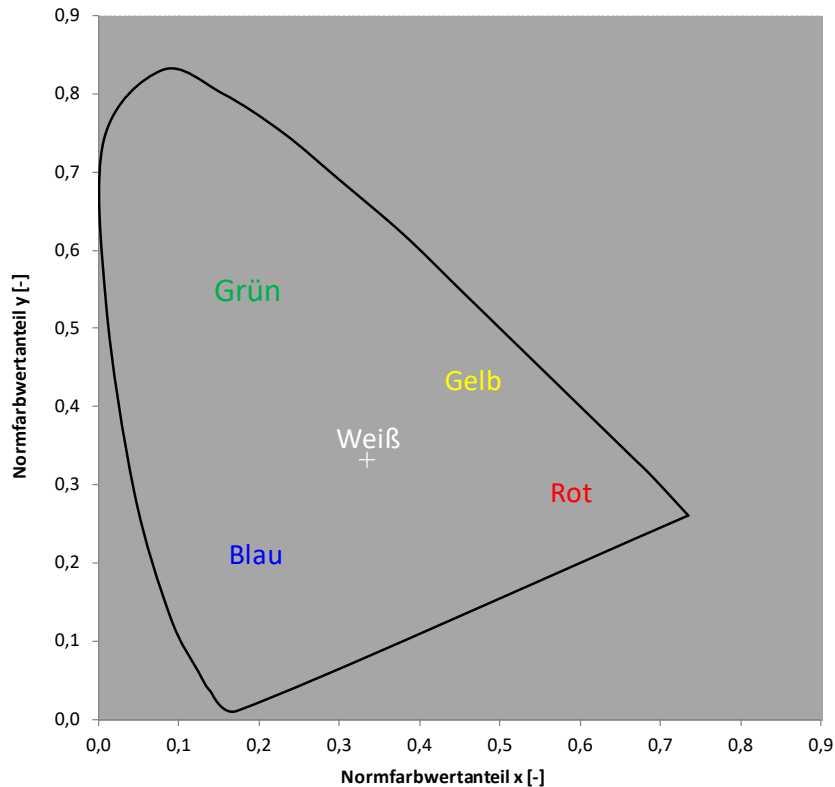


Abbildung 2-4: Normfarbtafel (schematisch)

Die Abbildung 2-4 zeigt eine schematische Darstellung der Normfarbtafel mit überschlägiger Verortung der Bereiche der Farben Blau, Grün, Gelb und Rot sowie von Weiß und Position des Unbuntpunktes (s. Kreuz). Die Form der Normfarbtafel ähnelt einer Schuhsohle. Der Rand der Normfarbtafel wird von den Spektralfarben gebildet; die anderen Farben liegen innerhalb der Schuhsohle (BERGER-SCHUNN 1994). Der sog. „Unbuntpunkt“ (auch: Weißpunkt) liegt bei den Koordinaten $x = y = 0,333^1$ der je nach Helligkeit von Weiß über verschiedene Graustufen bis Schwarz repräsentiert (BERGER-SCHUNN 1994).

¹ bei Farbtemperatur von ca. 6000 K, Strahlungsleistung der Lichtquelle konstant über alle Wellenlängen

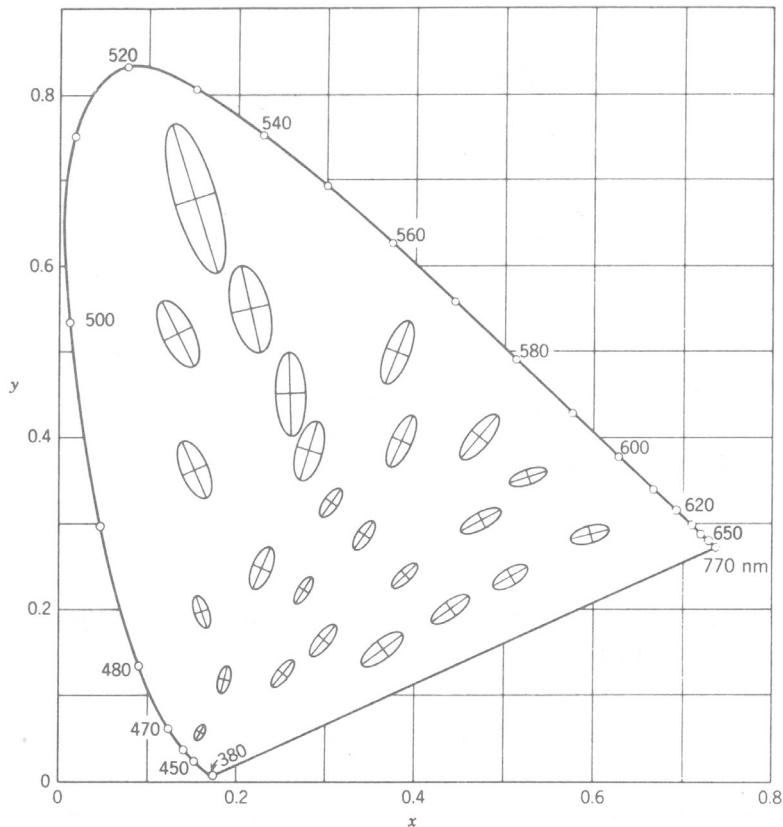


Abbildung 2-5: Normfarbtafel für den 2° Normalbeobachter mit in zehnfacher Vergrößerung eingezeichneten MacAdam-Ellipsen nach Billmeyer et al. (BERGER-SCHUNN 1994)

Die numerische Bewertung des Unterschieds zwischen zwei Farbeindrücken wird dadurch erschwert, dass gleiche Abstände im dreidimensionalen Farbenraum nicht gleichen visuellen Farbunterschieden entsprechen (BERGER-SCHUNN 1994). Vereinfacht dargestellt variiert der visuell empfundene Farbunterschied in Abhängigkeit der Position auf der Normfarbtafel. Wie die Darstellung der MacAdam-Ellipsen beispielhaft zeigt, wird z. B. der visuell empfundene Unterschied bei vergleichsweise großen Abständen im Bereich der Farbe Grün in der Normfarbtafel und vergleichsweise kleinen Abständen etwa im Bereich Weiß oder Orange als annähernd gleich empfunden (s. Abb. 2-5).

Aufsichtsfarben können als Farbort in der Normfarbtafel durch ein Wertepaar für die Normfarbwerte x , y definiert werden. Zur Berücksichtigung von Streuungen werden i. d. R. Anforderungen an Aufsichtsfarben in Form von sog. „Farbbereichen“, d. h. Toleranzbereichen, festgelegt, um Herstellungstoleranzen und Messunsicherheiten berücksichtigen zu können. Farbbereiche können z. B. durch vier Eckpunkte oder vier Geradengleichungen festgelegt werden und können so grafisch in der Normfarbtafel beispielsweise als Rechteck dargestellt werden.

2.2.2 Messung der Tagessichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen nach EN 1436

Die für die Messung der Farbe von Fahrbahnmarkierungen relevante EN 1436 berücksichtigt weiße und gelbe Markierungen und legt Messbedingungen fest.

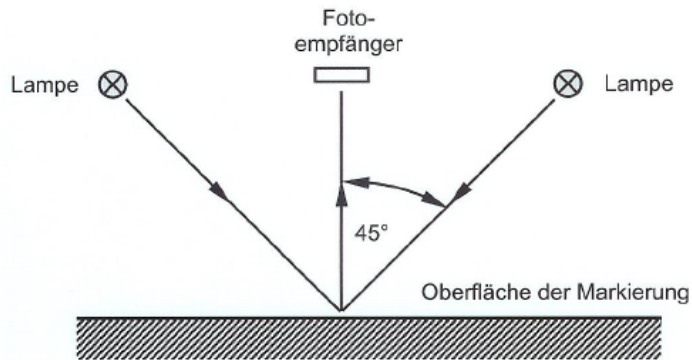


Abbildung 2-6: Geometrie zur Messung der Tagessichtbarkeit (Leuchtdichtefaktor β , Normfarbwertanteile x , y , hier: beidseitige Anleuchtung) (MESEBERG 1993)

Die Normfarbwertanteile x , y werden nach den ZTV M 13 in Deutschland gemäß Anhang C der EN 1436 unter Anwendung der Normlichtart D65 nach ISO 10526 ermittelt. Die Normlichtart D65 entspricht Tageslicht mit der genormten Farbtemperatur von 6500 K (BERGER-SCHUNN 1994).

Die Messgeometrie ist „45°/0°“, d. h. die Beleuchtung erfolgt in einem Winkel von $45^\circ \pm 5^\circ$ und das von der Markierung reflektierte Licht wird in einem Winkel von $0^\circ \pm 10^\circ$ erfasst, wobei der Winkel im Verhältnis zur Senkrechten auf der Markierungsoberfläche gemessen wird (s. Abb. 2-6).

Die für die Farbmessung anzuwendende Messgeometrie spiegelt damit - anders als bei den Leuchtdichtekoeffizienten Q_D und R_L - nicht den für den Verkehrsteilnehmer maßgebenden kleineren Betrachtungswinkel wieder.

Gemäß der EN 1436 ist für die Farbmessung der 2° Normalbeobachter CIE 1931 maßgebend.

Die Normfarbwertanteile von weißen oder gelben Markierungen müssen nach den ZTV M 13 innerhalb der Bereiche gemäß EN 1436, Abschnitt 4.4 liegen (s. Abschnitt 2.3.1).

Neben den Normfarbwertanteilen x , y ist gemäß den ZTV M 13 die Tagessichtbarkeit durch den Leuchtdichtekoeffizienten Q_D als Maß für die Helligkeit der Markierungen bei Beleuchtung durch Tageslicht bestimmt. Der Leuchtdichtefaktor β für Fahrbahnmarkierungen findet in Deutschland gemäß den ZTV M 13 keine Anwendung.

2.2.3 RAL Farben

Für die in den Richtlinien für die Anlage von Landstraßen enthaltene grüne Einfärbung im RAL-Farbtönen 6024 „Verkehrsgrün“ existieren derzeit im Regelwerk weder definierte Messbedingungen noch ein Farbbereich.

Bei RAL-Farben handelt es sich um von der RAL GmbH normierte Farben. RAL-Farben können anhand der vierstelligen Nummer unterschieden werden. Bei den RAL Classic Farben existiert für den Farbtönen Grün die 6000er-Reihe, in der die RAL-Farbtöne von RAL 6000 „Patinagrün“ bis RAL 6038 „Leuchtgrün“ enthalten sind (nicht vorhanden: RAL 6023, 6030 und 6031).

RAL-Farben können unmittelbar anhand von Mustern (Farbkarten) visuell verglichen und der Farbkontrast zwischen Muster und Probe bewertet werden.

Die X, Y und Z-Werte der RAL-Farbtöne werden auf den RAL-Präzisionsfarbkarten angegeben, jedoch mit von EN 1436 abweichenden Messbedingungen ($d/8^\circ$, 10° Normalbeobachter). Toleranzen für eine Bewertung der Farbtreue werden von der RAL-GmbH nicht herausgegeben bzw. müssen produktspezifisch vom Anwender definiert werden.

2.3 Farbbereiche für Verkehrszeichen, Anforderung an die Helligkeit

2.3.1 Bestehende Farbbereiche für Markierungen und die Aufsichtsfarbe Grün

Die in der **DIN EN 1436:2018-03** „Anforderungen an Markierungen auf Straßen und Prüfverfahren“ enthaltenen Farbbereiche für weiße und gelbe Markierungen (Y1 und Y2) sind in der Abbildung 2-7 dargestellt. Die Farbbereiche für weiße und gelbe (nur Y2) Markierungen sind Bestandteil der ZTV M 13.

Die **DIN 6171:2017-02** „Aufsichtsfarben für Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen“ legt Bereiche für die Aufsichtsfarben von u. a. nicht-retroreflektierenden Materialien für Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen in allen Verkehrszweigen fest. Hiervon ausgenommen sind die ortsfesten, vertikalen Straßenverkehrszeichen, für die die Normenreihe DIN EN 12899 anzuwenden ist (DIN 6171). In der Abbildung 2-8 sind die Bereiche für grüne, nicht-retroreflektierende Verkehrszeichen im Neuzustand und im Gebrauchszustand nach DIN 6171 dargestellt.

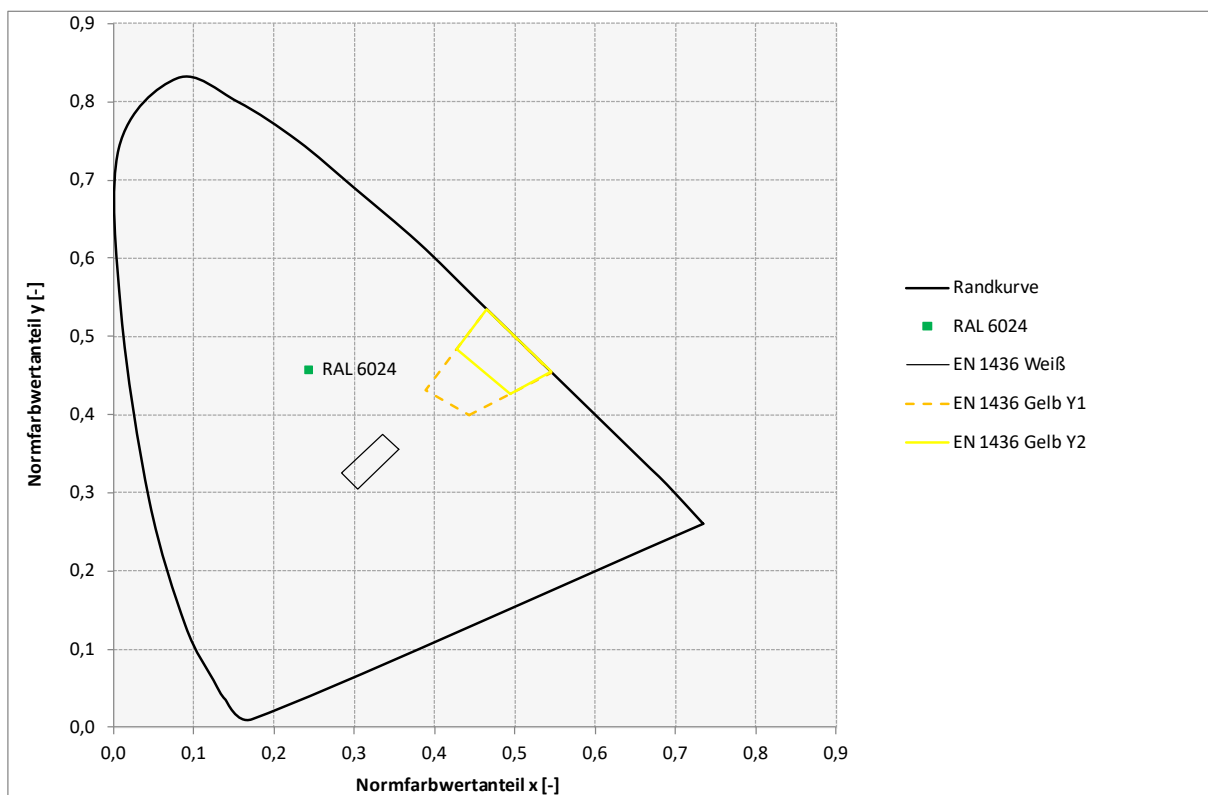


Abbildung 2-7: Bereiche für weiße und gelbe Markierungen nach DIN EN 1436

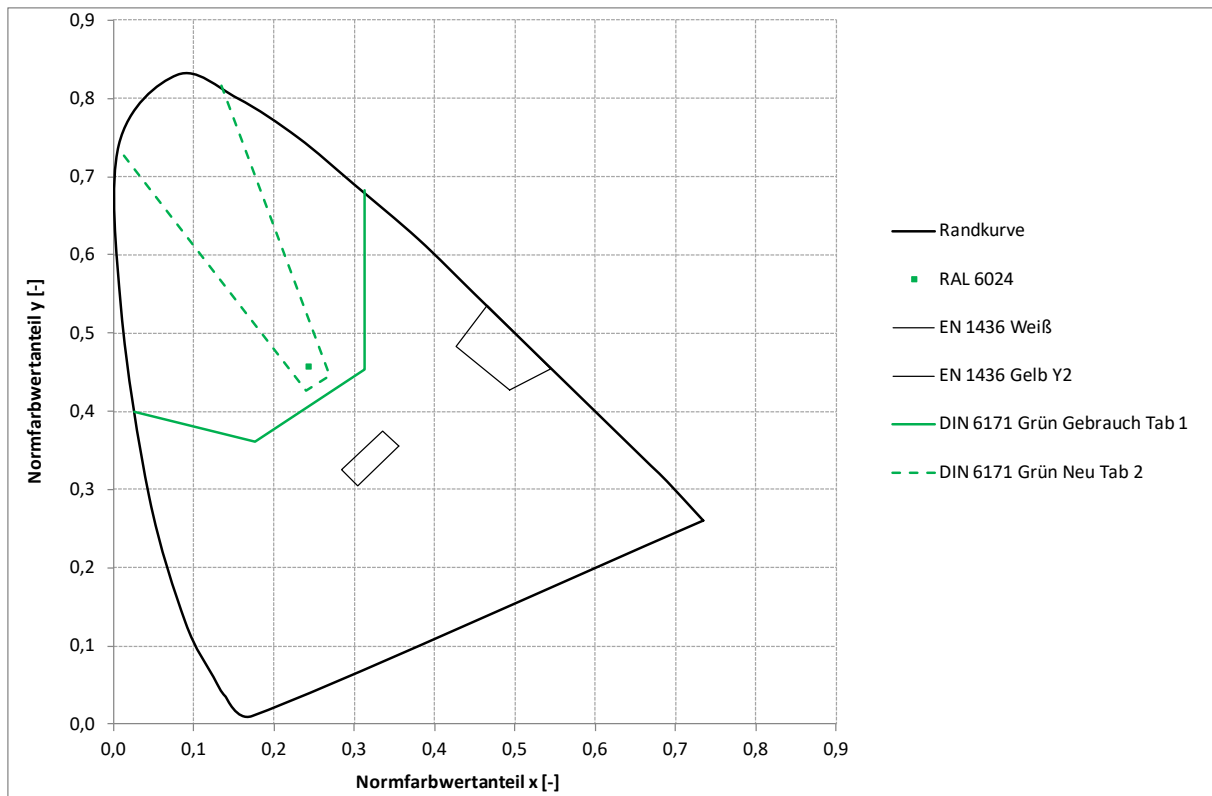


Abbildung 2-8: Bereiche für Grün im Neu- und Gebrauchszustand für nicht-retroreflektierende Materialien nach DIN 6171



Abbildung 2-9: Farbbereiche NR1 und NR2 nach EN 12899-1 für nicht-retroreflektierende Verkehrszeichen und Tageslicht (D65, 45°/0°)

Die **DIN EN 12899-1:2008-02** „Ortsfeste Verkehrszeichen“ gibt u. a. die Farbbereiche NR1 und NR2 für Grün für nicht-retroreflektierende Verkehrszeichen für die Tageslicht-Normfarbwertanteile vor (s. Abb. 2-9). Laut der in EN 12899-1 enthaltenen Anmerkung zu den Farbbereichen NR1 und NR2 kann mit dem kleineren Bereich NR2 im Vergleich zu NR1 ein einheitlicheres Bild und eine bessere Farbübereinstimmung neuer Verkehrszeichen sichergestellt werden. Von mit Farbbereich NR2 übereinstimmenden Farben könne nach EN 12899-1 zudem erwartet werden, dass sie über eine längere Bewitterungszeit innerhalb des Farbbereichs NR1 bleiben.

Gemäß DIN EN 12899-1:2008-02 müssen bei Durchführung der Prüfung von innenbeleuchteten Verkehrszeichen nach CIE 15 die Tageslicht-Normfarbwertanteile für Grün und Dunkelgrün in dem nach Tabelle 18 dieser Norm definiertem Farbbereich liegen (s. Abb. 2-10).

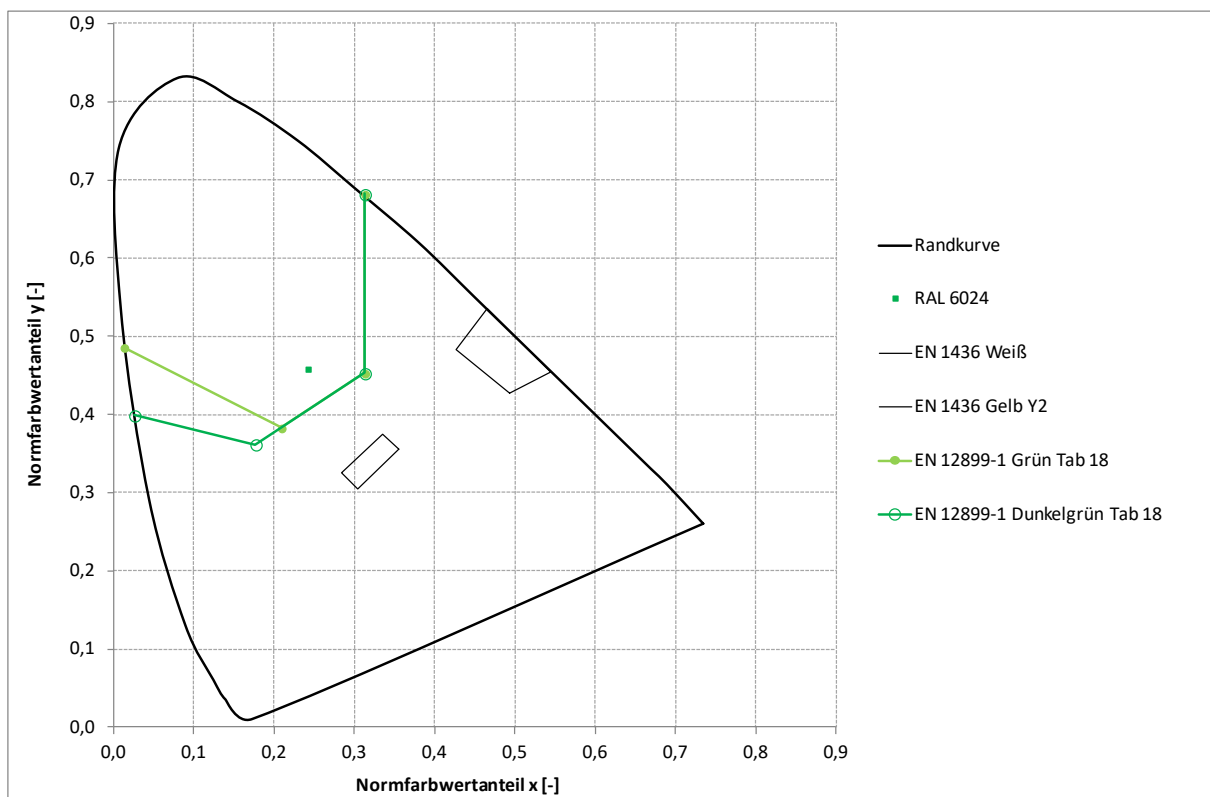


Abbildung 2-10: Farbbereiche für Grün und Dunkelgrün für innenbeleuchtete Verkehrszeichen nach Tabelle 18 der EN 12899-1 (D65, 45°/0°)

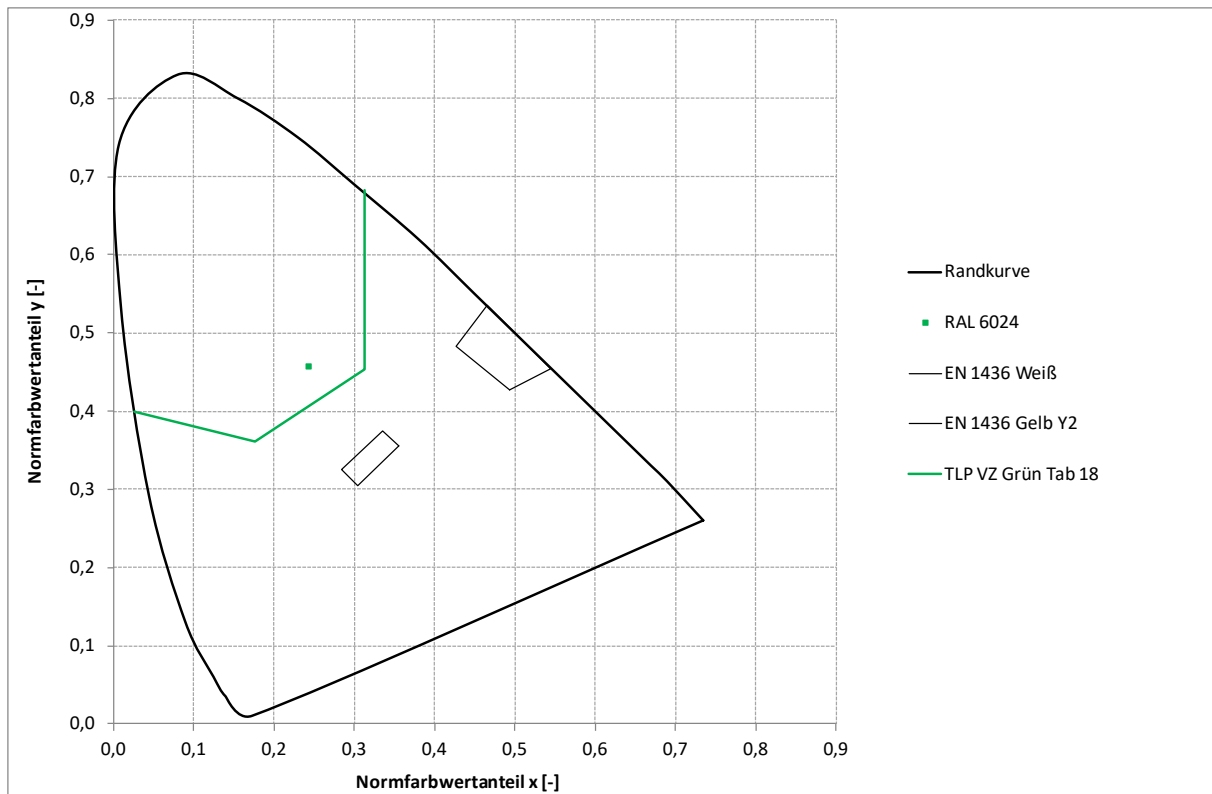


Abbildung 2-11: Farbbereiche für Grün nach TLP VZ für vertikale Verkehrszeichen

In der Tabelle 18 der **TLP VZ** „Technischen Liefer- und Prüfbedingungen für vertikale Verkehrszeichen“ (Ausgabe 2011) ist der in der Abbildung 2-11 dargestellte Bereich für die Farbe Grün für innenbeleuchtete Verkehrszeichen enthalten (D65, 45°/0°, 2°-Normalbeobachter).

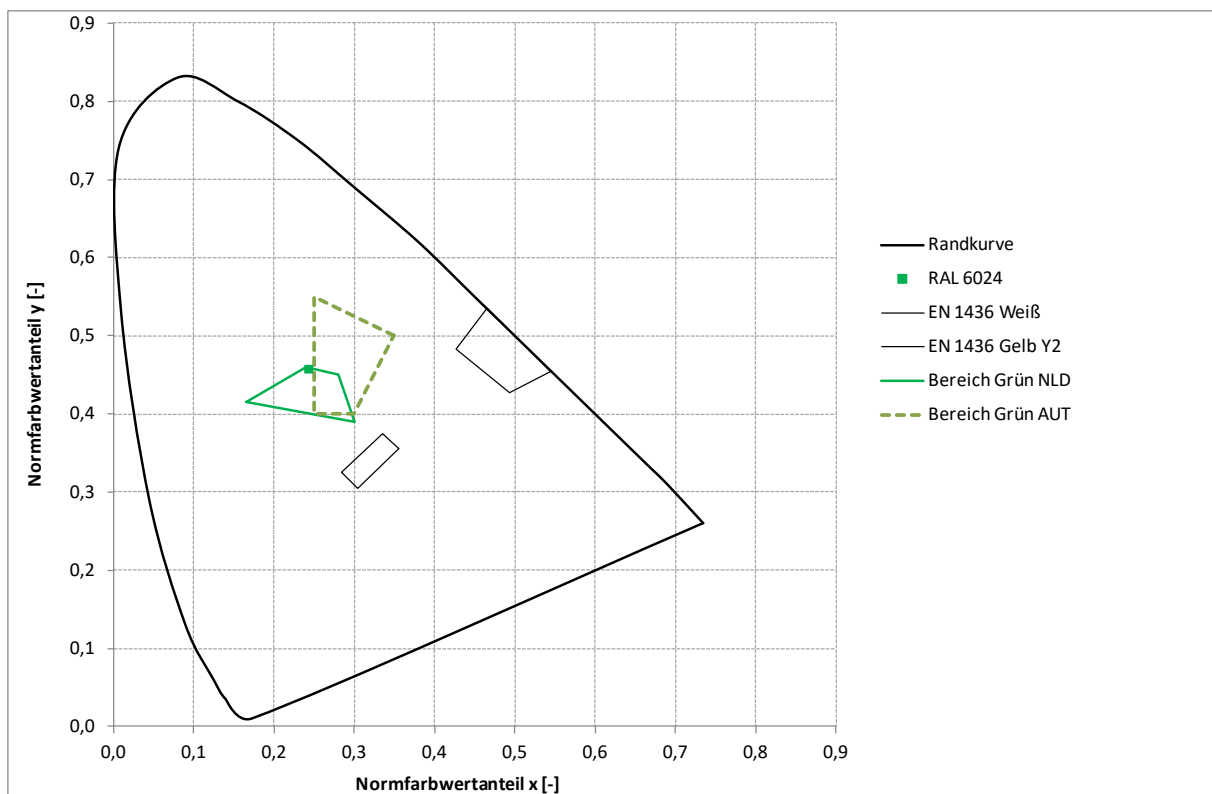


Abbildung 2-12: In den Niederlanden und Österreich verwendete Farbbereiche für grüne Markierungen

In der Abbildung 2-12 sind zwei Farbbereiche für grüne Markierungen aus den Niederlanden und Österreich dargestellt. Nach den vorliegenden Informationen² wird der Bereich aus den Niederlanden für grüne Markierungen als Teil des verkehrstechnischen Mittelstreifens verwendet und gilt für den Neu- und Gebrauchszustand. Der Bereich für Grün aus Österreich basiert auf den Anforderungen der Richtlinien zur Spezifikation von Bodenmarkierungen und Bodenmarkierungsmaterial (ONR 22441:2015-1) an die Farbe von Markierungen und gilt gemäß Abschnitt 4.1 der ONR 22441 während der gesamten Funktionsdauer.

2.3.2 Anforderungen an die Helligkeit der Aufsichtfarbe Grün

Die Tagessichtbarkeit von Aufsichtfarben im Straßenverkehrsbereich ist i. d. R. in Normen und dem Regelwerk durch den Farbort und die Helligkeit definiert. Im Folgenden ist eine Auswahl an Kenngrößen, Klassen und Anforderungen hinsichtlich der Helligkeit aus europäischen Normen und dem nationalen Regelwerk aufgeführt.

Gemäß der DIN EN 1436 wird die Helligkeit einer Fahrbahnmarkierung bei Tageslicht oder Straßenbeleuchtung entweder durch den Leuchtdichtkoeffizient Q_D oder den Leuchtdichtefaktor β gemessen. Hierfür enthält DIN EN 1436 Definitionen für die Klassen B0 bis B5 für β und Klassen Q0 bis Q5 für Q_D als auch eine Beschreibung der Messverfahren.

Nach den ZTV M 13 ist bezüglich der Helligkeit ausschließlich der Leuchtdichtkoeffizient Q_D maßgebend. Dieser muss bei weißen Markierungen im Neuzustand $Q_D \geq 160 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ betragen; für den Gebrauchszustand gilt $Q_D \geq 130 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$. Bei gelben Markierungen ist nach den ZTV M 13 der Mindestwert für Q_D von $\geq 100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ maßgebend.

Hinsichtlich grüner Aufsichtfarben für vertikale Verkehrszeichen gehört zu den Farbbereichen bei den Klassen NR1 und NR2 ein Mindestwert des Leuchtdichtefaktors von $\beta \geq 0,10$. Für innenbeleuchtete Verkehrszeichen schreibt EN 12899-1 gemäß Tabelle 18 für die Aufsichtfarbe Grün einen Mindestwert von $\beta \geq 0,03$ (Klasse B1) oder $\beta \geq 0,10$ (Klasse B2) vor.

Nach den Tabellen 1 und 2 der DIN 6171 gilt für nicht-retroreflektierende Materialien im Neu- und Gebrauchszustand für die Aufsichtfarbe Grün ein Mindestwert von $\beta \geq 0,10$.

Die TLP VZ schreiben gemäß Tabelle 18 für Grün und Dunkelgrün ein von $\beta \geq 0,03$ (Klasse B1) oder $\beta \geq 0,10$ (Klasse B2) vor.

2.4 Wahrnehmung farbiger Verkehrsflächen

Verkürzt dargestellt sind für die Auffälligkeit bzw. die Wirksamkeit von horizontalen Verkehrsflächen folgende Kenngrößen maßgebend: Die Größe der Fläche, der Farbkontrast zwischen der farbigen Fläche und der Umgebung, der Helligkeitskontrast sowie der Formenkontrast (MESEBERG 1987).

² Auskunft des Technical Department Rijkswaterstraat Programs Projects and Maintenance am 27.05.2015.

Dabei führt ein hoher Kontrast zu einer hohen Auffälligkeit bzw. Signalwirkung; die Einfärbung wird für den Verkehrsteilnehmer eindeutiger erkennbar. Die Auffälligkeit ist nach MESEBERG 1987 demnach eine Voraussetzung für die Akzeptanz und Wirksamkeit von z. B. farbigen Fahrbahnmarkierungen. Dabei kann ein hoher Farbkontrast durch den Einsatz von möglichst gesättigten Farben erreicht werden. Dies gilt analog für den Helligkeitskontrast: Eine hohe Helligkeit des Materials sorgt für einen hohen Kontrast zur Umgebung.

2.5 Kreiden und Ausbleichen von Farben

Hinweis: Die für das Verständnis des Berichts erforderlichen Begriffe sind im Folgenden in den Grundzügen erläutert. Für eine tiefere Darstellung wird auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen.

Nach (Frank 2003) verändern sich Aussehen und Charakteristik der Farben von Verkehrszeichen, die der Freibewitterung ausgesetzt sind. Diese Veränderung ist meistens mit einer Verschiebung des Farbbortes in Richtung von Unbunt (Weiß) verbunden, d. h. die Farbe verblasst oder hellt sich auf.

Eine Schadensform, die zum Verblässen führt, ist das sog. „**Kreiden**“. Nach DIN 55945:1996 ist das Kreiden das Ablösen von Pigmenten und Füllstoffen, die infolge des Abbaus des Bindemittels an der Oberfläche einer Beschichtung freigelegt werden. Gemäß DIN EN ISO 4618-2:1999 wird unter dem Kreiden das Auftreten von lose anhaftendem feinem Pulver auf einer Beschichtung, hervorgerufen durch den Abbau eines oder mehrerer ihrer Bestandteile, verstanden. So kann beispielsweise bei Lacken durch die Bewitterung das organische Bindemittel in den oberflächennahen Bereichen abgebaut werden, wodurch die Pigment- und Füllstoffpartikel in diesen Bereichen freigelegt werden. Dies bewirkt, dass die Oberfläche matt wirkt und ein weißlich mattes Aussehen der Lackschicht eintritt. Charakteristisch ist ein weißlicher Rückstand ähnlich einer Kreideschicht auf der Oberfläche. Wird dieser abgerieben, erscheint wieder der ursprüngliche Farbton. Ursächlich für das Kreiden ist in diesem Fall die mangelnde Beständigkeit des Bindemittels gegen Bewitterung.

Das Kreiden oder Verblässen der Farbe kann durch Schutzmaßnahmen, wie z. B. das Aufbringen eines transparenten Schutzlackes, verringert oder verhindert werden.

Vom Kreiden ist das **Ausbleichen**, d. h. der **Abbau von Farbmitteln**, zu unterscheiden. Nach DIN 55943:2001-10 „Farbmittel“³ wird zwischen anorganischen und organischen Pigmenten unterschieden. Anorganische Pigmente reagieren nicht mit dem Sauerstoff der Luft und sind damit sehr resistent gegen Witterung. Organischen Pigmenten wird im Vergleich zu anorganischen Pigmenten eine geringere Witterungsbeständigkeit, auch vom Farbton abhängig, zugesprochen. Der Austausch von organischen durch anorganische Pigmente kann zu einer höheren Bewitterungsbeständigkeit beitragen.

³ inzwischen zurückgezogen und ersetzt durch DIN ISO 18451-1:2016-06: Pigmente, Farbstoffe und Füllstoffe - Begriffe - Teil 1: Allgemeine Begriffe

So kann sich z. B. die Bewitterung negativ auf den Farbkontrast von farbigen horizontalen Verkehrsflächen zur umgebenden Straßenoberfläche auswirken: Nach MESEBERG 1987 wird durch den Einsatz von nicht lichtstabile Farbpigmente in der farbigen Schicht der Farbkontrast nachteilig beeinflusst, wenn z. B. bleichende oder nachdunkelnde Farbpigmente eingesetzt werden. Soll die Farbwirkung und der Signalwert einer farbigen horizontalen Verkehrsfläche möglichst lange erhalten bleiben, empfiehlt MESEBERG 1987 den Einsatz von Materialien, die folgenden Anforderungen genügen:

- brillante (gesättigte) Farbtöne
- hohe Helligkeit
- gute Haltbarkeit
- Farbstabilität der eingesetzten Farbpigmente.

Fahrbahnmarkierungen sind generell neben der Beanspruchung durch die Witterung einer direkten Verschleißbeanspruchung durch den Straßenverkehr ausgesetzt. Durch die Überrollungen, Verschmutzung, Brems- und Anfahrsvorgänge können farbige Markierungen schnell an Brillanz verlieren, d. h. sie werden i. d. R. grauer (MESEBERG 1987). Die Überrollungen können jedoch durch den resultierenden Abtrag oberflächennaher Schichten auch dem Kreiden und Ausbleichen entgegenwirken. Das „Freifahren“ tiefer gelegener, nicht bewitterter Schichten setzt jedoch eine ausreichend starke Verkehrsbelastung voraus. Beispielsweise ist das Überfahren der grünen Mittelmarkierung der EKL 1 gemäß der StVO aufgrund der angrenzenden Fahrstreifenbegrenzung (Zeichen 295) regelwidrig; die Verschleißwirkung ist entsprechend gering.

3 Untersuchungsmethodik

3.1 Fragestellungen und Untersuchungskonzept

Aufgrund des fehlenden Farbbereichs ist derzeit eine messtechnische Überprüfung der Konformität der Farbe der grünen Markierungen der EKL 1 mit dem anzuwendenden Farbton RAL 6024 gemäß den RAL nicht möglich. In der Praxis kann lediglich ein visueller Abgleich mit der RAL-Farbkarte für den Farbton 6024 vorgenommen werden. Insbesondere für die Abnahme der grünen Markierung wäre die Festlegung eines Farbbereichs als Grundlage für eine objektive, messtechnische Bewertung wünschenswert.

Gegenstand des vorliegenden Projektes ist die Sammlung von Kenntnissen als Beitrag zur Beantwortung folgender Fragestellungen:

- Welchen Farbort weisen der Farbton RAL 6024 sowie weitere RAL-Grüntöne auf und wie sind die Farborte in der Normfarbtafel angeordnet?
- In welchem Verhältnis steht der Farbton RAL 6024 zu existierenden Farbbereichen für nicht-retroreflektierende Materialien für Verkehrszeichen?
- Welche Auswirkungen hat die Bewitterung auf den Farbort von grünen Markierungen?
- Welche Auswirkung hat die Bewitterung auf die Helligkeit von grünen Markierungen?
- Welchen Einfluss üben verschiedene Nachstreumittel auf den Farbort aus?
- Wirkt sich der Einsatz von RAL 6024-grün gefärbten Griffigkeitsmitteln positiv auf die Farbtreue zum Soll-Wert RAL 6024 aus?
- Können transparente Griffigkeitsmittel das Verblassen ggf. reduzieren oder sogar verstärken?
- Welchen Einfluss übt die Oberflächentextur des Untergrunds auf den Farbort der grünen Markierung aus?
- Ist zur Sicherstellung einer ausreichenden Griffigkeit der grünen Markierung der EKL 1 die Applikation von Griffigkeitsmitteln erforderlich?
- Führt der Einsatz von nachgestreuten Reflexkörpern zu einem nach den Richtlinien für die Anlage von Landstraßen unerwünschten Retroreflexionsvermögen der grünen Markierung?
- Welchen Farbort weisen in der Praxis für die Markierung des Querschnitts EKL 1 applizierte grüne Markierungen auf?
- Welche Empfehlungen können für die Gestaltung eines Farbbereichs für grüne Markierungen der EKL 1 gegeben werden?

Zur Beantwortung der o. g. Fragen wurde folgendes Untersuchungskonzept erstellt:

- a) Messung der Normfarbwertanteile einer Auswahl von RAL-Präzisionsfarbkarten (RAL 6024 und weitere Grüntöne der 6000er-Reihe)
- b) Auswahl von zwei in der Praxis eingesetzten Markierungsmaterialien für verkehrstechnische Mittelstreifen der EKL 1
- c) Herstellung von grünen Markierungen im Farbton RAL 6024 als Vollstrich unter Variation der Materialeigenschaften (HS-Farbe und Kaltplastik, Nachstreumittel) und des Untergrundes (Prüfblech, Asphalt)

- d) visuelle Begutachtung der Proben und Messung der Normfarbwertanteile x , y und des Leuchtdichtefaktors β im Neuzustand
- e) Bewitterung der Proben für ein Jahr, visuelle Begutachtung der Proben und Messung der Normfarbwertanteile x , y und des Leuchtdichtefaktors β während der Bewitterung
- f) Sammlung von Ergebnissen von Farbmessungen an grünen Markierungen in RAL 6024, die in situ appliziert wurden
- g) Vergleich und Interpretation der Messwerte im Hinblick auf die o. g. Fragen

3.2 Proben

3.2.1 RAL-Präzisionsfarbkarten

Für das Projekt wurden semi-matte Einzelkarten aus dem Farbreger „RAL 840-HR“ (RAL CLASSIC) der 6000er-Reihe (Grün) ausgewählt. Neben dem RAL-Farbton 6024 wurden diejenigen RAL-Farben der 6000er-Reihe ausgewählt, die einen ähnlichen visuellen Eindruck wie der RAL-Farbton 6024 aufweisen. In der Tabelle 3-1 sind die verwendeten Farbkarten sowie der Farbabstand der Karte zum Urmuster laut Herstellerangaben aufgeführt. Die Farbtöne RAL 6018 und RAL 6026 waren nicht verfügbar.

Die Farbmaßzahlen des zugehörigen Urmusters (s. Tab 3-1) sowie der Farbabstand der Karten (s. Tab. 3-2) wurden nach DIN 5033⁴ durch den Hersteller unter folgenden Bedingungen ermittelt: Geometrie $d/8^\circ$, Normlichtart D65, 10° Normalbeobachter.

Tabelle 3-1: Farbmaßzahlen des Urmusters nach DIN 5033 (Herstellerangaben)

RAL-Farbton (HR)	Bezeichnung	X_{10}	Y_{10}	Z_{10}
6000	Patinagrün	13,1	17,3	16,5
6002	Laubgrün	8,3	11,3	6,8
6010	Grasgrün	11,5	15,4	8,2
6016	Türkisgrün	8,3	13,2	11,6
6017	Maigrün	15,1	20,3	10,4
6018	Gelbgrün	19,2	27,8	10,7
6024	Verkehrsgrün	12,4	20,0	14,0
6026	Opalgrün	6,9	10,8	11,4
6029	Minzgrün	8,2	14,1	9,3
6032	Signalgrün	12,5	19,0	13,5
6035	Perlgrün	nur visuelle Prüfung von Leuchtfarben durch die RAL gGmbH		
6037	Reingrün	12,3	21,5	8,4
6038	Leuchtgrün	nur visuelle Prüfung von Leuchtfarben durch die RAL gGmbH		

⁴ Ausgabe und Teil der DIN 5033 wurde nicht näher spezifiziert.

Tabelle 3-2: RAL-Farbkarten und Farbabweichung der Karte zum Urmuster (Herstellerangaben)

RAL-Farbtone (HR)	Bezeichnung	DE*	DL*	Da*	Db*	DC*	DH*	
6000	Patinagrün	0,22	-0,01	-0,14	-0,17	0,10	0,20	
6002	Laubgrün	0,17	0,08	0,05	-0,14	-0,13	0,07	
6010	Grasgrün	0,23	0,10	-0,06	-0,21	-0,11	0,18	
6016	Türkisgrün	0,19	0,03	0,07	-0,18	-0,10	0,16	
6017	Maigrün	0,22	0,00	-0,18	0,13	0,22	0,05	
6018	Gelbgrün	0,11	-0,03	-0,06	-0,09	-0,03	0,10	
6024	Verkehrsgrün	0,12	-0,09	-0,05	-0,06	0,03	0,08	
6026	Opalgrün	0,07	-0,01	0,06	0,02	-0,06	-0,02	
6029	Minzgrün	0,09	0,03	-0,08	-0,03	0,06	0,06	
6032	Signalgrün	0,15	-0,04	-0,05	-0,14	-0,01	0,15	
6035	Perlgrün	nur visuelle Prüfung von Leuchtfarben durch die RAL gGmbH						
6037	Reingrün	0,27	0,11	0,06	-0,23	-0,19	0,15	
6038	Leuchtgrün	nur visuelle Prüfung von Leuchtfarben durch die RAL gGmbH						

3.2.2 Testfeld

Für die Untersuchungen wurden auf dem Gelände der BAST 6 Markierungen appliziert. Zur Applikation wurden eine HS-Farbe und eine Kaltspritzplastik im Farbton RAL 6024 mit zwei verschiedenen Nachstreumitteln ausgewählt. Die Applikation der Markierungen erfolgte am 19.11.2015 auf der Zufahrt der Freifläche zur BAST. In der Abbildung 3-1 ist die Lage des Testfelds auf dem Gelände der BAST eingetragen.

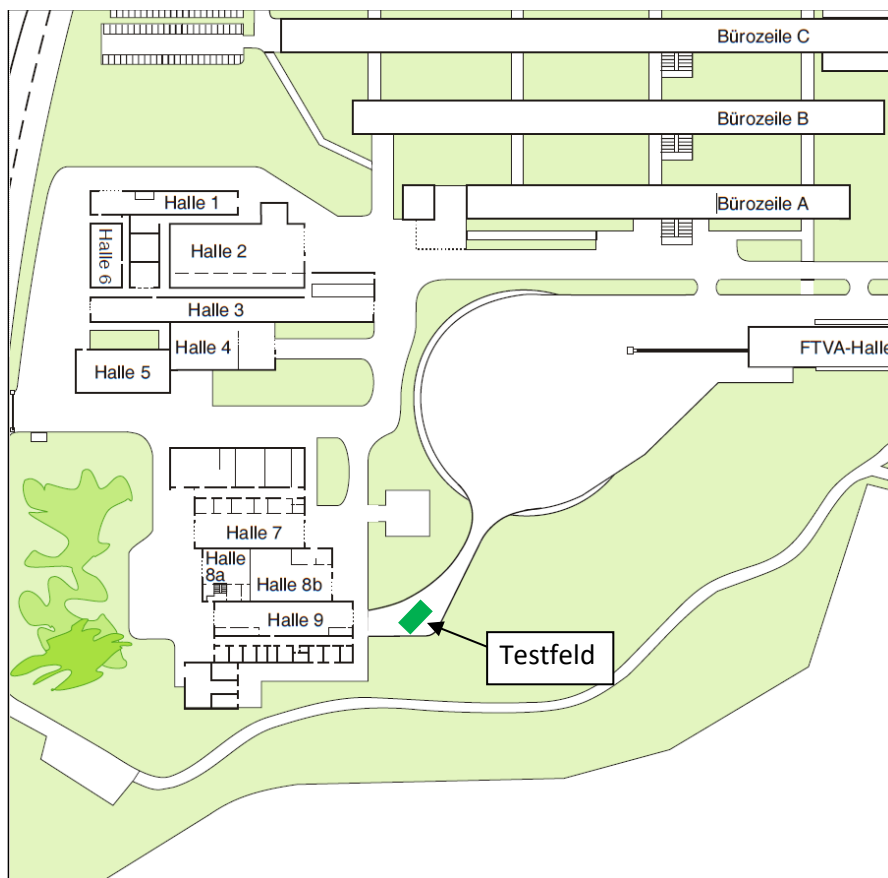


Abbildung 3-1: Position des Testfelds auf dem Gelände der BAST

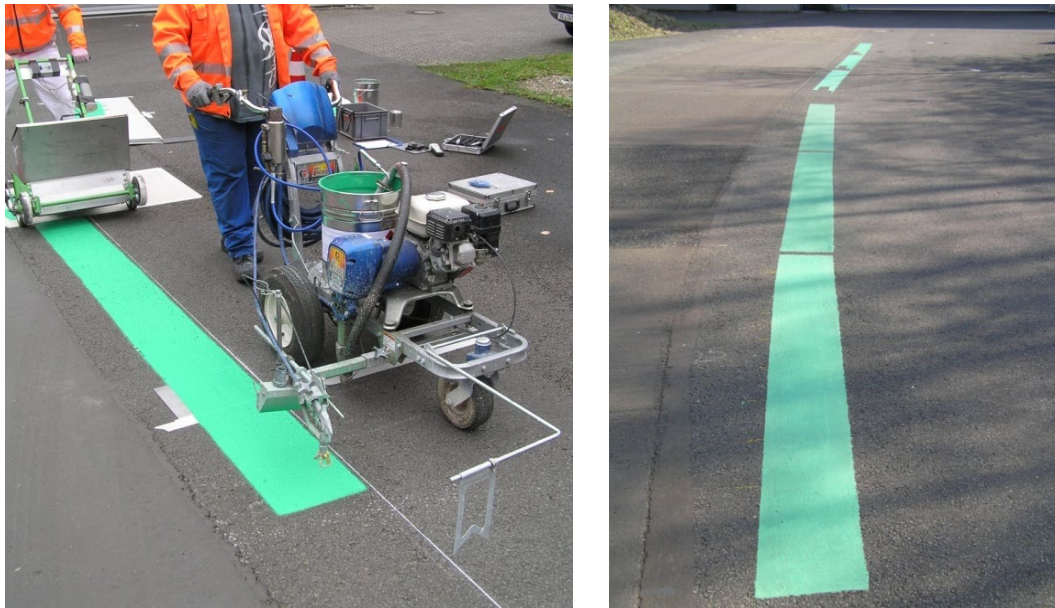


Abbildung 3-2: Applikation der HS-Farbe und Nachstreumittel für Variante HS1 (links) und Ansicht des Testfelds (rechts)

Die Abbildung 3-2 zeigt die Applikation der HS-Farbe sowie das fertiggestellte Testfeld.

Die Applikation wurde auf trockener Fahrbahnoberfläche bei einer Lufttemperatur von ca. 14 °C, Decktemperatur von ca. 14 °C und relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 70 % durchgeführt (kein Niederschlag). Zur Applikation der HS-Farbe wurde eine handgeführte Markiermaschine eingesetzt, die Kaltspritzplastik wurde aufgrund eines Defekts an der Markiermaschine behelfsweise manuell appliziert. Das Testfeld besteht aus insgesamt sechs einzelnen Streifen mit Abmessungen von je 2,50 m x 0,30 m. Drei Streifen wurden aus HS-Farbe, drei Streifen aus Kaltplastik hergestellt, wobei die Art des Nachstreumittels variiert wurde. Der Untergrund ist ein Splittmastixasphalt SMA 0/11.

Nähere Angaben zu den eingesetzten Materialien sind in Tabelle 3-3 enthalten.

Tabelle 3-3: Markierung auf BAST-Testfeld (Untergrund aus Asphalt)

Nr.	Markierungsstoff	Dicke / Applikationsweise	Nachstreumittel	Menge NSM / Applikationsweise
HS1	High Solid-Farbe in Verkehrsgrün RAL 6024	etwa 0,6 mm maschinell	Reflexkörper und transparente Griffigkeitsmittel	350 g/m ² (gemäß Einstellung Perlstreuer) Perlstreuer handgeschoben
HS2			gefärbte Griffigkeitsmittel Glasgranulat 0,6-1,0 mm in Verkehrsgrün 6024	unbekannt manuell gestreut
HS3			-	-
KSP1	Kaltspritzplastik in Verkehrsgrün RAL 6024	etwa 0,6 mm manuell	Reflexkörper und transparente Griffigkeitsmittel	350 g/m ² (gemäß Einstellung Perlstreuer) Perlstreuer handgeschoben
KSP2			gefärbte Griffigkeitsmittel Glasgranulat 0,6-1,0 mm in Verkehrsgrün 6024	unbekannt manuell gestreut
KSP3			-	-

3.2.3 Prüfbleche

Die Prüfbleche für die HS-Farbe wurden bei der Applikation der Markierungen auf dem Testfeld hergestellt. Die Prüfbleche mit Kaltplastik mussten verworfen werden, da bei der Herstellung die Kaltplastik bereits teilweise ausgehärtet war. Nachträglich wurden drei Prüfbleche mit Kaltplastik angefertigt sowie eine weitere Variante mit Griffigkeitsmitteln aus Glasbruch (s. Tab. 3-4). Je Variante wurde ein Prüfblech hergestellt.

Tabelle 3-4: Markierung auf Prüfblechen

Nr.	Markierungsstoff	Dicke / Applikationsweise	Nachstreumittel	Menge NSM / Applikationsweise
HS1	High Solid-Farbe in Verkehrsgrün RAL 6024	etwa 0,6 mm maschinell	Reflexkörper und transparente Griffigkeitsmittel	350 g/m ² (gemäß Einstellung Perlstreuer) Perlstreuer handgeschoben
HS2			gefärbte Griffigkeitsmittel Glasgranulat 0,6-1,0 mm in Verkehrsgrün 6024“	unbekannt manuell gestreut
HS3			-	-
KSP1	Kaltspritzplastik in Verkehrsgrün RAL 6024	etwa 0,6 mm	Reflexkörper und transparente Griffigkeitsmittel	430 g/m ²
KSP2			gefärbte Griffigkeitsmittel Glasgranulat 0,6-1,0 mm in Verkehrsgrün 6024“	430 g/m ²
KSP3			-	-
KSP4			Griffigkeitsmittel (transparent, Glasbruch)	430 g/m ²

3.2.4 Nachstreumittel

Für die Variante 1 wurde das Nachstreumittelgemisch „NSM1“ aus Reflexkörpern (70 %) und transparenten Griffigkeitsmitteln (30 %) eingesetzt. Bei der Variante 2 wurde das Grün gefärbte Griffigkeitsmittel „NSM2“ nachgestreut. Für die Variante 4 wurden Griffigkeitsmittel aus gebrochenem Glas verwendet („NSM3“).

In der Abbildung 3-3 (links) ist die Mikroskopaufnahme des untersuchten Nachstreumittelgemisches „NSM1“ aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln dargestellt (50fache Vergrößerung). Bei den runden Elementen handelt es sich um die Reflexkörper aus Glas; die kantigen Elemente stellen Griffigkeitsmittel aus Glasbruch dar. Die Abbildung 3-3 (rechts) zeigt die grün gefärbten Griffigkeitsmittel bei 20facher Vergrößerung. Eine Rückstellprobe des dritten Nachstreumittels aus reinem Glasbruch lag aufgrund der externen Applikation nicht vor.

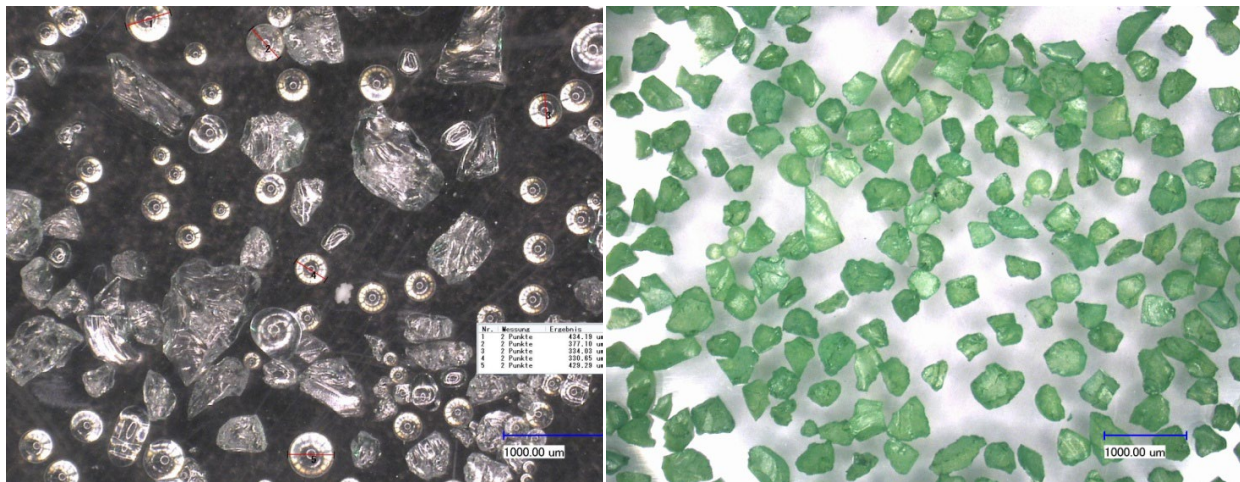


Abbildung 3-3: Mikroskopaufnahme des Nachstreutelmischung aus transparenten Griffigkeitsmitteln und Reflexkörpern bei 50facher Vergrößerung (links) und der grünen Griffigkeitsmittel bei 20facher Vergrößerung (rechts)

3.2.5 Bezeichnung der Markierungssysteme und Nachstreutelmittel

In der Tabelle 3-5 sind die Bezeichnungen der untersuchten Varianten an Markierungssystemen und Nachstreutelmitteln zusammengefasst.

Tabelle 3-5: Kurzbezeichnung der untersuchten Markierungssysteme und Nachstreutelmittel

Bezeichnung des Markierungssystems oder Nachstreutelmittels	Markierungsstoff	Nachstreutelmittel	Appliziert auf welchem Untergrund?
HS1	HS-Farbe	Reflexkörper und transparente Griffigkeitsmittel (70:30)	Prüfblech und Asphalt
HS2	HS-Farbe	grün gefärbte Griffigkeitsmittel	
HS3	HS-Farbe	-	
KSP1	Kaltplastik	Reflexkörper und transparente Griffigkeitsmittel (70:30)	
KSP2	Kaltplastik	grün gefärbte Griffigkeitsmittel	
KSP3	Kaltplastik	-	
KSP4	Kaltplastik	Griffigkeitsmittel (Glasbruch)	
NSM1	-	Reflexkörper und transparente Griffigkeitsmittel (70:30)	Prüfblech
NSM2	-	grün gefärbte Griffigkeitsmittel	
NSM3	-	Glasbruch	

3.3 Verkehrsbelastung und Bewitterung

Das Testfeld liegt mittig in der Zufahrt zur Freifläche der BAST (s. Abb. 3-1). Die Zufahrt wird nur vereinzelt von Mitarbeitern der BAST befahren; eine regelmäßige signifikante Verkehrsbelastung des Testfelds lag nicht vor.

Die Prüfbleche wurden einer natürlichen Bewitterung auf dem Bewitterungsstand der BAST (Referat V3) unterzogen (s. Abb. 3-4). Die Konstruktion des Bewitterungsstandes entspricht DIN EN ISO 877-1:2011. Gemäß Abschnitt 4.1.1.5.2 der EN 12899-1 wurden die Prüfbleche auf dem Bewitterungsstand in einem Winkel von 45° zur Horizontalen und zum Äquator befestigt.

Die Bewitterung der Prüfbleche begann am 05.01.2016 und wurde am 23.01.2018 abgeschlossen.



Abbildung 3-4: Bewitterungsstand der BAST

3.4 Messung

Die Messung des Farbortes erfolgte nach DIN EN 1436:2009 mit einem portablen Spektrometer der Firma Hunterlab mit der Bezeichnung „Miniscan XE Plus“.

Je Prüfblech wurde die Messung auf sechs regelmäßig über die Probenoberfläche verteilten Messpunkten durchgeführt. Die einheitliche Position der Messung wurde durch Verwendung einer Schablone sichergestellt.

Vor jeder Messung wurden die Proben des Testfelds mit Wasser und einer weichen Bürste gereinigt, um Staub und losen Schmutz zu entfernen. Nach der Reinigung wurden die Proben vollständig getrocknet.

Die Nachstreumittel (NSM1 und NSM2) wurden als loses Haufwerk gemessen, d. h. in ein Schälchen gefüllt und bei ausreichender Bedeckung des Bodens gemessen. Ergänzend wurden Aufnahmen mit einem Digitalmikroskop angefertigt.

Punktuell wurde an der Probe KSP1 und KSP2 auf Asphalt der Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion R_L gemäß DIN EN 1436:2009 mit einem portablen Messgerät der Firma Zehntner (ZRM 1013) bestimmt. Zudem wurde am Testfeld die Griffigkeit der Markierungen im Neuzustand mit dem SRT-Pendelgerät gemäß DIN EN 1436:2009 gemessen.

Die eingesetzten Messgeräte werden im Rahmen der Akkreditierung der Prüfstelle Straßenausstattung regelmäßig gewartet und kalibriert.

Aufbereitung der Messwerte

Aus den vorliegenden Einzelmesswerten wurden das arithmetische Mittel sowie die Standardabweichung berechnet. Einzelwerte außerhalb des Bereichs „arithmetisches Mittel $\pm 2 \cdot$ Standardabweichung“ wurden auf Plausibilität und Übertragungsfehler geprüft; Werte außerhalb des Bereichs „arithmetisches Mittel $\pm 3 \cdot$ Standardabweichung“ wurden verworfen.

4 Ergebnisse

4.1 Normfarbwertanteile der RAL-Farbtöne

Hinweis: Im Folgenden wird hinsichtlich der RAL-Farbtöne auf die durch Messungen im Rahmen dieses Projekts bestimmten Normfarbwertanteile Bezug genommen. Eine Verallgemeinerung der hier erfolgten Verknüpfung von RAL-Farbtönen und x,y-Werten ist nicht zulässig.

Die an den vorliegenden Farbkarten bestimmten Normfarbwertanteile der RAL-Töne für Grün sind in Tabelle 4-1 aufgeführt. Die gemessenen Normfarbwertanteile des RAL-Farbtönen 6024 „Verkehrsgrün“ sind $x = 0,242$ und $y = 0,459$ (D65, 0°/45°, 2° Normalbeobachter).

Tabelle 4-1: Gemessene Normfarbwertanteile x, y der untersuchten RAL-Farbkarten

RAL-Farbtönen	Bezeichnung	x	y
6000	Patinagrün	0,263	0,379
6002	Laubgrün	0,302	0,491
6010	Grasgrün	0,316	0,472
6016	Türkisgrün	0,220	0,414
6018	Gelbgrün	0,318	0,521
6017	Maigrün	0,317	0,479
6024	Verkehrsgrün	0,242	0,460
6026	Opalgrün	0,196	0,380
6029	Minzgrün	0,226	0,483
6032	Signalgrün	0,256	0,442
6035	Perlgrün	0,276	0,480
6037	Reingrün	0,263	0,564
6038	Leuchtgrün	0,223	0,634

In der Abbildung 4-1 sind die ermittelten Farborte ausgewählter RAL-Karten der 6000er-Reihe (Grün) in der Normfarbtafel für das 2°-Normvalenz-System dargestellt. Der RAL-Farbtönen „Verkehrsgrün“ ist mit der Beschriftung „6024“ gekennzeichnet. Vergleichend sind die Farbbereiche für weiße und gelbe (Y2) Markierungen gemäß DIN EN 1436 sowie der Farbbereich für Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen für Grün für nicht-retroreflektierende Materialien im Neuzustand (gestrichelte Umrandung) und Gebrauchszustand (durchgehende grüne Linie) gemäß DIN 6171 aufgeführt.

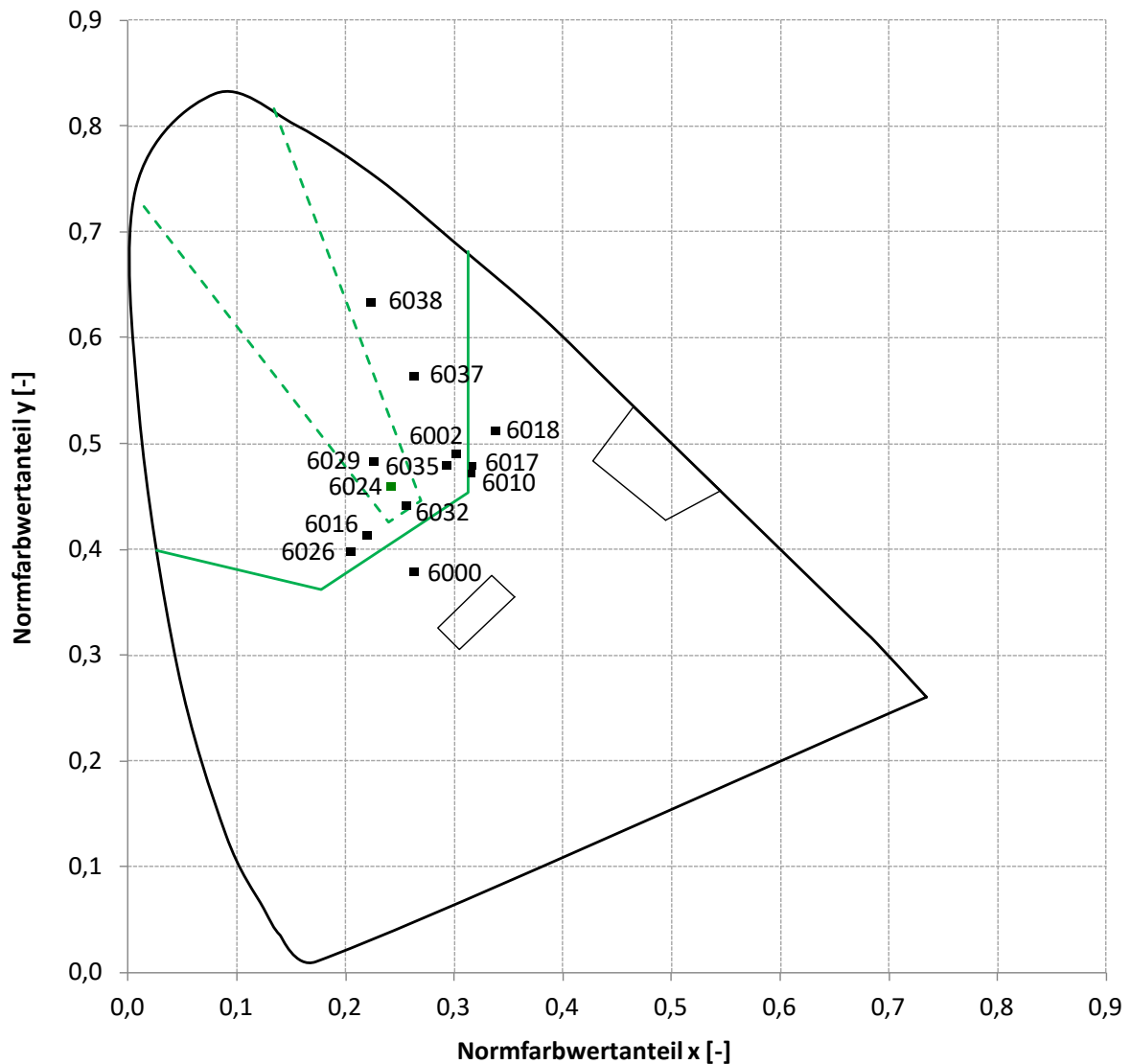


Abbildung 4-1: Farborte von RAL 6024 und weiteren RAL-Grüntönen aus der 6000er-Reihe gemäß Messung der BAST sowie Farbbereiche nach DIN 6171 (Grün) und EN 1436 (Weiß und Gelb) in der Normfarbtafel

Generell ist festzustellen, dass die Farborte der hier untersuchten RAL-Farben nicht gleichmäßig in der Normfarbtafel verteilt sind, d. h. zwischen benachbarten Farborten kein konstanter Abstand in der Normfarbtafel vorliegt.

4.2 Farbort von RAL 6024 im Vergleich zu standardisierten Farbbereichen

In der Abbildung 4-2 sind die Farborte der o. g. RAL-Grüntöne einer Auswahl der aus dem Verkehrswesen bekannten Bereiche für Grün für nicht-retroreflektierende Verkehrszeichen (s. Abschnitt 2.3) gegenübergestellt. Der Farbbereich aus DIN 6171 für den Gebrauchszustand ist identisch mit den Bereichen nach EN 12899-1 für Grün (NR1, Tab. 16), EN 12899-1 für Dunkelgrün (Tab. 18) und TLP VZ für Grün (Tab. 18).

Der RAL-Farbton 6024 befindet sich etwa mittig im Farbbereich für Grün gemäß **EN 12899-1:2008 NR2** (Tab. 17) und wird von ihm vergleichsweise eng umrandet.

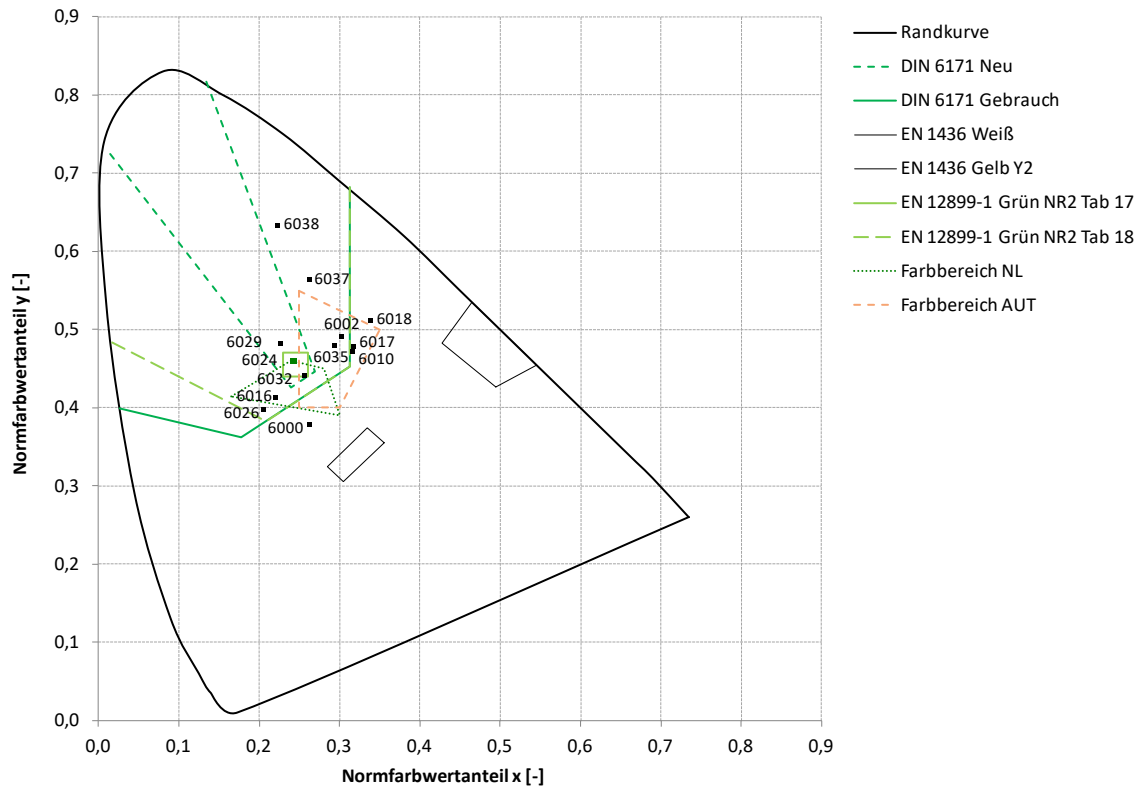


Abbildung 4-2: Farbbereiche für nicht-retroreflektierende grüne Verkehrszeichen und RAL-Grüntöne

Weiterhin liegt RAL 6024 in der Längsachse mittig, jedoch nah an der dem Bereich für Weiß nach EN 1436 zugewandten Grenze des Farbbereichs nach **DIN 6171** für den Neuzustand (sowie analog in den identischen Bereichen nach EN 12899-1 und TLP VZ). Im Hinblick auf den Bereich für den Gebrauchszustand nach DIN 6171 befindet sich der Farbton RAL 6024 ebenfalls mittig auf der Längsachse, jedoch insgesamt im Bereich des helleren Grüns.

RAL 6024 liegt etwa auf der oberen Ecke des trapezförmigen Bereichs aus den **Niederlanden** und geringfügig außerhalb des Bereichs aus **Österreich**.

Der Farbbereich nach EN 12899-1 NR2 (Tab 17) für Grün umfasst neben dem RAL-Ton 6024 auch den RAL-Ton 6032 „Signalgrün“. Die RAL-Töne 6024, 6029 „Minzgrün“ und 6032 befinden sich innerhalb des Farbbereichs gemäß DIN 6171 für den Neuzustand. In den Bereich nach DIN 6171 für den Gebrauchszustand fallen die RAL-Töne 6002 „Laubgrün“, 6016 „Türkisgrün“, 6024, 6026, 6029, 6032, 6035, 6037 „Reingrün“ und 6038 „Leuchtgrün“. Der in den Niederlanden verwendete Bereich beinhaltet die Farbtöne RAL 6016, RAL 6024 (auf der Grenzlinie) und RAL 6032.

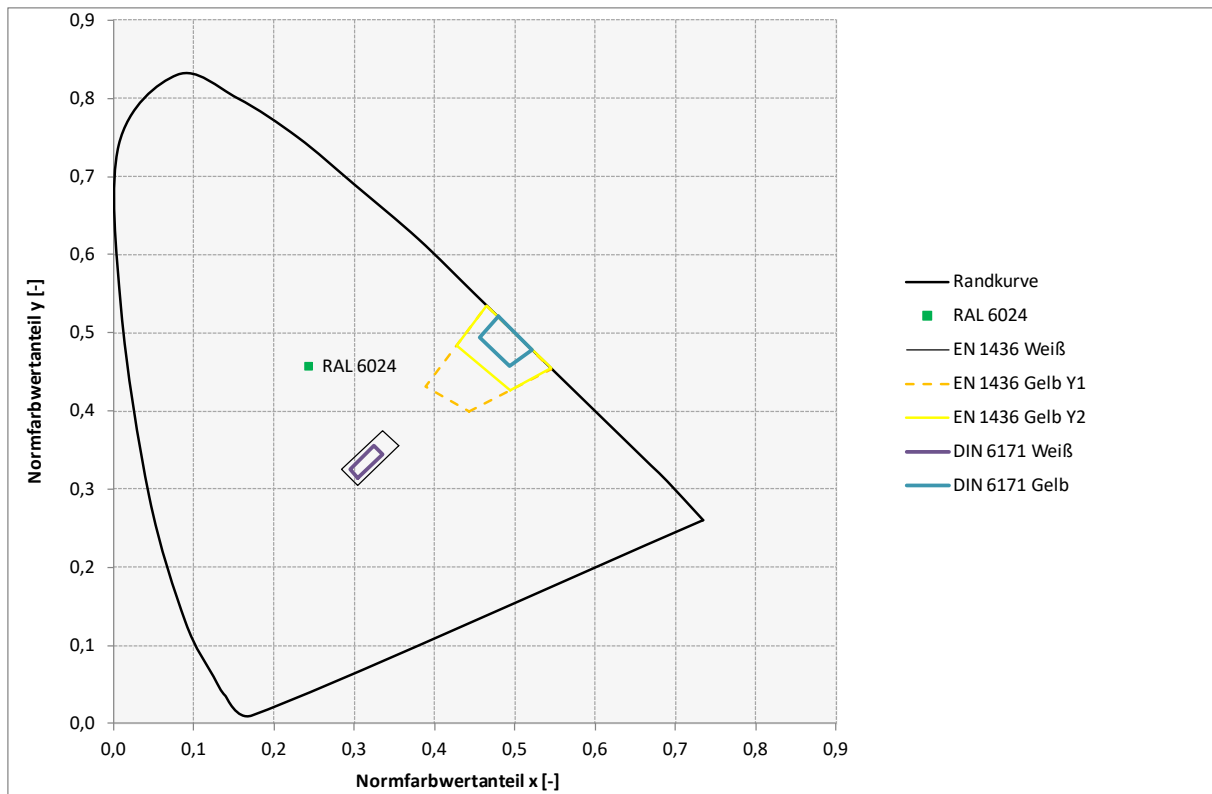


Abbildung 4-3: Farbbereiche für die Normfarbwertanteile x, y für Weiß und Gelb nach EN 1436 und DIN 6171

Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass die in der DIN 6171 aufgeführten Bereiche für Weiß und Gelb für nicht-retroreflektierende Materialien (Neuzustand) enger gefasst sind als in EN 1436 (s. Abbildung 4-3).

4.3 Neuzustand

4.3.1 Beschaffenheit der Proben

Die Oberfläche der grünen Markierung bei HS1 ist mehrheitlich mit Reflexkörpern aus Glas oder - zu einem geringeren Anteil – mit Griffigkeitsmitteln bedeckt (s. Abb. 4-4, links). Der Anteil der von Nachstreumitteln bedeckten Oberfläche ist höher als bei HS2 mit gefärbten Griffigkeitsmitteln (s. Abb. 4-4, rechts) und als bei den Mustern KSP1 und KSP2 (s. Abb. 4-5). Bei der Variante KSP1 sind die Nachstreumittel deutlich tiefer eingesunken (> 60 % bei KSP1, < 60 % bei HS1), so dass der Anteil des sichtbaren Markierungsstoffs - trotz der höheren Nachstreumittelmenge bei KSP1 - bei HS1 größer ist als bei KSP1.

Die Verteilung der Griffigkeitsmittel bei Variante HS2 ist aufgrund der Handstreuung teilweise inhomogen, wie an den Streifen dunklerer Färbung zu erkennen ist (s. Anhang, Abb. A-1).

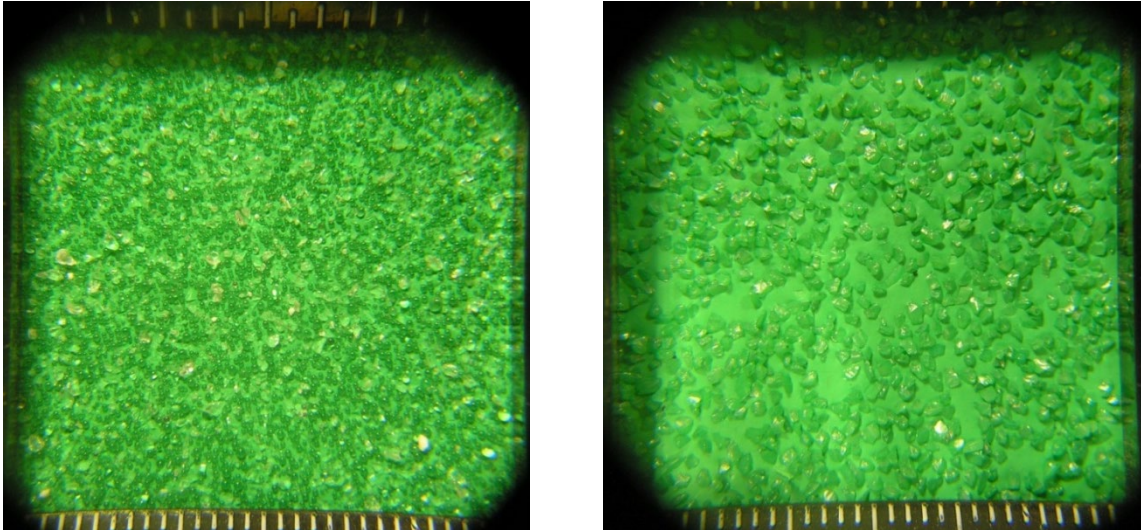


Abbildung 4-4: Aufnahme der Probe im Neuzustand mit Handlupe, HS1 (links) und HS2 (rechts)

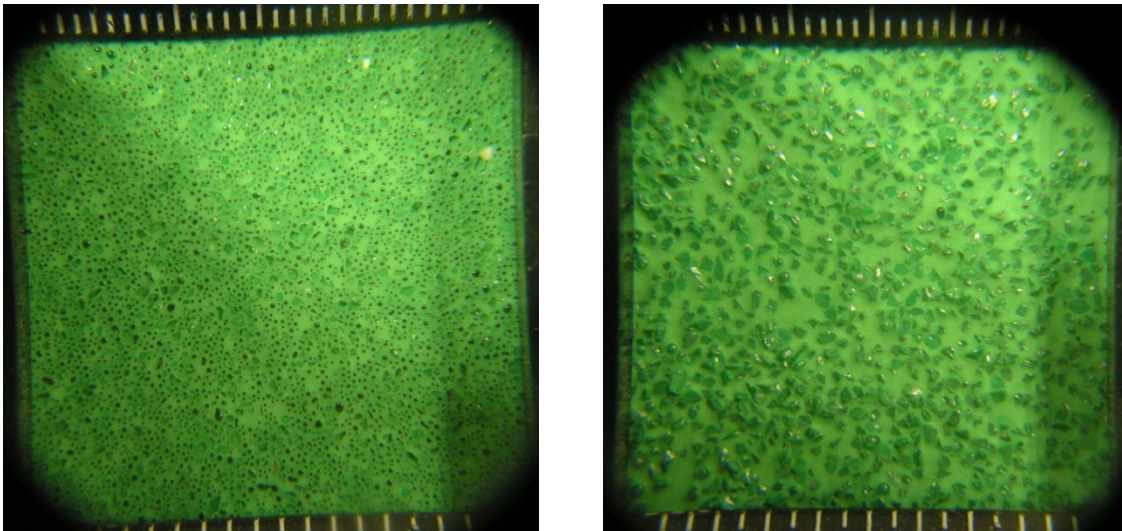


Abbildung 4-5: Aufnahme der Probe im Neuzustand mit Handlupe, KSP1 (links) und KSP2 (rechts)

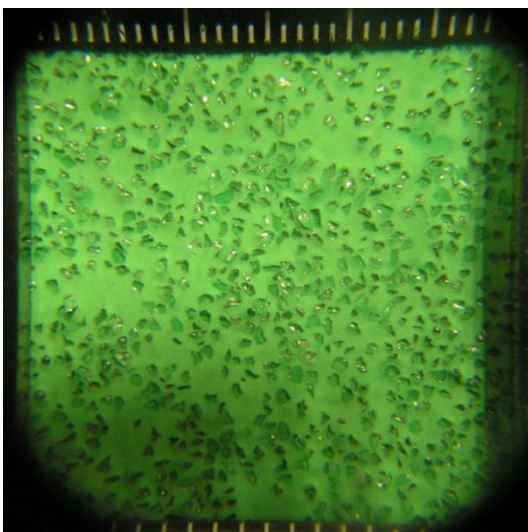


Abbildung 4-6: Aufnahme der Probe im Neuzustand mit Handlupe, KSP4

Die Abbildung 4-6 zeigt die Oberfläche der Probe KSP4 mit Glasgranulat als Griffigkeitsmittel.

Weitere Abbildungen sind im Bildanhang aufgeführt.

4.3.2 Visueller Eindruck, Vergleich mit RAL-Farbkarte 6024

Visuell unterscheiden sich die untersuchten Varianten geringfügig hinsichtlich der Sättigung und Helligkeit. Beispielsweise wird die Variante 2 mit grün gefärbten Griffigkeitsmitteln visuell im Neuzustand etwas dunkler wahrgenommen als die Variante 3 ohne Nachstreumittel.

Ein nicht-standardisierter visueller Vergleich zwischen der RAL-Farbkarte 6024 und den angefertigten Mustern im Neuzustand zeigt, dass ein wahrnehmbarer Farbkontrast zwischen den Proben und der RAL-Farbkarte 6024 besteht. Der Kontrast wird besonders stark bei der Variante 3 ohne Nachstreumittel wahrgenommen. Die Proben weisen im Vergleich zur RAL-Karte 6024 einen helleren, weniger gesättigten Grünton auf. Beispielhaft ist eine bei senkrechter Betrachtung unter Kunstlicht angefertigte Aufnahme der RAL-Karte 6024 und der HS-Farbe ohne Nachstreumittel (HS3) in Abbildung 4-7 dargestellt.



Abbildung 4-7: HS-Farbe 3 (ohne Nachstreumittel), Blech und RAL-Farbkarte 6024

Bei den Varianten HS2 und KSP2 wird der Farbkontrast zur Farbkarte RAL 6024 als etwas geringer empfunden als zwischen den Varianten HS3 und KSP3 ohne Nachstreumittel.

4.3.3 Farbort der Nachstreumittel im Neuzustand

Die ermittelten Farborte der Nachstreumittel-Varianten 1 „Reflexkörper und Griffigkeitsmittel“ und 2 „gefärbte Griffigkeitsmittel“ sind in der Tabelle 4-2 dargestellt.

Tabelle 4-2: Normfarbwertanteile x, y und Y des reinen Nachstreumittels

Variante	Y	x	y
NSM1	62,91	0,3146	0,3352
NSM2	14,43	0,2689	0,4166

4.3.4 Farborte der Proben im Neuzustand

Die Messung der Proben auf Prüfblechen im Neuzustand wurde kurz vor Beginn der Bewitterung am 05.01.16 durchgeführt. Die Muster aus Kaltplastik wurden im Dezember 2015 appliziert, die Muster aus HS-Farbe bereits am 19.11.15. Die Muster wurden bis zum Beginn der Bewitterung vor Bewitterung geschützt in einem Lagerraum aufbewahrt. Der Vergleich der Messwerte kurz nach der Applikation am 19.11.15 und am 05.01.16 zeigt, dass keine erkennbare Verschiebung des Farbortes stattgefunden hat.

In den Abbildungen 4-8 bis 4-11 sind für die Markierungen aus Kaltplastik und HS-Farbe für die untersuchten Variationen die ermittelten Farborte dargestellt. Ergänzend sind die Farborte der Nachstreumittel NSM1 (Reflexkörper und transparente Griffigkeitsmittel) sowie NSM2 (gefärbte Griffigkeitsmittel) eingetragen.

Bei der Markierung aus HS-Farbe sind die Farborte der Varianten 1 bis 3 unabhängig von der Applikation auf dem Prüfblech oder Asphalt nahezu deckungsgleich. Bei der Markierung aus Kaltplastik auf Prüfblechen liegen die Punkte der Varianten KSP1, KSP2 und KSP4 in einem engen Bereich, während sich der Punkt der Variante KSP2 (KSP mit gefärbten Griffigkeitsmittel) von den anderen Punkten abhebt: Er liegt etwa auf dem Punkt des Nachstreumittels NSM2 (gefärbte Griffigkeitsmittel) etwas weiter in Richtung der Farbe Weiß verschoben. Ähnlich verhält es sich bei den auf Asphalt applizierten Proben KSP1 bis KSP3, wobei hier die Varianten KSP1 (Reflexkörper und Griffigkeitsmittel) und KSP3 (ohne Nachstreumittel) leicht voneinander abweichen.

Bei den Markierungen aus HS-Farbe sind keine signifikanten Abweichungen zwischen dem am Blech und bei der Markierung auf Asphalt festzustellen. Bei der Variante 3 (gelb, ohne Nachstreumittel) aus Kaltplastik wurde ein vergleichsweise großer Abstand zwischen den Farborten der Markierung auf Blech und auf Asphalt festgestellt.

Alle untersuchten Varianten sind gegenüber dem Farbort von RAL 6024 maßgeblich in Richtung des Farbbereichs Weiß nach EN 1436 bzw. dem Unbuntpunkt verschoben und liegen mit Ausnahme von KSP3 (Feld) außerhalb des Bereichs gemäß DIN 6171 für den Neuzustand.

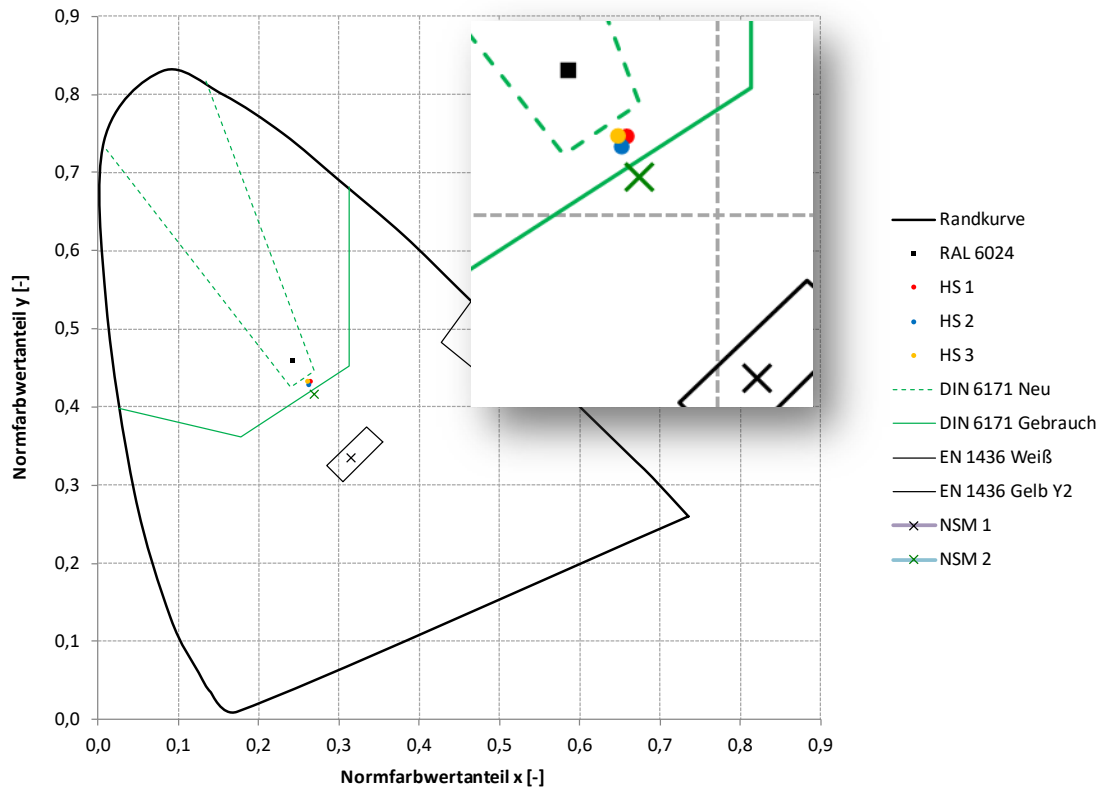


Abbildung 4-8: HS-Farbe, Neuzustand (05.01.16), Bleche

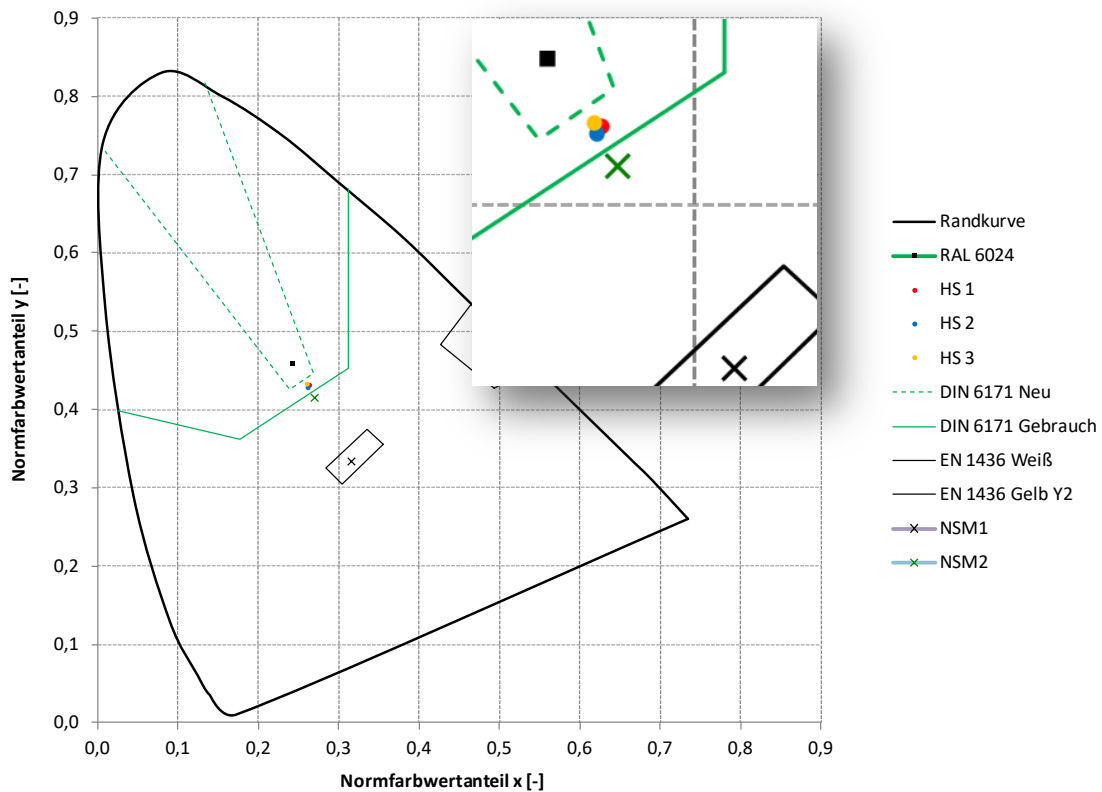


Abbildung 4-9: HS-Farbe, Neuzustand, Feld (19.11.15)

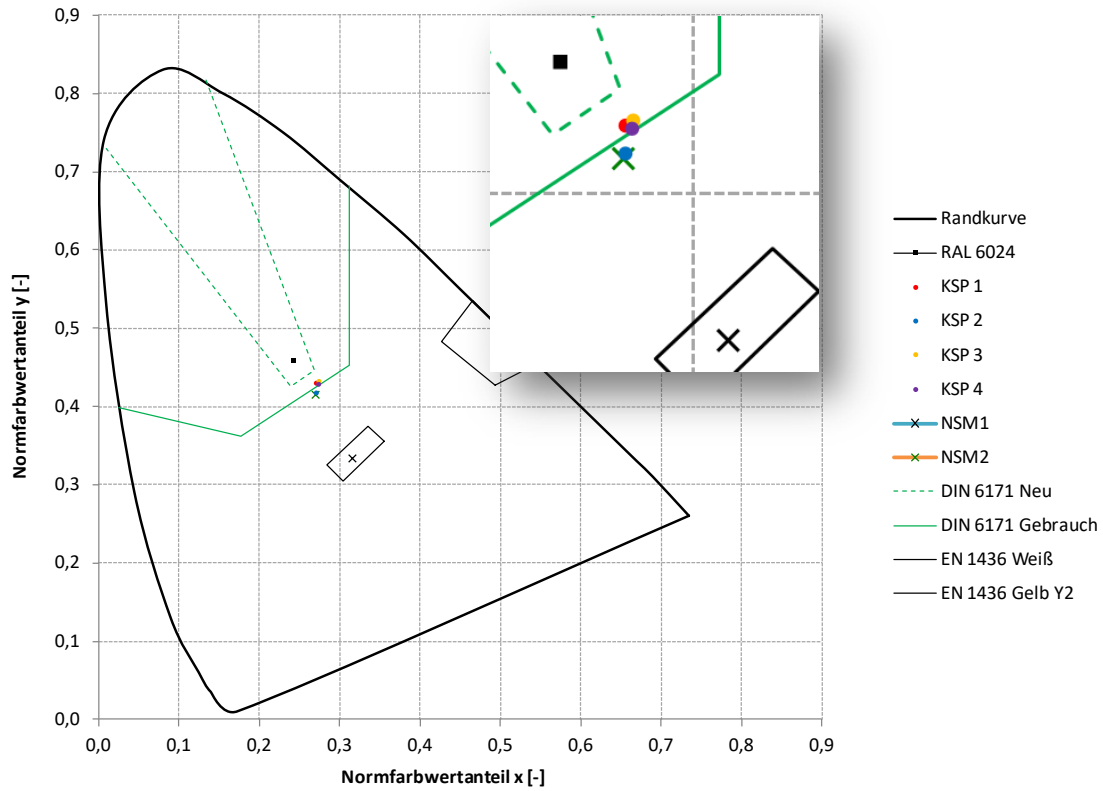


Abbildung 4-10: KSP, Neuzustand, Bleche (05.01.16)

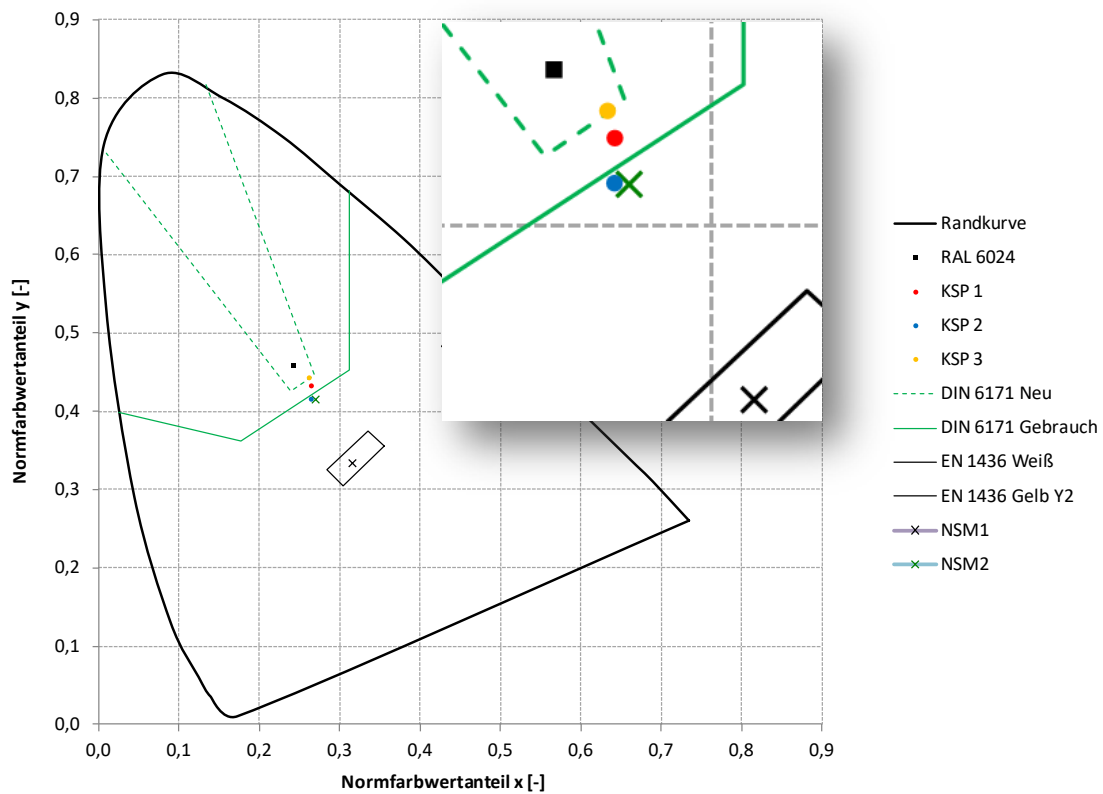


Abbildung 4-11: KSP, Neuzustand, Feld (19.11.15)

In den Abbildungen 4-12 und 4-13 sind die Farborte der HS-Farbe und der Kaltspritzplastik im Neuzustand den Farborten der RAL-Farbtöne gegenübergestellt. Die Abbildungen zeigen, dass die untersuchten Varianten näher am Farbort des RAL-Farbtons 6032 „Signalgrün“ liegen als am Farbort für RAL 6024. Zudem sind sie über den RAL-Farbtone 6032 in Richtung der Farbe Weiß verschoben.

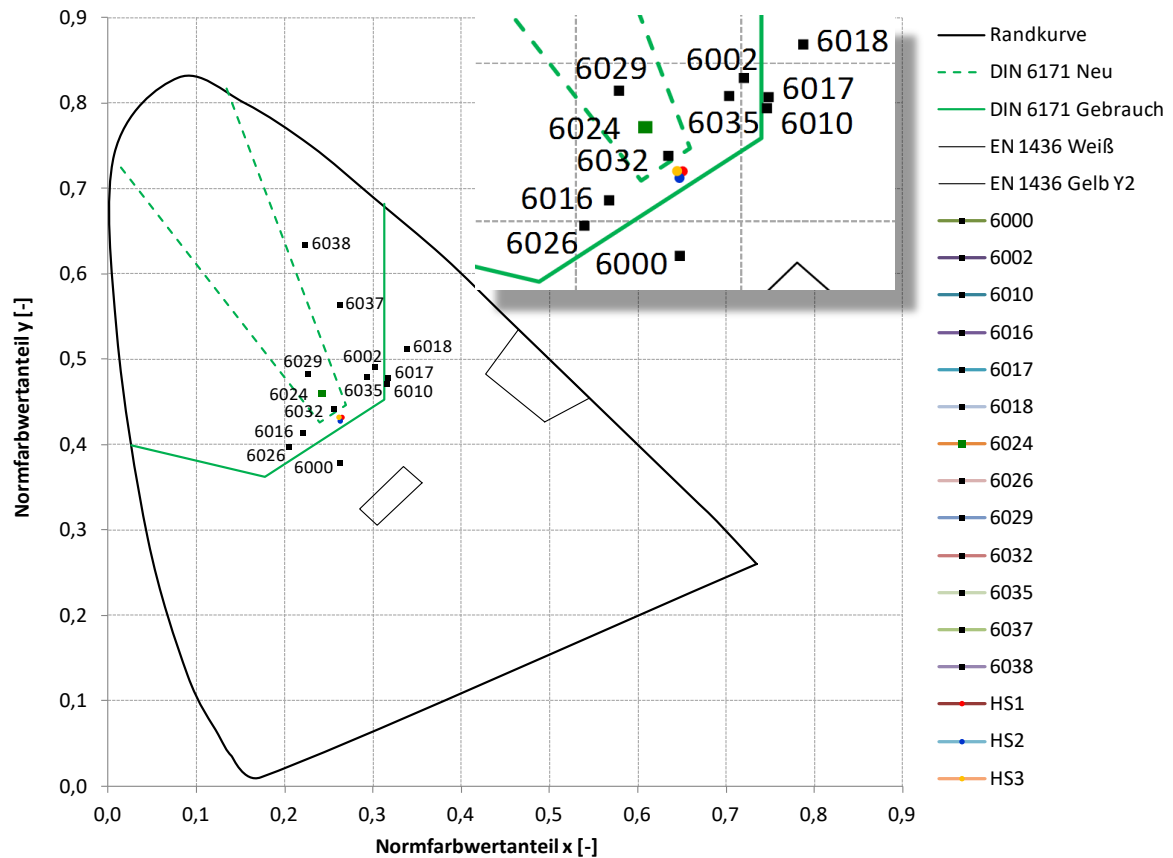


Abbildung 4-12: RAL-Farbtöne und Farborte der HS-Farbe im Neuzustand

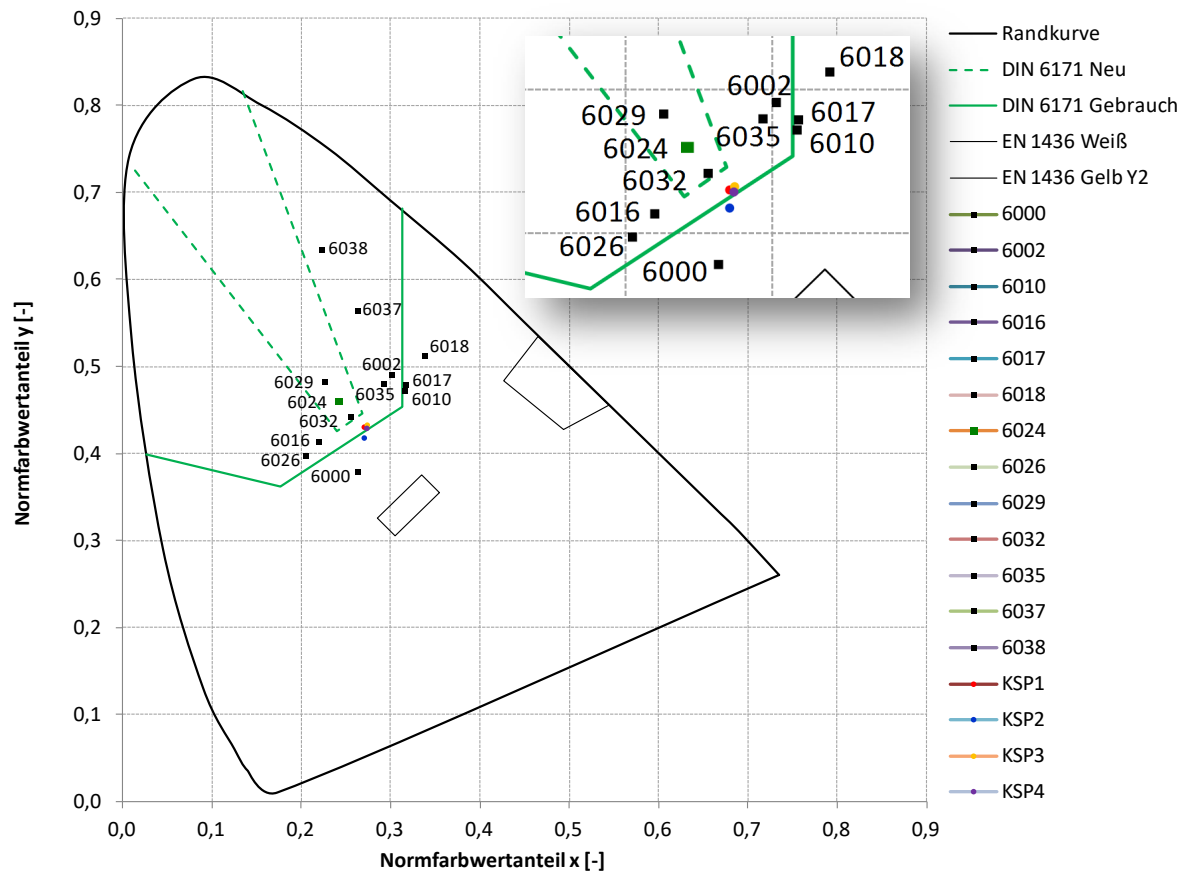


Abbildung 4-13: RAL-Farbtöne und Farborte der Kaltspritzplastik im Neuzustand

4.3.5 Leuchtdichtefaktor β im Neuzustand

Die zu den Normfarbwertanteilen gehörenden Messwerte für den Leuchtdichtefaktoren β der Proben im Neuzustand sind in der Tabelle 4-3 aufgeführt.

Tabelle 4-3: Messwerte von β im Neuzustand, Prüfbleche und Testfeld

Probe	Leuchtdichtefaktor β im Neuzustand Prüfbleche (05.01.16)	Leuchtdichtefaktor β im Neuzustand Testfeld (19.11.15)
[-]	[-]	[-]
HS1	0,1854	0,1805
HS2	0,1898	0,1826
HS3	0,2484	0,2417
KSP1	0,1730	0,1266
KSP2	0,1794	0,1466
KSP3	0,2358	0,1897
KSP4	0,1938	-

Die Werte von β liegen insgesamt in einem Bereich von etwa 0,17 bis 0,25. Bei den Varianten ohne Nachstreumittel (Nr. 3) wurden jeweils höhere Werte als bei den Varianten mit Nachstreumitteln gemessen. Zwischen den Messwerten vom Testfeld und den Prüfblechen besteht bei der HS-Farbe eine gute Übereinstimmung, während bei der Kaltplastik geringere Werte auf dem Testfeld gemessen wurden.

Tabelle 4-4: Gemessene Leuchtdichtefaktoren β der RAL-Farbkarten und Hellbezugswerte (LRV)

RAL-Farbtone	Bezeichnung	β	Hellbezugswert (LRV) gemäß RAL GmbH
[-]	[-]	[-]	[-]
6000	Patinagrün	0,1445	17,11
6002	Laubgrün	0,0856	11,18
6010	Grasgrün	0,1381	15,18
6016	Türkisgrün	0,1011	12,99
6017	Maigrün	0,1838	20,05
6018	Gelbgrün	0,2506	27,51
6024	Verkehrsgrün	0,1688	19,75
6026	Opalgrün	0,0783	10,75
6029	Minzgrün	0,1133	13,93
6032	Signalgrün	0,1655	18,79
6035	Perlgrün	0,0611	10,60
6037	Reingrün	0,1929	21,38
6038	Leuchtgrün	0,3312	29,78

In der Tabelle 4-4 sind ergänzend die gemessenen Leuchtdichtefaktoren β der RAL-Farbkarten sowie die von der RAL GmbH publizierten Hellbezugswerte⁵ aufgeführt. Als Plausibilitätskontrolle wurden zunächst die gemessenen β -Werte mit den von der RAL GmbH veröffentlichten Hellbezugswerten verglichen. Zwischen den gemessenen und den publizierten Werten besteht ein nahezu linearer Zusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,97$.

Die RAL-Farbtöne unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich des Farbortes, sondern auch in ihrer Helligkeit: In Abhängigkeit des jeweiligen RAL-Farbtone wurden Werte von $\beta = 0,06$ bis $0,33$ gemessen. Besonders hohe Werte von β wurden bei RAL 6038 „Leuchtgrün“ festgestellt. Der Leuchtdichtefaktor β von RAL 6024 liegt in einem mittleren Bereich bei ca. $0,17$. Eine Abhängigkeit von der Lage des betrachteten RAL-Farbtone in der Normfarbtafel und der Höhe von β wurde nicht festgestellt.

Der Vergleich zwischen den Werten von β bei den Proben und den RAL-Farbkarten zeigt, dass β bei den Proben ohne Nachstreumittel höher ausfällt als bei RAL 6024. Die Proben mit Nachstreumitteln weisen eine relativ gute Übereinstimmung von β mit RAL 6024 auf, insbesondere die Proben auf den Prüfblechen HS1, HS2, KSP1 und KSP2.

4.4 Bewitterung

4.4.1 Einfluss der Bewitterung auf die Proben auf Prüfblechen

In der Abbildung 4-14 ist beispielhaft eine Aufnahme der Probe HS2 unmittelbar vor und nach Ende der Bewitterung dargestellt. Schäden oder Abnutzungserscheinungen wurden nicht festgestellt. Die visuelle Untersuchung ergab zudem, dass eine Veränderung des Farbtones der gefärbten Griffmitteln eingetreten ist: So wurde eine deutliche Aufhellung bzw. ein Verblassen festgestellt (s. Abb. 4-14, links). Weiterhin wies die Oberfläche der Markierung aus HS-Farbe ohne Nachstreumittel nach Bewitterung feine, dunkle Haarrisse auf (s. Abb. A-30).

⁵ Hellbezugswerte RAL Classis. https://toxid.ral-farben.de/fileadmin/pdf/Hellbezugswerte_RAL_CLASSIC.pdf, Zugriff am 26.05.2017

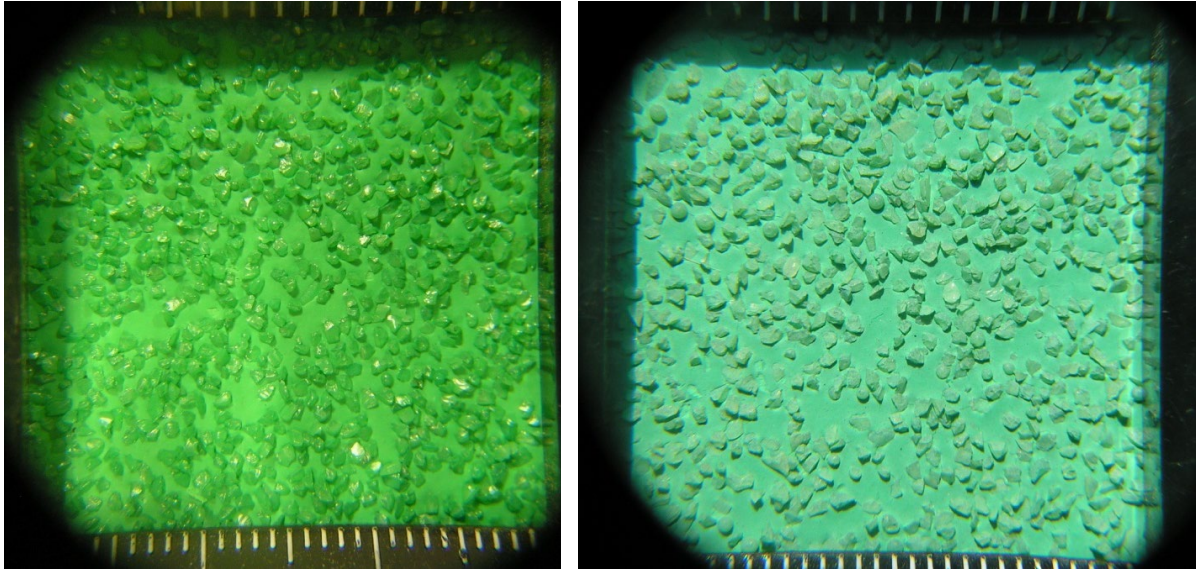


Abbildung 4-14: HS2, 15.08.16, Blech, Nahaufnahme, vor (links) und nach Bewitterung (rechts)

Die Bildung von kreideartigen Ablagerungen auf der Oberfläche der Probe wurde bei stichprobenartiger manueller Untersuchung nicht festgestellt. Da hierzu kein standardisiertes Messverfahren angewandt wurde, kann ein Kreiden geringeren Ausmaßes nicht ausgeschlossen werden. Der ursprüngliche Farbton konnte nicht z. B. durch Abwischen der Oberfläche wiederhergestellt werden.

4.4.2 Visueller Eindruck - Markierungen auf Prüfblechen

Der visuelle Eindruck ist, dass der Farbton der untersuchten Proben nach etwa einem Jahr natürlicher Bewitterung im Vergleich zum unbewitterten Zustand deutlich blasser bzw. heller ausfällt. In der Abbildung 4-15 ist beispielhaft die Probe HS3 nach sieben Monaten Bewitterung der RAL Farbkarte für den Farbton 6024 gegenübergestellt.



Abbildung 4-15: HS3, 15.08.16 RAL 6024-Karte und Blech

Bei den Proben aus Kaltplastik wurde im Unterschied zu den Proben aus HS-Farbe visuell ein leichter Gelbton der bewitterten Proben wahrgenommen.

4.4.3 Farbort der Proben auf Prüfblechen bei Bewitterung

Zur messtechnischen Bewertung des Einflusses der Bewitterung wurden insgesamt neun Einzelmessungen im Zeitraum von ca. 24 Monaten durchgeführt.

In den Abbildungen 4-16 bis 4-23 sind die Farborte der auf Blechen applizierten HS-Farbe und Kalt-spritzplastik in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer dargestellt.

Unabhängig vom Nachstreumittel bewegen sich die ermittelten Farborte bei den Varianten 1 bis 3 aus HS-Farbe vom Ausgangspunkt mit zunehmender Dauer der Bewitterung in Richtung des Farbtons Weiß. Dabei wurde eine tendenziell linienförmige Bewegung festgestellt. Der Verlauf der Farborte ist bei den drei Varianten ähnlich, insbesondere bei HS1 und HS3.

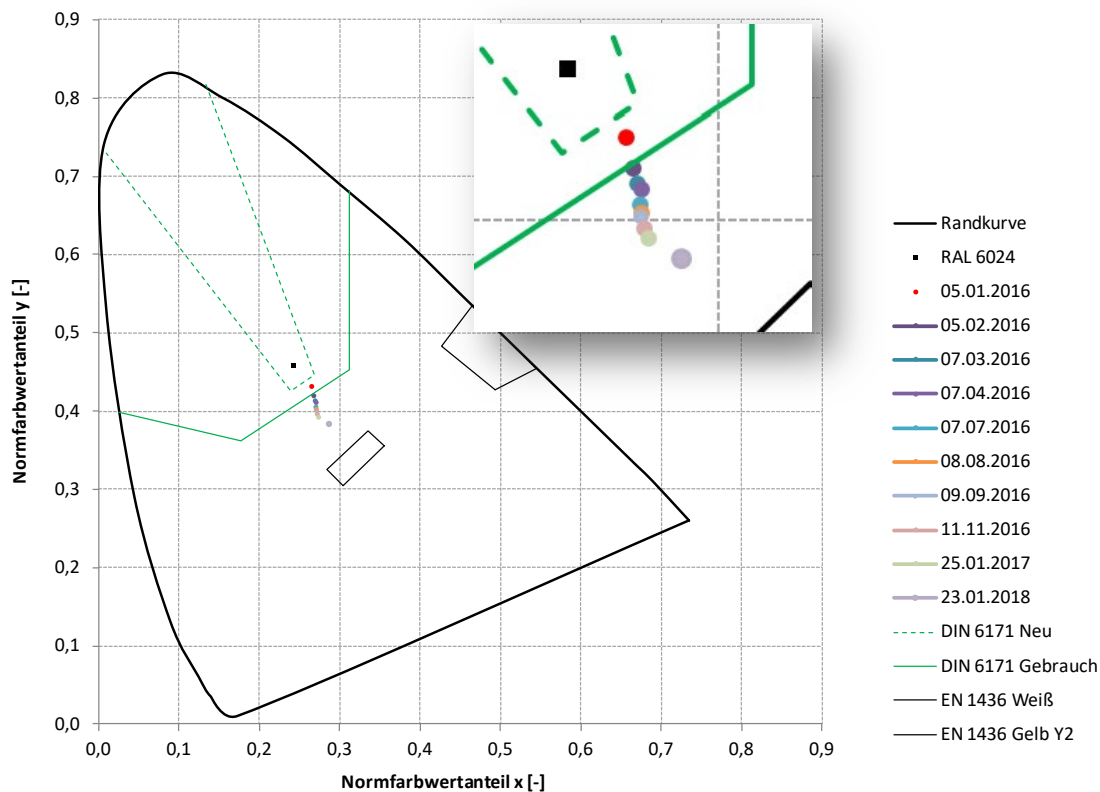


Abbildung 4-16: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, HS1, Bleche

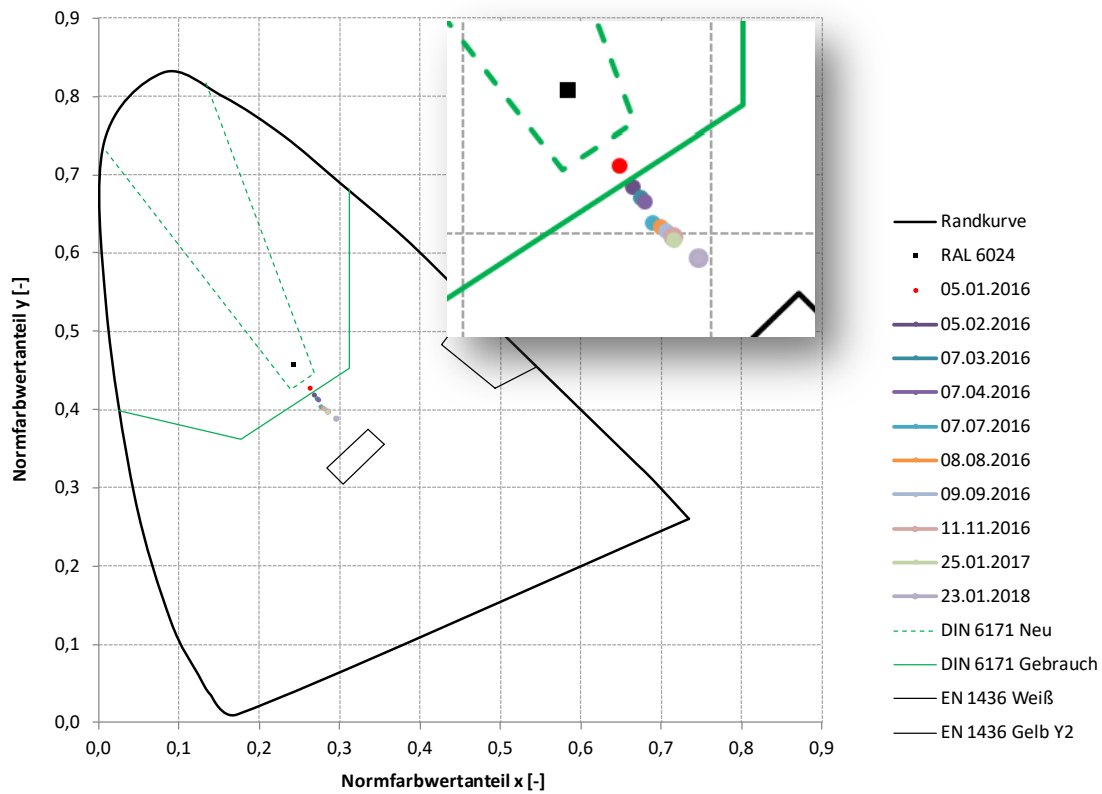


Abbildung 4-17: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, HS2, Bleche

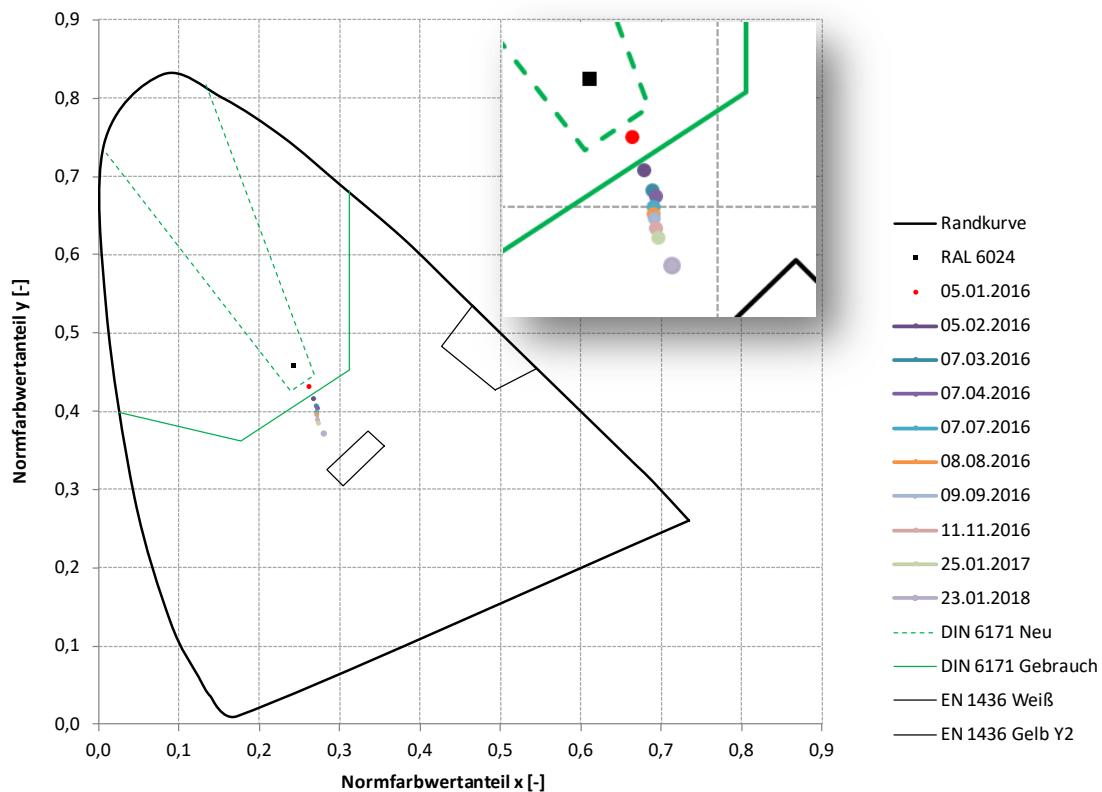


Abbildung 4-18: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, HS3, Bleche

Bei den drei Varianten aus Kaltplastik wurde im Vergleich zu den Varianten aus HS-Farbe eine „L“- oder bogenförmige Bewegung des Farbortes festgestellt.

Wie in den Abbildungen 4-19 bis 4-23 dargestellt, wandern die Farborte von der jeweiligen Position im Neuzustand zunächst in Richtung des Bereichs für Weiß. Nach einer Bewitterungsdauer von etwa sechs Monaten ist die Bewegung der Punkte in Richtung des Bereichs für Gelb gerichtet. Der Verlauf der Farborte über die Bewitterungsdauer ist bei den drei Varianten aus Kaltplastik annähernd gleich: So liegen u. a. die Farborte zum Ende der Bewitterung vergleichsweise nah beieinander.

Die Bewegung des Farbortes in Richtung Weiß wurde bei allen untersuchten Varianten bereits bei der ersten Messung nach einem Monat Bewitterung festgestellt.

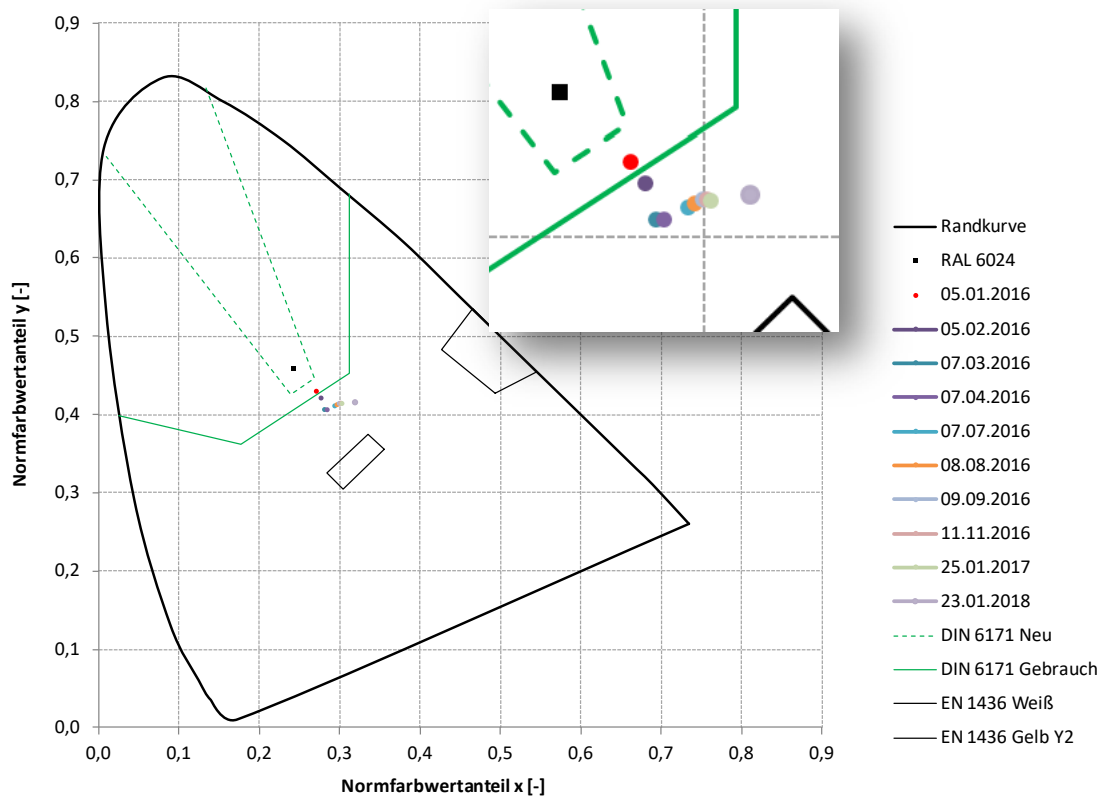


Abbildung 4-19: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, KSP 1, Bleche

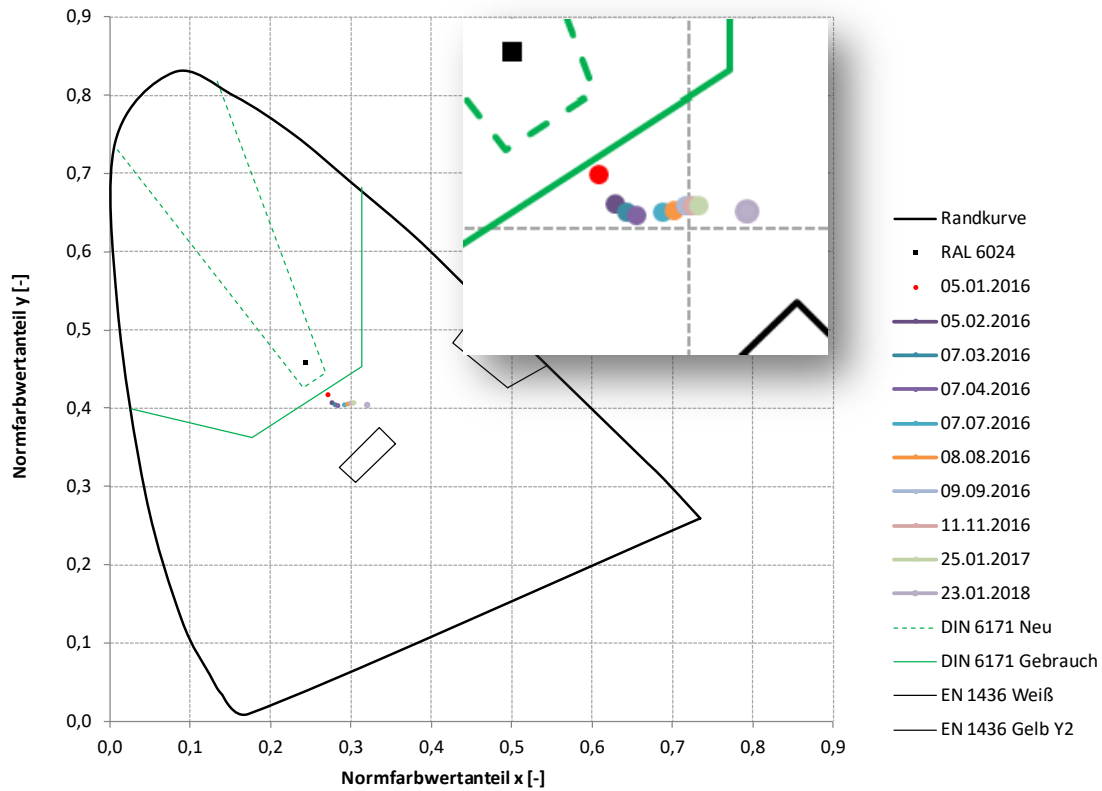


Abbildung 4-20: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, KSP2, Bleche

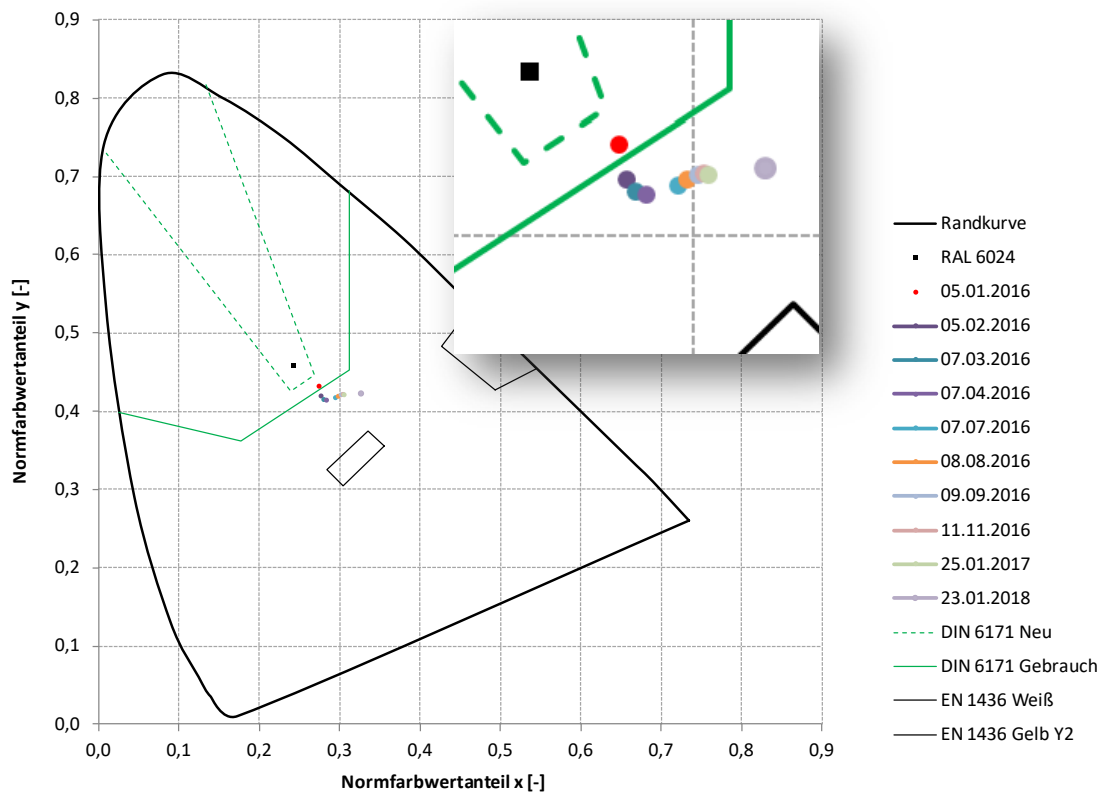


Abbildung 4-21: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, KSP3, Bleche

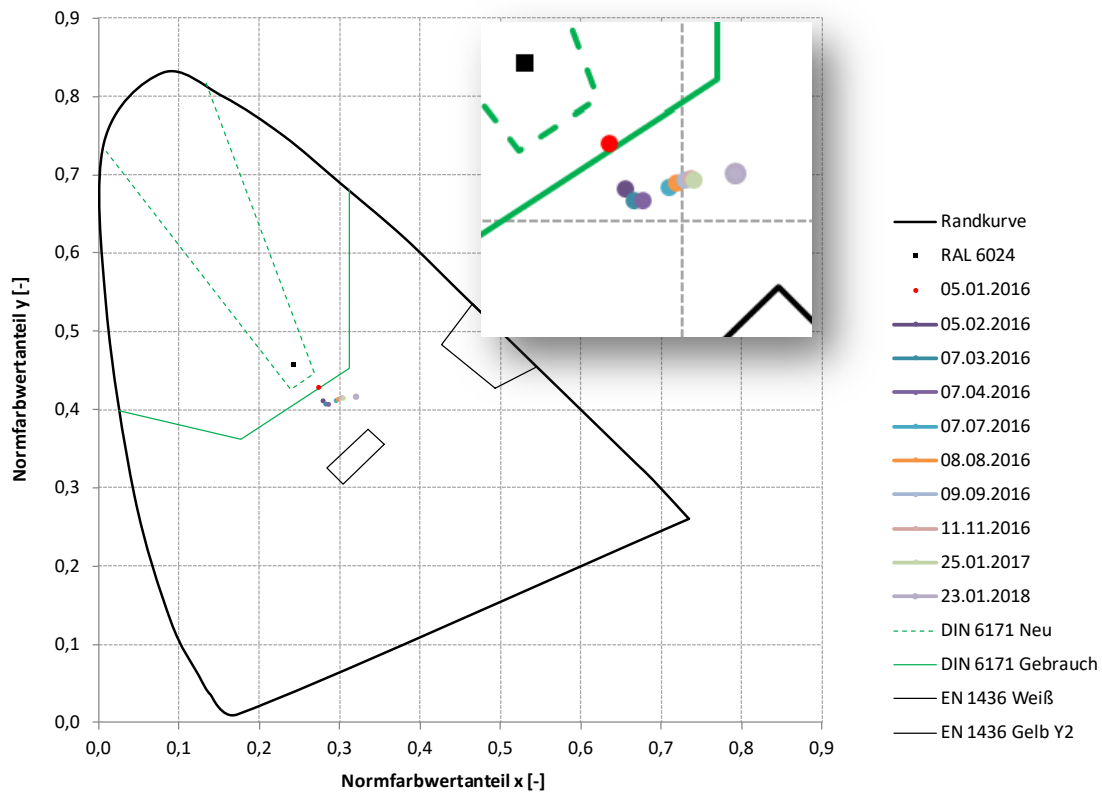


Abbildung 4-22: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, KSP4, Bleche

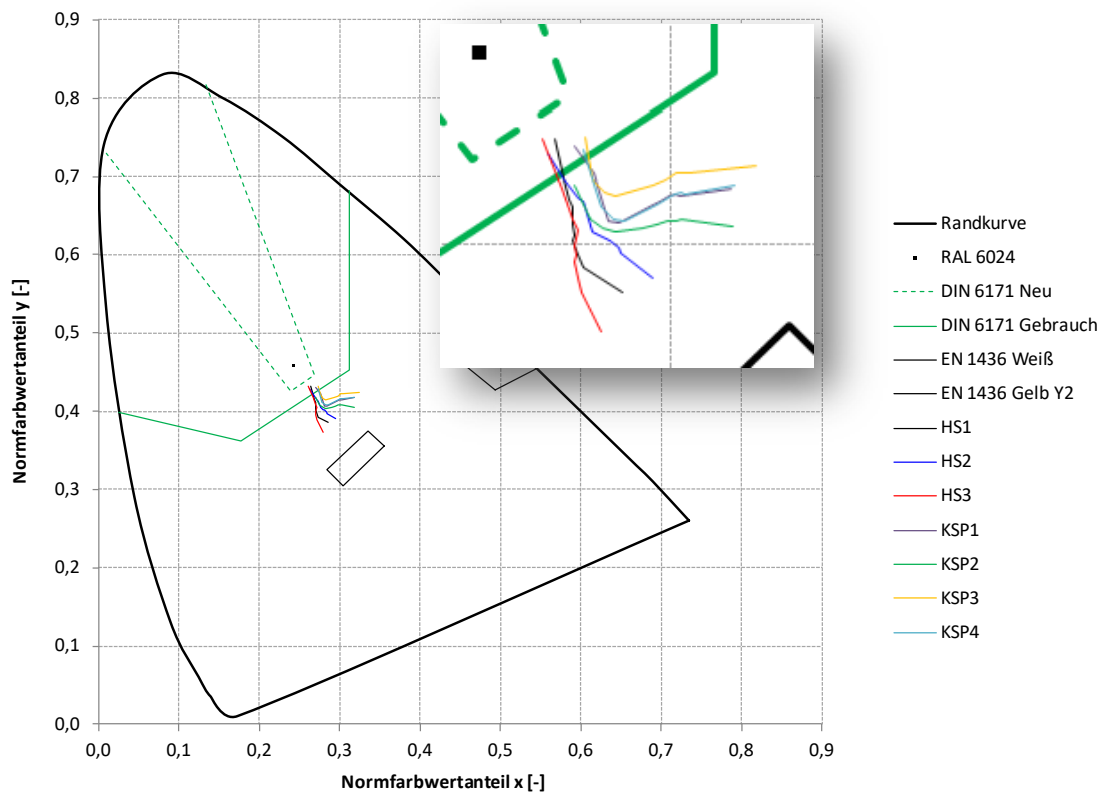


Abbildung 4-23: Verlauf der Farborte der HS-Farbe (1 bis 3) und Kaltplastik (1 bis 4), Bleche

In den Diagrammen 4-24 und 4-25 ist der Verlauf der Farborte der Proben vom Neuzustand und unter Bewitterung den Farborten der untersuchten RAL-Farben der 6000er-Reihe gegenübergestellt. Die

Farborte der Proben aus HS-Farbe wandern während der Bewitterung in Richtung des Farbtons RAL 6000 „Patinagrün“, wobei der Name der RAL-Farbe bezeichnend ist: „Patina (ital. *patina* „dünne Schicht“, „Firnis“) ist eine durch natürliche oder künstliche Alterung entstandene Oberfläche (Struktur und Farbe).“ (Wikipedia)

Bei den Proben aus Kaltplastik ist zunächst ebenfalls eine Bewegung des Farbortes in Richtung der RAL Farbe Patinagrün zu beobachten, wogegen die Bewegung mit zunehmender Bewitterungsdauer in Richtung des Bereichs für gelbe Markierungen gemäß EN 1436 verläuft.

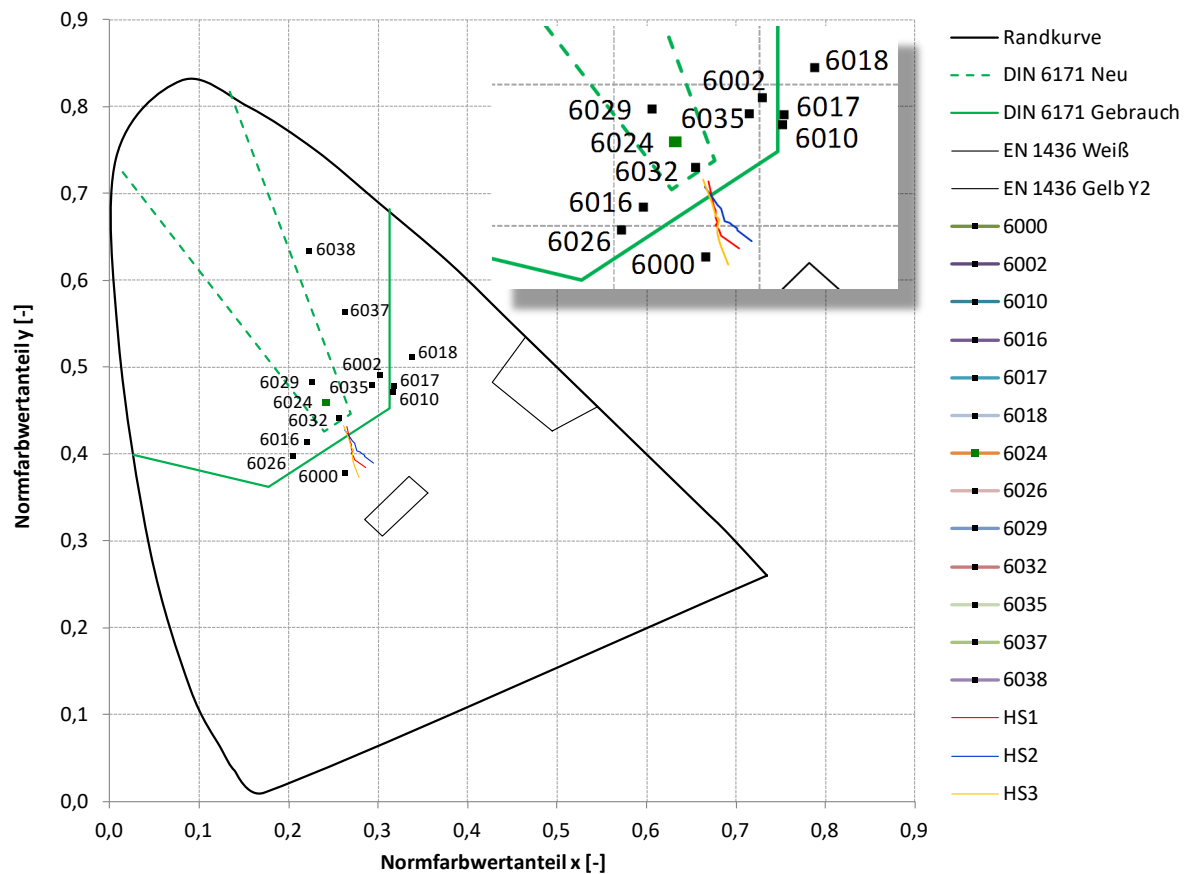


Abbildung 4-24: Farborte der Proben aus HS-Farbe während der Bewitterung und Farborte der RAL-Farbtöne der 6000er-Reihe

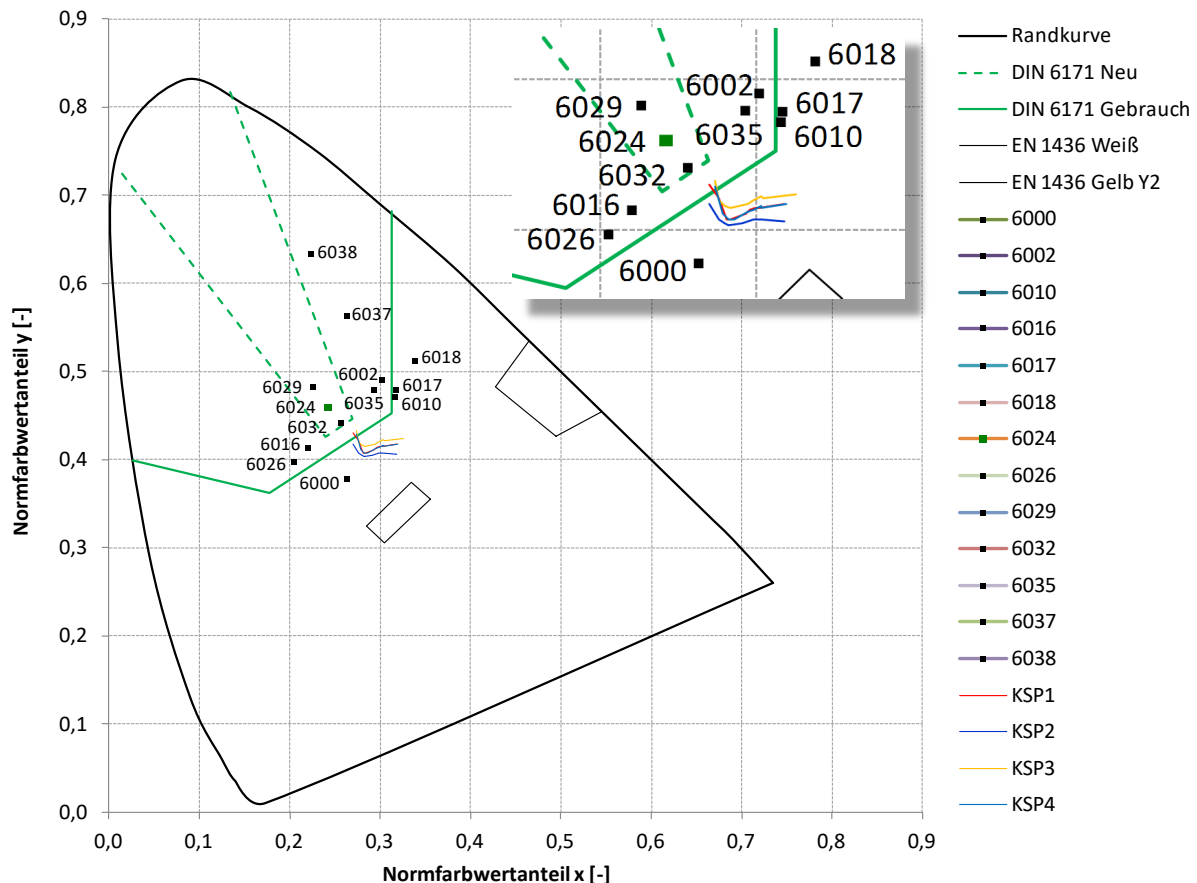


Abbildung 4-25: Farborte der Proben aus Kaltplastik während der Bewitterung und Farborte der RAL-Farbtöne der 6000er-Reihe

4.4.4 Auswirkung der Bewitterung auf die Proben auf dem Testfeld

Wie die Abbildungen 4-26 bis 4-28 zeigen, ist es während der Freibewitterung bei der Markierung aus HS-Farbe trotz der fehlenden Verkehrsbelastung zu maßgeblichen Materialverlusten gekommen. Die Abbildung 4-26 zeigt beispielhaft für die Varianten 1 bis 3 eine Draufsicht der HS-Farbe HS1 mit großflächigen Abplatzungen über die gesamte Fläche der Markierung. Dabei löst sich die Farbe vollständig vom Asphalt, so dass Bereiche mit Abplatzungen bei der Messung nicht berücksichtigt werden konnten. Die Abbildungen 4-27 (links und rechts) zeigen zudem, dass in den Bereichen ohne Abplatzungen die Nachstreumittel nahezu vollständig aus dem Markierungsstoff gelöst wurden. Nur in tiefer gelegenen, geschützten Bereichen sind noch wenige Nachstreumittel vorhanden.

Infolge der zunehmenden Abplatzungen wurden an der Markierung aus HS-Farbe bei den späteren Messungen nur noch punktuell in kleinen Teilbereichen mit einer geringeren Anzahl an Einzelmessungen gemessen, in denen keine Abplatzungen aufgetreten sind. Die Farbmessungen an der HS-Farbe wurden schließlich im August 2016 aufgrund der Schäden eingestellt.

Analog zu den Markierungen auf Prüfblechen weisen die noch vorhandenen gefärbten Griffigkeitsmittel bei der HS-Farbe 2 eine im Vergleich zum ursprünglichen Zustand blässeren, weniger gesättigten Grünton auf.

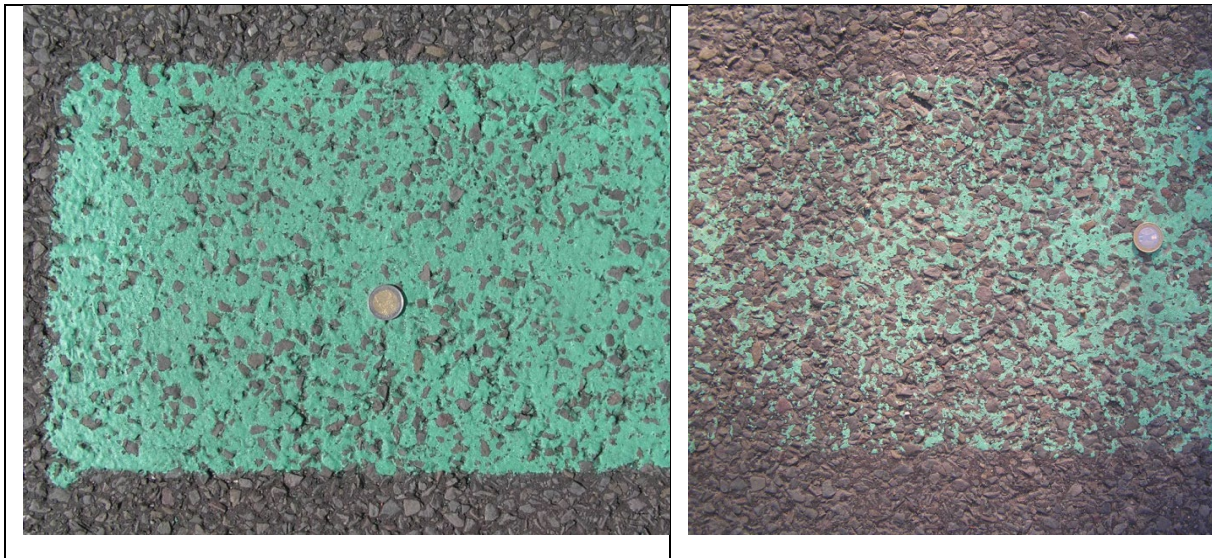


Abbildung 4-26: Testfeld, Abplatzungen bei HS1, Aufnahmen am 15.08.2016 (links) und am 17.03.2017

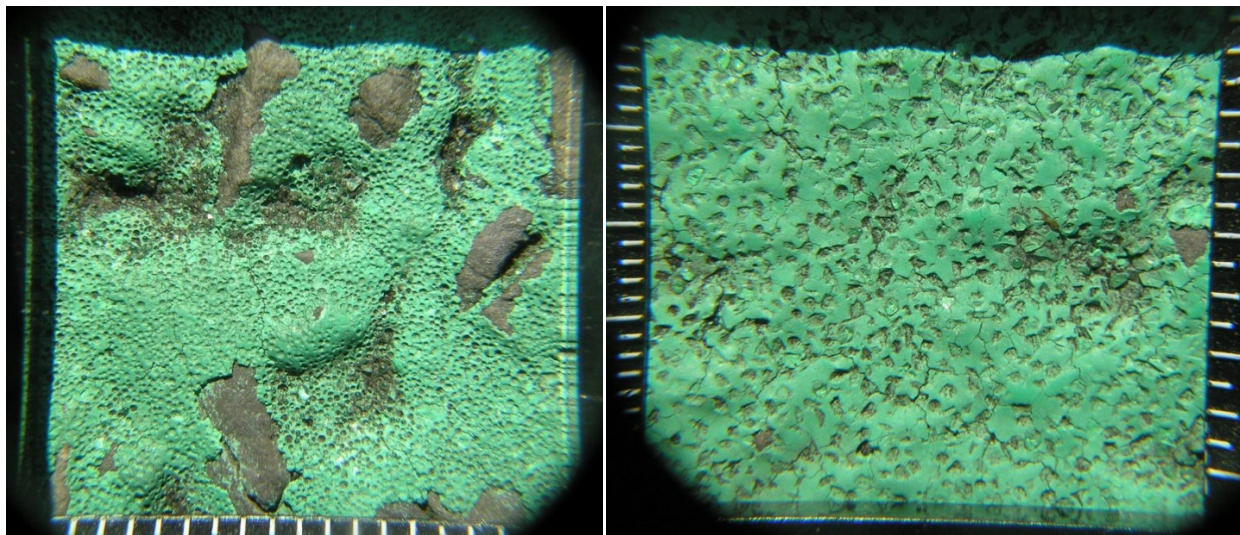


Abbildung 4-27: Testfeld, Nahaufnahme von HS1 (links) und HS2 (rechts) am 15.08.2016

In Abbildung 4-28 ist die Oberfläche der Markierung HS3 bei vergrößerter Darstellung nach Bewitterung dargestellt. Die Aufnahme zeigt, dass die Oberfläche von zahlreichen feineren und größeren dunklen Rissen überzogen ist. Weiterhin sind feine Ablagerungen bzw. Verschmutzungen in den Vertiefungen zu erkennen.

Analog zu den Prüfblechen wurde bei den auf dem Testfeld applizierten Markierungen visuell eine maßgebliche Aufhellung bzw. ein Verblässen gegenüber dem ursprünglichen Zustand festgestellt. Abbildung 4-28 (rechts) zeigt exemplarisch eine Gegenüberstellung der RAL 6024-Farbkarte und der Testfeldmarkierung HS3. Der Farbkontrast ist nach Bewitterung deutlich stärker ausgeprägt als vor der Bewitterung.

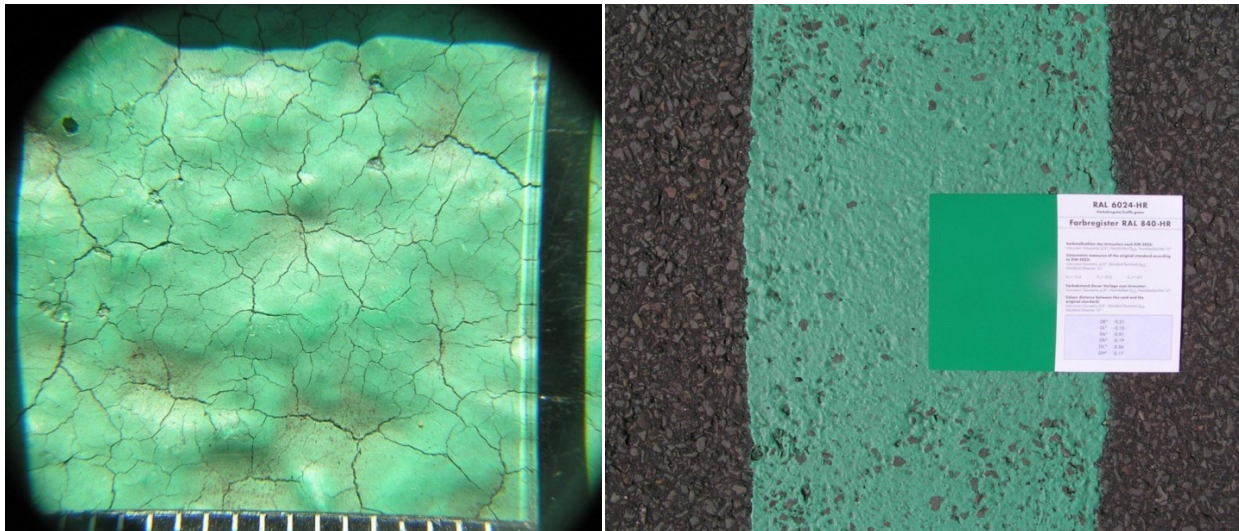


Abbildung 4-28: Testfeld, Nahaufnahme von HS3 (links) und Vergleich von HS3 mit RAL 6024-Karte (rechts), 15.08.2016

Bei den Markierungen aus Kaltplastik ist ein flächiger Verschleiß oder Austrag von Nachtstreumitteln wie bei den Markierungen aus HS-Farbe nicht aufgetreten. Es wurden lediglich geringfügige Verluste an Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln bei den Varianten 1 (s. Abb. 4-29, links) und 2 (s. Abb. 4-30, links) sowie einzelne Risse und Abplatzungen in geringem Umfang bei Variante 3 festgestellt (s. Abb. 4-31 bis 4-32).

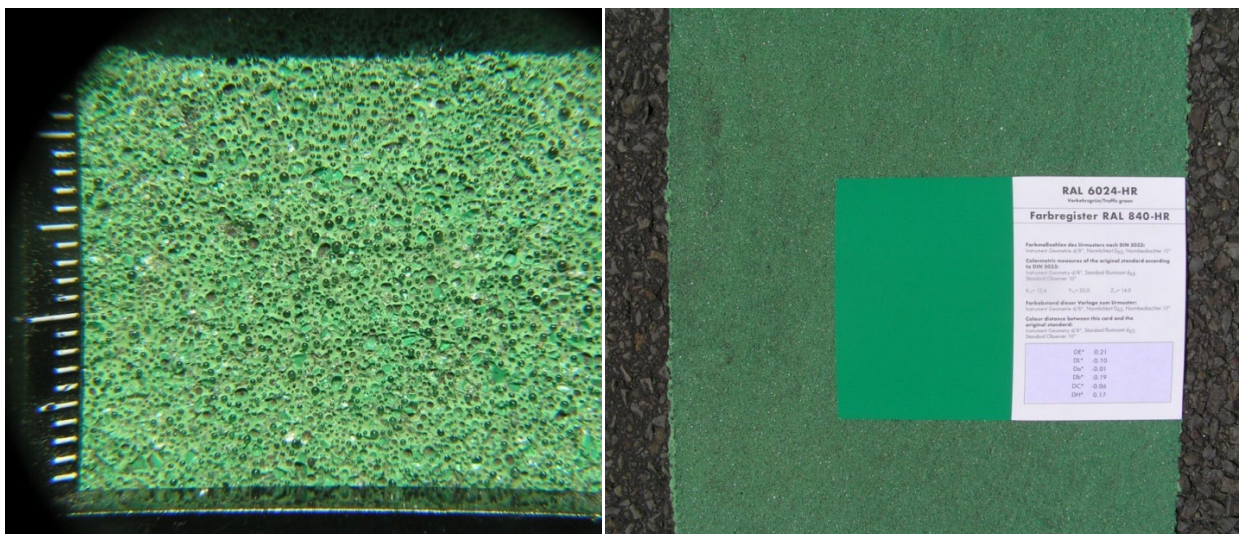


Abbildung 4-29: Testfeld, Nahaufnahme von KSP1 (links) und Vergleich mit RAL 6024-Karte (rechts), 15.08.2016

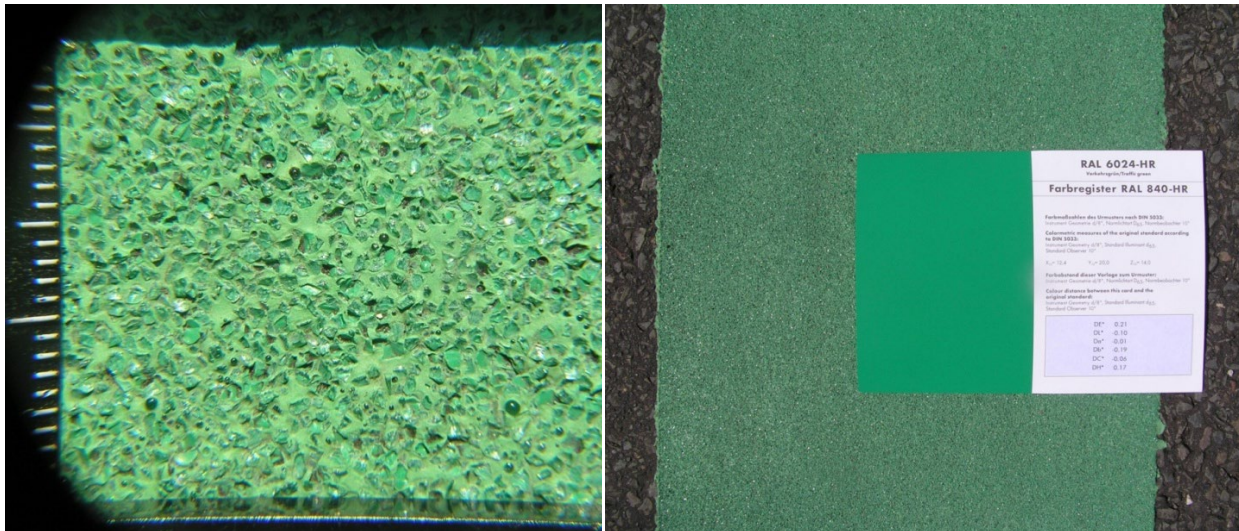


Abbildung 4-30: Testfeld, Nahaufnahme von KSP2 (links) und Vergleich mit RAL 6024-Karte (rechts), 15.08.2016

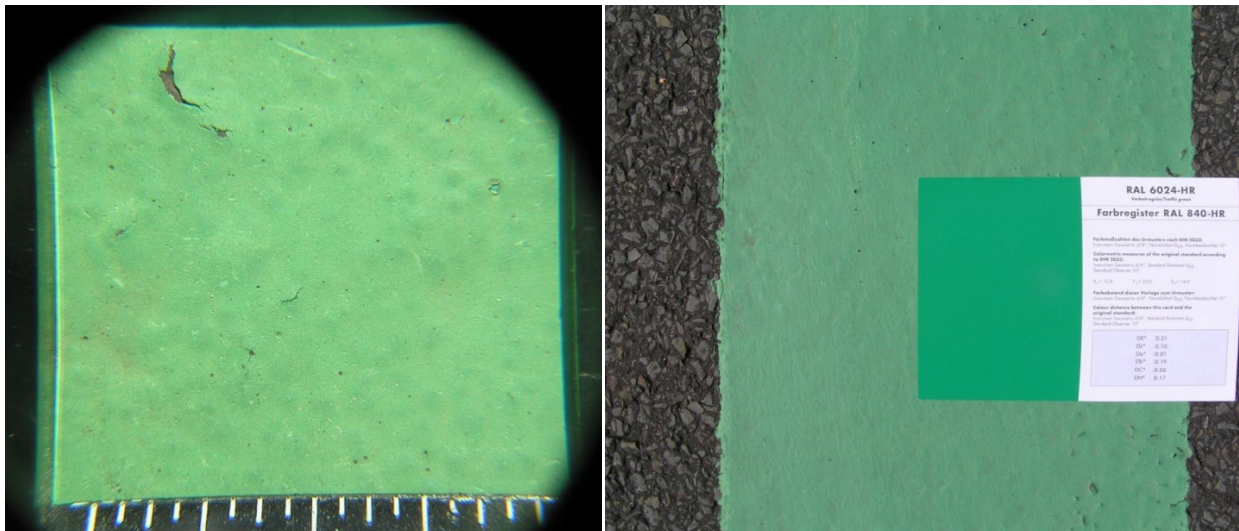


Abbildung 4-31: Testfeld, Nahaufnahme von KSP3 (links) und Vergleich mit RAL 6024-Karte (rechts), 15.08.2016

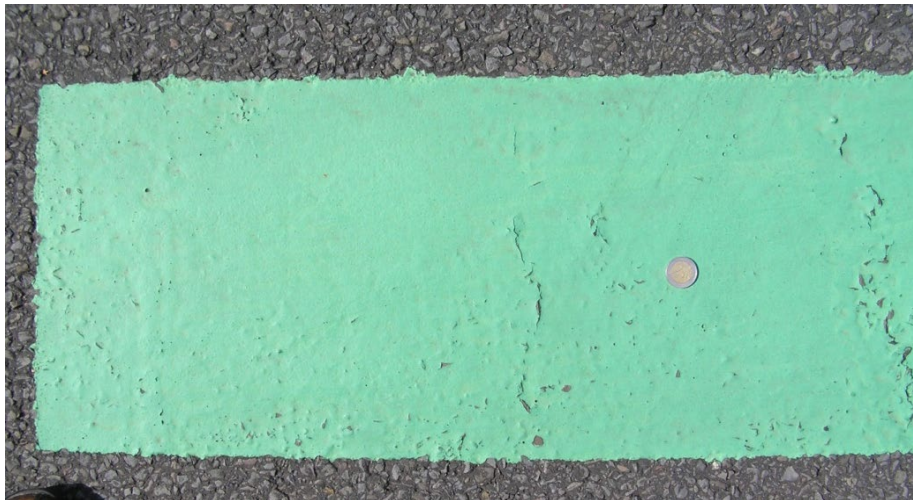


Abbildung 4-32: Draufsicht auf KSP3, 15.08.2016

4.4.5 Farbort der Proben auf dem Markierungsfeld unter Bewitterung

Zur messtechnischen Bewertung wurden insgesamt sechs Messungen innerhalb der Liegedauer von neun Monaten durchgeführt, wobei wie bereits erläutert die Messungen auf der HS-Farbe ab dem Februar 2016 aufgrund der großflächigen Abplatzungen auf noch intakte Teilbereiche der Markierung eingeschränkt werden mussten.

Wie die Abbildungen 4-33 bis 4-35 zeigen, weisen die Farborte der Varianten HS1 bis HS3 im Neuzustand einen maßgeblichen Abstand zum Farbort von RAL 6024 auf. Sie sind in Richtung der Farbe Weiß verschoben.

Bei den Markierungen aus HS-Farbe zeigen die Ergebnisse analog zu den Markierungen auf Prüfblechen eine nahezu geradlinige, schrittweise Bewegung der Farborte in Richtung des Farbtönen Weiß. Unabhängig von der betrachteten Variante liegen die Farborte nach Bewitterung in einem vergleichsweise engen Bereich (Ausnahme: Messpunkt HS1, 08.07.16).

Zwischen den Farborten der Markierungen auf Prüfblechen und Asphalt besteht bei den Varianten HS2 und HS3 eine vergleichsweise gute Übereinstimmung hinsichtlich des Farbortes im Neuzustand und die Entwicklung des Farbortes während der Bewitterungsdauer.

Bei Variante HS1 liegen die Punkte im Neuzustand nah beieinander, während sie bei der Markierung auf Asphalt stärker in Richtung des Bereichs von Weiß abwandern.

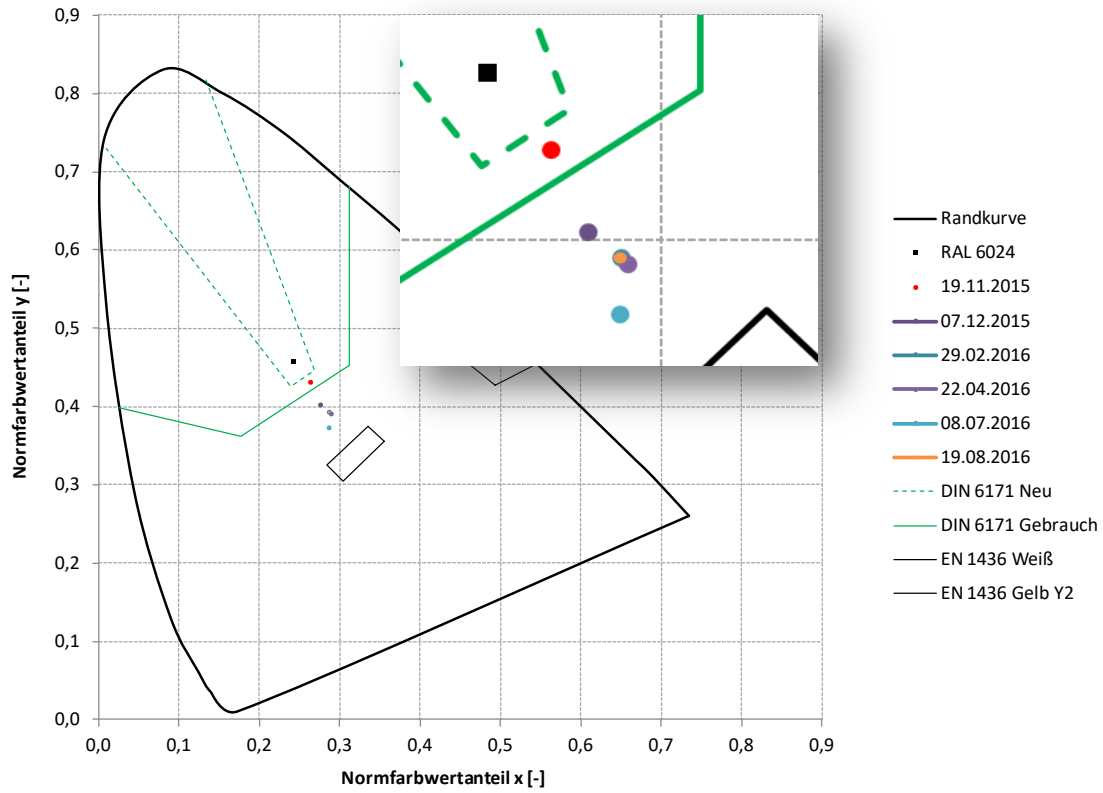


Abbildung 4-33: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, HS1, Feld

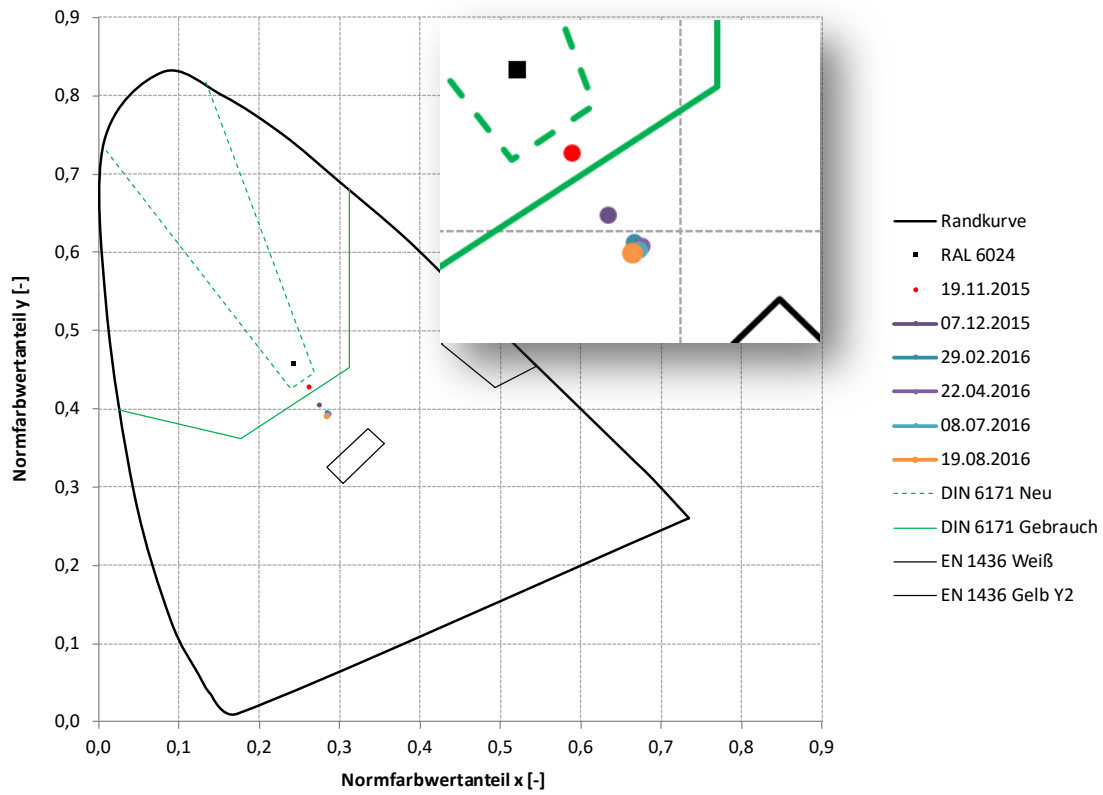


Abbildung 4-34: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, HS2, Feld

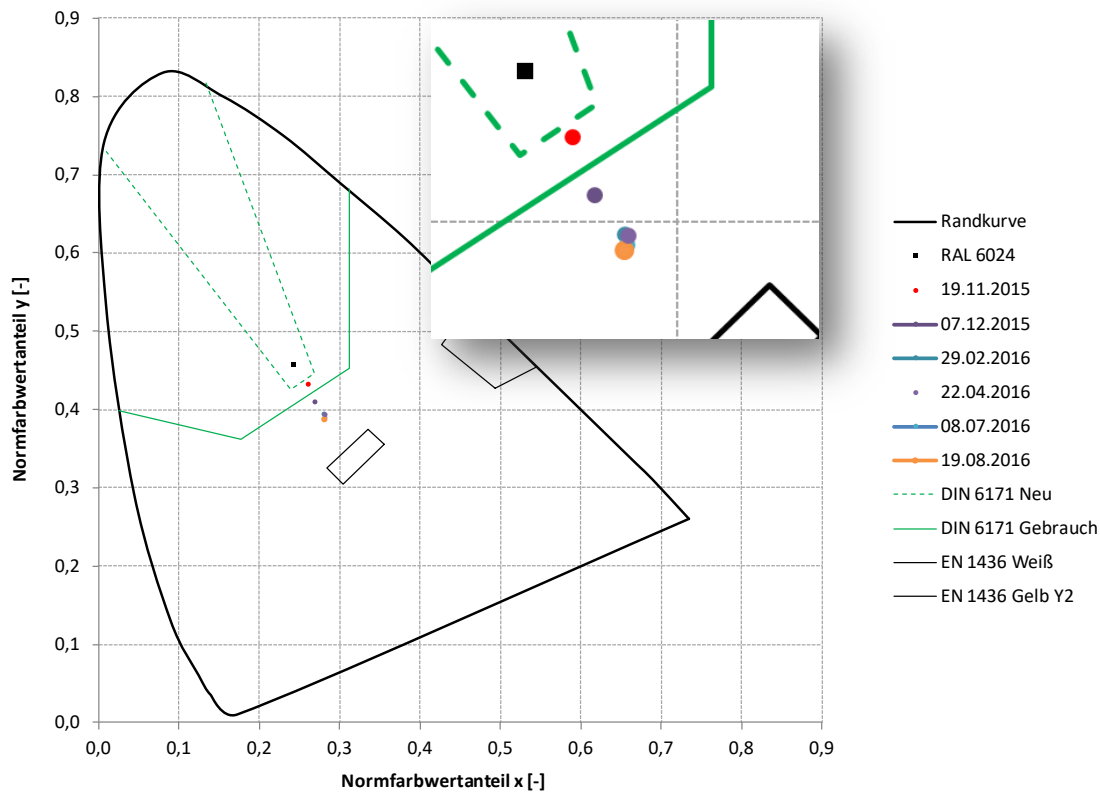


Abbildung 4-35: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, HS3, Feld

In den Abbildungen 4-36 bis 4-38 sind die Ergebnisse der Messung des Farbortes über den gesamten Untersuchungszeitraum für die drei Varianten der Markierung aus Kaltplastik dargestellt. Die Farborte der Varianten KSP1 bis KSP3 weisen einen maßgeblichen Abstand zum Farbort von RAL 6024 auf, wobei die Punkte in Richtung des Farbtons Weiß verschoben sind. Der Abstand variiert in Abhängigkeit der betrachteten Variante.

Der Vergleich der im Neuzustand ermittelten Farborte der Markierungen aus HS-Farbe und Kaltplastik auf Asphalt zeigt, dass der Abstand zwischen den Punkten in Abhängigkeit der betrachteten Variante variiert: Bei der Variante 1 (Glasperlen und Griffigkeitsmittel) liegen die Punkte im Neuzustand nah bei einander; bei der Variante 2 (gefärbte Griffigkeitsmittel) liegt der Punkt bei der Markierung aus HS-Farbe näher am Farbort von RAL 6024; bei der Variante 3 sind beide Punkte ebenfalls leicht verschoben.

Der Vergleich der Farborte der Markierungen auf Asphalt und auf Prüfblechen zeigt, dass bei der Variante KSP1 im Neuzustand ein geringfügiger Abstand besteht, nach Bewitterung die Farborte jedoch nahezu übereinander liegen. Bei Variante KSP2 besteht bei den Farborten im Neuzustand und während der Bewitterung eine hohe Übereinstimmung zwischen den Markierungen auf Asphalt und Prüfblechen. Bei Variante KSP3 sind die Farborte im Neuzustand zu einander verschoben (Asphalt/ Prüfblech), wogegen nach Bewitterung eine gute Übereinstimmung besteht.

Hinsichtlich der Farbtreue bzw. Bewegung des Farbortes zeigen die Diagramme, dass bei den drei Varianten vergleichbar mit den Markierungen auf Prüfblechen eine „L-förmige“ Bewegung innerhalb des Bewitterungszeitraums stattgefunden hat. Die Farborte bewegen sich zunächst in Richtung des

Farbtons Weiß und wandern dann mit zunehmender Liegedauer in Richtung des Bereichs für Gelb. Die zum Abschluss der Bewitterung gemessenen Farborte liegen relativ nah beieinander.

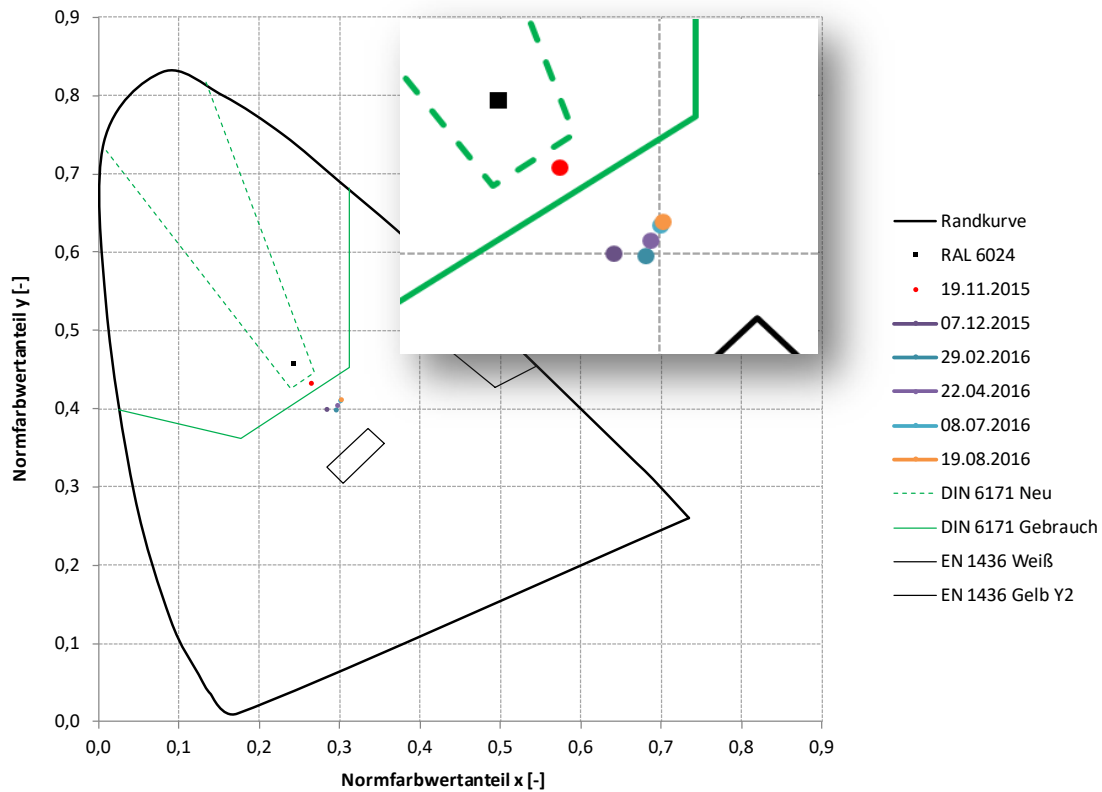


Abbildung 4-36: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, KSP1, Feld

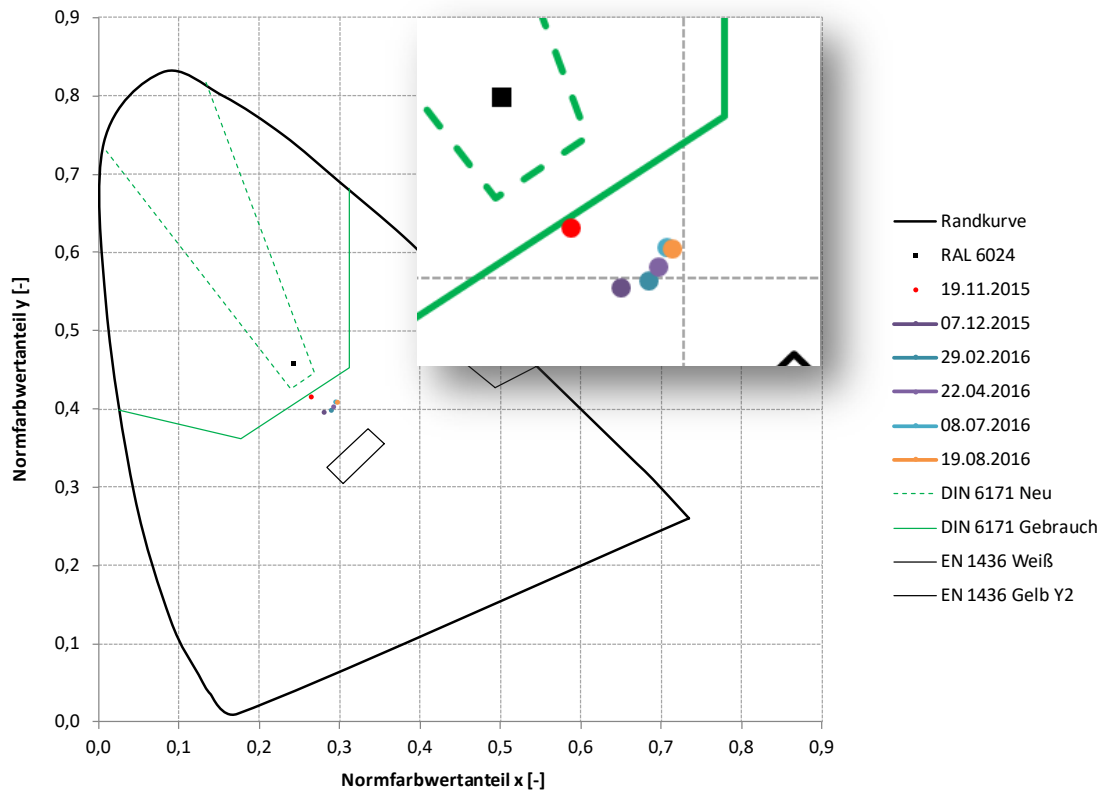


Abbildung 4-37: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, KSP 2, Feld

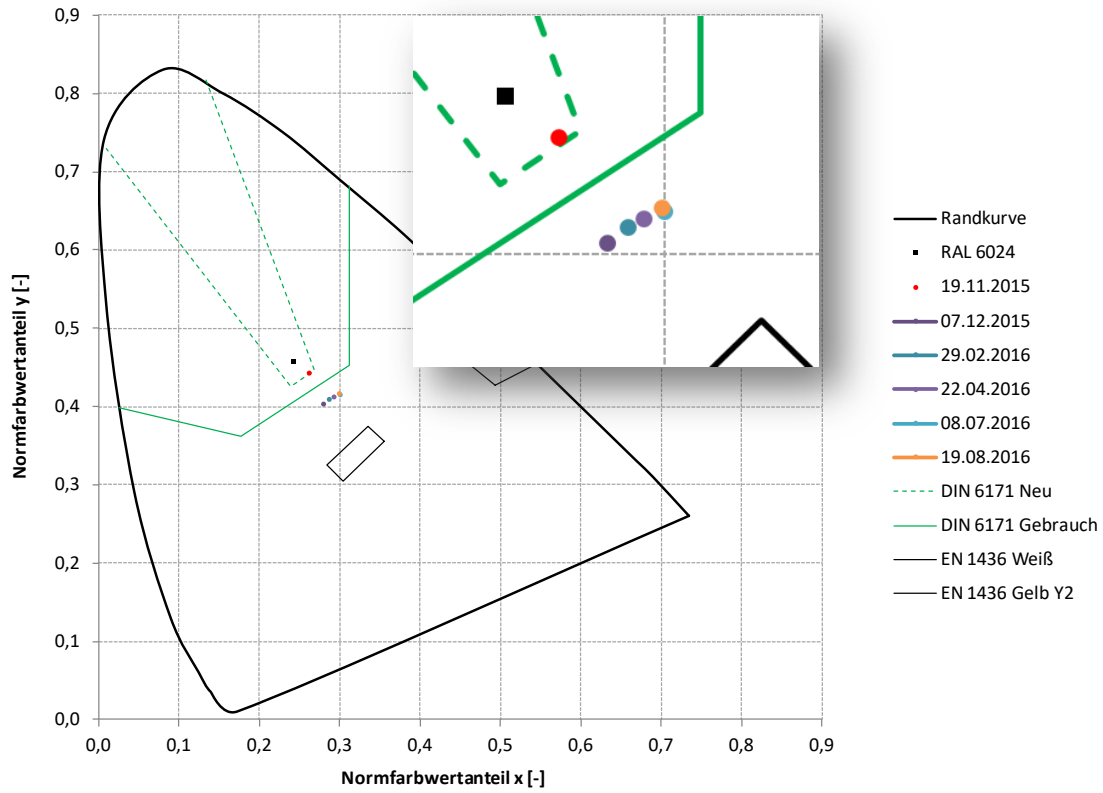


Abbildung 4-38: Farbort in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, KSP3, Feld

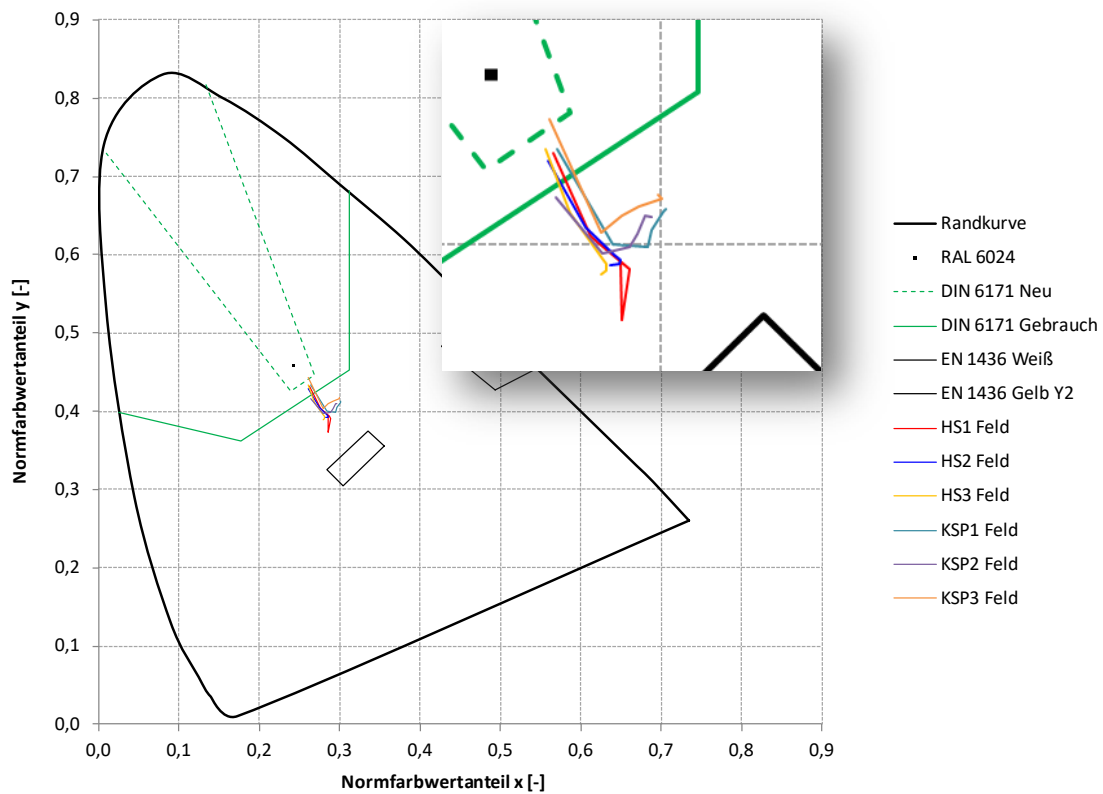


Abbildung 4-39: Verlauf der Farborte der auf Asphalt markierten Varianten 1 bis 3 (HS und KSP)

4.4.6 Leuchtdichtefaktor β im Neuzustand und während der Bewitterung

Ergänzend zu den Normfarbwertanteilen x , y erfolgte eine Auswertung der Entwicklung des Leuchtdichtefaktors β als Maß für die Helligkeit der Probe. Bei der Messung am 05.01.2016 lagen die Proben im Neuzustand vor Beginn der Bewitterung vor.

Die in der Tabelle 4-5 aufgeführten Ergebnisse zeigen, dass die Werte von β mit zunehmender Bewitterungsdauer zunehmen. Hiervon ausgenommen ist die Variante HS1 (Reflexkörper und Griffigkeitsmittel), bei der ein nahezu konstanter Verlauf festgestellt wurde. Ebenso ist die Zunahme bei der Variante HS3 (kein Nachstreumittel) im Vergleich zu den weiteren Varianten etwas schwächer ausgeprägt. Im Vergleich zwischen dem Neuzustand (05.01.16) und der letzten Messung nach etwa 2 Jahren nehmen die Werte zwischen ca. 18 bis 50 Prozentpunkten zu.

Tabelle 4-5: Leuchtdichtefaktor β in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer, Prüfbleche

Datum	β [-]						
	HS1	HS2	HS3	KSP1	KSP2	KSP3	KSP4
05.01.2016	0,1854	0,1898	0,2484	0,1730	0,1794	0,2358	0,1938
05.02.2016	0,1864	0,1940	0,2559	0,1976	0,1928	0,2299	0,2137
07.03.2016	0,1865	0,1983	0,2642	0,2103	0,2026	0,2582	0,2243
07.04.2016	0,1883	0,1987	0,2643	0,2145	0,2061	0,2632	0,2296
07.07.2016	0,1833	0,2112	0,2617	0,2246	0,2270	0,2828	0,2400
08.08.2016	0,1845	0,2194	0,2645	0,2257	0,2334	0,2865	0,2418
09.09.2016	0,1840	0,2262	0,2641	0,2258	0,2382	0,2889	0,2421
11.11.2016	0,1855	0,2372	0,2728	0,2286	0,2428	0,2922	0,2452
25.01.2017	0,1929	0,2429	0,2837	0,2278	0,2391	0,2918	0,2443
23.01.2019	0,2196	0,2687	0,3329	0,2490	0,2689	0,3352	0,2683
Zunahme gesamt (%-Punkte)	18,4	41,6	34,0	43,9	49,9	42,2	38,4

In Abbildung 4-40 ist zur besseren Veranschaulichung der zeitlichen Entwicklung der Helligkeit der Proben der Leuchtdichtefaktor β in Abhängigkeit der Bewitterungsdauer grafisch dargestellt. Ergänzend sind die Regressionsgeraden (linear) und Bestimmtheitsmaße R^2 aufgeführt. Die grafische Darstellung zeigt, dass die Werte des Leuchtdichtefaktors β vergleichsweise kontinuierlich zunehmen, wobei die Geschwindigkeit der Zunahme unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann (s. Steigung der Regressionsgeraden).

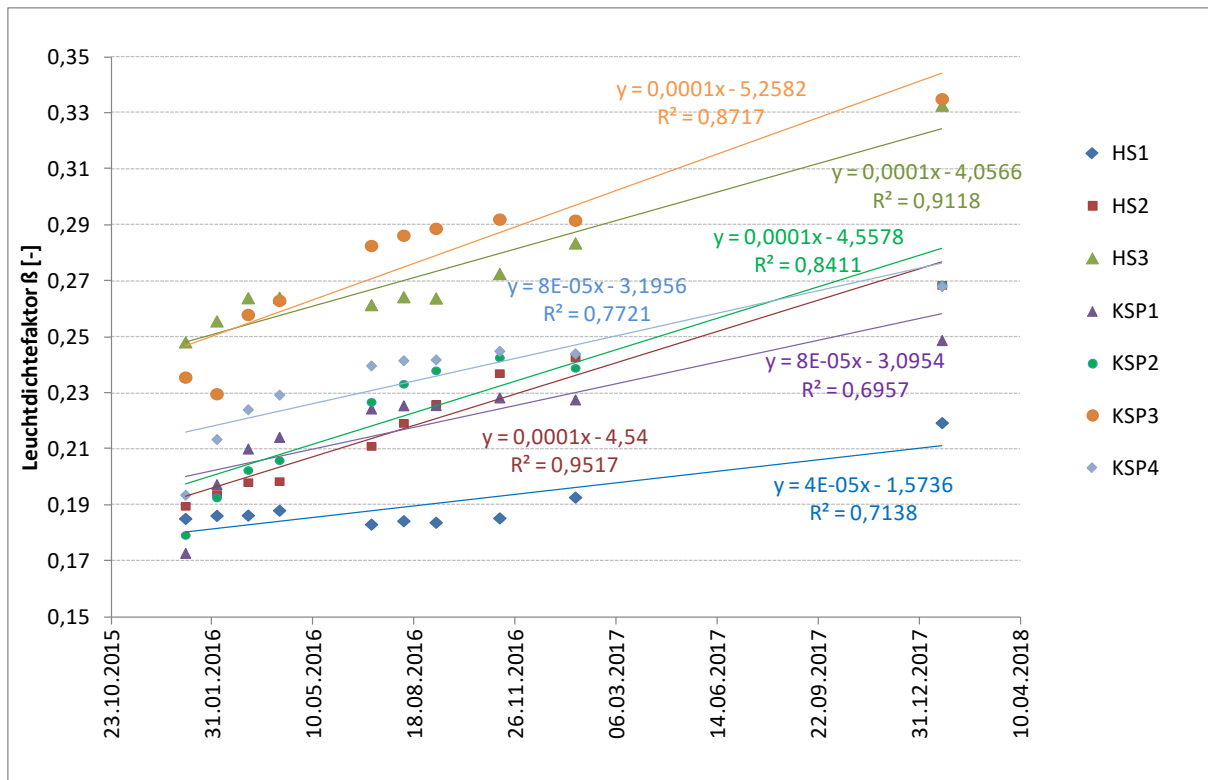


Abbildung 4-40: Entwicklung des Leuchtdichtefaktors β (Prüfbleche)

4.5 Griffigkeit im Neuzustand

Wie in Tabelle 4-6 dargestellt, befinden sich die im Neuzustand an den Markierungen auf Asphalt ermittelten Werte nach Temperaturkorrektur gemäß EN 13036-4:2011-12 bei der HS-Farbe zwischen 36 und 70 SRT-Einheiten, während bei der Kaltplastik SRT-Werte zwischen 61 und 74 festgestellt wurden.

Tabelle 4-6: SRT-Werte HS-Farbe und Kaltplastik (Varianten 1 bis 3)

Variante	HS 1	HS 2	HS 3	KP 1	KP 2	KP 3
SRT	56	74	40	65	78	66
SRT (T-KORR)	52	70	36	61	74	62

4.6 Retroreflexionsvermögen

Zur Erfahrungssammlung wurde stichprobenweise der Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion R_L (ergänzend: Q_D) an der Kaltplastik-Markierung auf Asphalt bestimmt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 4-7 dargestellt.

Tabelle 4-7: Ergebnisse der Messung von R_L und Q_D an KSP1 bis 3 (Asphalt) am 01.08.2016

Variante	R_L	Q_D
KSP1	115	70
KSP2	20	68
KSP3	8	98

4.7 Farbmessungen auf Praxisstrecken

Der BAST wurden für das vorliegende Projekt die Ergebnisse von Farbmessungen auf grünen Markierungen im Farbton RAL 6024 zur Verfügung gestellt. Die Messungen wurden im Gebrauchszustand nach unterschiedlichen Liegedauern durchgeführt.

Tabelle 4-8: Praxisstrecken

Strecke Nr.	x	y	Material	Liegedauer in Monaten
1	0,2603	0,4091	Kaltplastikmasse	19
2	0,2589	0,4154	KSP	16
3	0,3029	0,3747	k. A.	12

Bei den Strecken 1 und 2 handelt es sich um grüne Markierungen als Teil des verkehrstechnischen Mittelstreifens der EKL 1. Bei der Strecke 3 wurde für eine Vergleichsmessung eine grüne Markierung mit dem Soll-Farbton RAL 6024 auf dem Gelände eines Flughafens appliziert.

In der Abbildung 4-41 sind die Farborte der auf den Praxisstrecken applizierten grünen Markierungen den im vorliegenden Projekt ermittelten Farborten gegenübergestellt. Die auf dem Flughafen applizierte Markierung war bereits deutlich aufgehellt, was sich am Farbort nahe dem Bereich für Weiß widerspiegelt. Die Position der Farborte der auf den Landstraßen applizierten Markierungen 1 und 2 liegen etwa in dem Bereich der Farborte, die im Rahmen dieses Projekts ermittelt wurden.

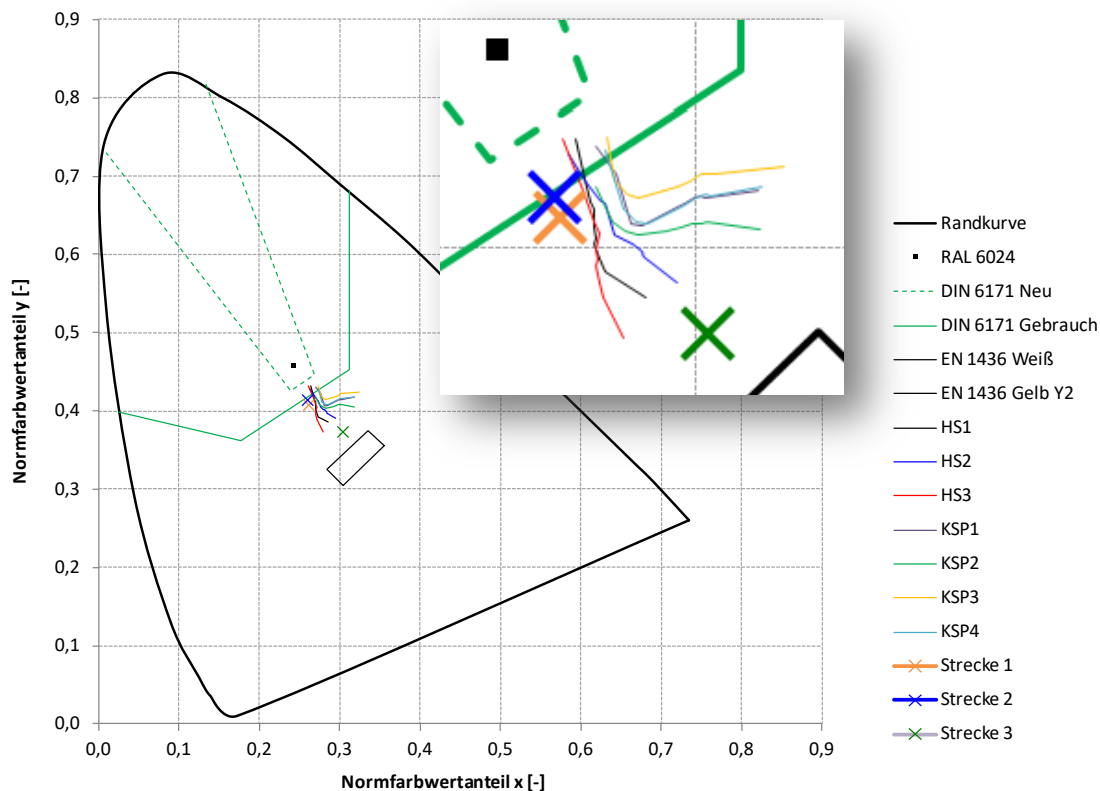


Abbildung 4-41: Vergleich der Farborte der Probemarkierungen auf Blechen und Markierungen auf Praxisstrecken

5 Interpretation der Ergebnisse

Übereinstimmung des Farbortes der untersuchten Proben mit dem Farbort von RAL 6024 im Neuzustand

Der visuelle Eindruck, dass die untersuchten Markierungen aus HS-Farbe und Kaltplastik unabhängig vom applizierten Nachstreumittel oder der Unterlage im Vergleich zum RAL-Farbton 6024 ein helleres, weniger gesättigtes Grün aufweisen, wurde durch die Messergebnisse bestätigt: Die Farborte der Proben im Neuzustand weisen einen signifikanten Abstand zum Farbort von RAL 6024 in Richtung des Farbbereichs von Weiß auf, d. h. das Grün der Proben ist weniger gesättigt und insgesamt blasser. Die Proben liegen in der Normfarbtafel näher am RAL-Farbton 6032 „Signalgrün“ als am Farbton RAL 6024, wenngleich sie auch zum Farbton RAL 6032 in Richtung Weiß verschoben sind.

Einfluss des Untergrunds auf den Farbort der grünen Markierung im Neuzustand

Die Messung des Farbortes wird in Deutschland bei weißen und gelben Fahrbahnmarkierungen an der auf dem Untergrund applizierten Markierung vorgenommen und nicht an auf Prüfblechen applizierten Markierungen (vgl. DIN EN 1436). Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass bei den hier vorliegenden Randbedingungen der Einfluss des Untergrunds auf den Farbort im Neuzustand insgesamt gering ausgeprägt ist. Bei vergleichbarer Rauigkeit der Oberfläche und Schichtdicke der Markierung könnte auf eine Messung des Farbortes der Markierung auf dem Prüfblech verzichtet werden. Für grüne Markierungen mit kleineren Schichtdicken und/oder deutlich rauere Oberflächentexturen bedarf diese Aussage einer Überprüfung.

Einfluss der Nachstreumittel auf den Farbort des Markierungssystems im Neuzustand.

Der Farbort mehrkomponentiger Fahrbahnmarkierungen wird generell durch die Farborte der einzelnen Komponenten „Markierungsstoff“, „Griffigkeitsmittel“ und „Reflexkörper“ (soweit appliziert) bestimmt. Die Ergebnisse geben Hinweise darauf, wie stark der Einfluss der einzelnen Komponenten auf den Farbort des Gesamtsystems ausgeprägt sein kann: Bei der Kaltplastik ist zu erkennen, dass der Farbort des Markierungssystems (KSP2) etwa dem Farbort des gefärbten Griffigkeitsmittels (NSM2) entspricht und vom Farbort des Markierungsstoffs abweicht. In diesem Fall dominiert das Nachstreumittel die Farbe des Markierungssystems. Dabei wurde zudem festgestellt, dass der Abstand zwischen dem Farbort des gefärbten Griffigkeitsmittels und dem Farbort von RAL 6024 größer ist als der Abstand zwischen den Farborten des Markierungsstoffs und RAL 6024. Dies hat dazu geführt, dass - entgegen der eigentlichen Intention - die Verwendung des gefärbten Griffigkeitsmittels zu einem größeren Kontrast zu RAL 6024 geführt hat. Bei dem Muster HS2 wurde eine gegenteilige Beobachtung gemacht: Der Farbort des Systems HS2 ist nahezu identisch mit dem Farbort des Markierungsstoffs (HS3, ohne Nachstreumittel) und weicht vom Farbort der gefärbten Griffigkeitsmittel deutlich ab (NSM2). Es wird vermutet, dass das abweichende Verhalten auf unterschiedliche Griffigkeitsmittelmengen und/oder Abweichungen bei der Flächenbedeckung des Nachstreumittels sowie unterschiedliche Einbettungsgrade des Nachstreumittels zurückgeführt werden kann.

Es ist zu bedenken, dass bei den Varianten 1 und 2 der Anteil der Griffigkeitsmittel im Nachstreumittelgemisch variiert (Variante 1: 30 %, Varianten 2 und 3: 100 %). Zudem fällt die Einbettung der Nachstreumittel bei den Proben aus KSP und HS teilweise sehr unterschiedlich aus: Bei KSP1 sind die Nachstreumittel sehr tief eingebettet, während sie bei HS1 nur sehr gering eingebettet sind. Weiterhin variiert die Menge der pro m² applizierten Nachstreumittel bei den Proben zwischen 350 g/m² (HS-Farbe 1) und 430 g/m² (KSP 1). Denkbar ist, dass der Einbettungsgrad des Nachstreumittels einen maßgeblichen Einfluss auf den Farbort hat, da mit zunehmender Einbettung über etwa 50 % der Anteil der von den Nachstreumitteln eingenommenen Fläche bei senkrechter Betrachtung abnimmt.

Der visuell wahrnehmbare Farbkontrast zwischen den Varianten mit unterschiedlichen Nachstreumitteln spiegelt sich nicht in den Ergebnissen der Farbmessungen wider: Die Farborte im x, y-Diagramm liegen mit wenigen Ausnahmen vergleichsweise nah beieinander. Teilweise wurden die visuell als gesättigter empfundenen Varianten (KSP2 mit gefärbten Nachstreumitteln) messtechnisch sogar als weniger gesättigt bzw. heller bewertet. Unterschiede zwischen der messtechnischen Bewertung und der visuellen Wahrnehmung (kein standardisiertes Verfahren) könnten z. B. auf Abweichungen beim Betrachtungswinkel oder der Beleuchtung zurückgeführt werden.

Bei transparenten Nachstreumitteln kann der Einfluss der Nachstreumittel auf den Farbort im Neuzustand nahezu vernachlässigt werden. Demnach ist bei transparenten Griffigkeitsmitteln besonderes Augenmerk auf die Farbtreue der Farbe des Markierungsstoffs zu legen. Bei gefärbten Griffigkeitsmitteln ist entsprechend auf eine Farbtreue des Griffigkeitsmittels zum RAL-Farbton 6024 zu achten, auch im Hinblick darauf, dass bei grünen Markierungen für die EKL 1 Nachstreumittel eingesetzt werden könnten, die ausschließlich aus Griffigkeitsmitteln bestehen. Griffigkeitsmittel wie weiße Keramik sollten aus den o. g. Gründen nicht verwendet werden.

Unabhängig von der Art des Nachstreumittels sollte aufgrund des schwer verallgemeinerbaren Einflusses des Nachstreumittels auf den Farbort der Farbort der mit Nachstreumittel applizierten grünen Markierung gemessen werden.

Einfluss der Bewitterung auf den Farbort der grünen Markierung

Die Messwerte bestätigen den visuellen Eindruck, dass die untersuchten grünen Markierungen aus HS-Farbe oder Kaltplastik innerhalb kurzer Zeit verblassen. Die Farbe wird nach der Bewitterung weiterhin als Grün wahrgenommen, jedoch in einem deutlich blässeren Ton. Messtechnisch wurde eine maßgebliche Verschiebung des Farbortes der Markierung vor und nach Bewitterung nachgewiesen.

Das Verblassen wurde vermutlich dadurch begünstigt, dass bei den Prüfblechen keine und bei dem Testfeld keine signifikante Verkehrsbelastung vorlag, durch die tieferliegende, unbewitterte Schichten der Markierung hätten freigefahren werden können. Dies entspricht der Situation in der Praxis: Das Überfahren des verkehrstechnischen Mittelstreifens bei der EKL 1 ist unzulässig.

Ursache für die Veränderung des Farbtons

Da deutliche, kreideartige Ablagerungen auf der Oberfläche der Proben bei stichprobenartiger Überprüfung nicht festgestellt wurden und das Reinigen der Oberfläche keinen erkennbaren Einfluss auf den Farbton hatte, wird angenommen, dass das Ausbleichen primär auf eine Veränderung der Inhaltsstoffe zurückgeführt werden kann. Neben einer möglichen Zersetzung des Bindemittels könnten auch die Farbpigmente durch die Bewitterung beschädigt worden sein. Bei der hier vermuteten Ursache für das Verblässen kann ein Austausch des Bindemittels und der Farbpigmente durch witterungsbeständige Stoffe zu einer gesteigerten Farbechtheit unter Bewitterung beitragen.

Einfluss der Nachstreumittel in den Varianten „1: Glasperlen und Griffigkeitsmittel“, „2: grün gefärbte Griffigkeitsmittel“, „3: ohne Nachstreumittel“ und „4: Glasbruch“ auf die Veränderung des Farbortes unter Bewitterung.

Eine maßgebliche Auswirkung der Variation der Nachstreumittel auf den Verlauf des Farbortes während der Bewitterung, z. B. eine qualitativ und/ oder quantitativ grundlegend abweichende Bewegung des Farbortes in der Normfarbtafel, wurde nicht festgestellt. Keine der untersuchten Nachstreumittel-Varianten hat sich z. B. als geeignet erwiesen, das Verblässen des Markierungsstoffs bei Bewitterung zu minimieren. Weiterhin stützen die Ergebnisse nicht die Annahme, dass durch den Einsatz von transparenten Reflexkörpern oder Griffigkeitsmitteln der darunterliegende Markierungsstoff vor der UV-Strahlung bzw. dem Verblässen geschützt wird oder gegenteilig die negative Wirkung der UV-Strahlung durch diese Elemente verstärkt wird („Lupeneffekt“).

Einfluss grüner Griffigkeitsmittel auf den Farbton und das Verblässen

Bei der Probe aus Kaltplastik mit grün gefärbtem Griffigkeitsmittel ist der Farbort nahezu identisch mit dem Farbort des reinen grün gefärbten Griffigkeitsmittels. Da der Farbort des Grün gefärbten Nachstreumittels ebenfalls nicht deckungsgleich mit dem Farbort von RAL 6024 ist, konnte bei den untersuchten Proben keine bessere Übereinstimmung mit RAL 6024 durch Einsatz des gefärbten Nachstreumittels erreicht werden. Wie das Beispiel der Probe aus Kaltplastik zeigt, besteht das Potenzial, durch Applikation von RAL 6024-konformen Nachstreumitteln den Farbort positiv im Sinne des gewünschten Farbtons zu beeinflussen. Dabei sind jedoch offenbar verschiedene Faktoren zu berücksichtigen: Bei der Probe aus HS-Farbe mit grün gefärbten Griffigkeitsmitteln liegt der im Neuzustand ermittelte Farbort näher am Farbort des reinen Markierungsstoffs als am Farbort des reinen Griffigkeitsmittels. Mögliche Einflussfaktoren könnten die Einbettungstiefe und die Menge an nachgestreuten Griffigkeitsmitteln sein (s. o.).

Hinsichtlich des Einflusses der grünen Griffigkeitsmittel auf den Farbton bei Bewitterung wurde einerseits festgestellt, dass auch die gefärbten Griffigkeitsmittel merklich verblässen und andererseits die gefärbten Griffigkeitsmittel keinen maßgeblichen Einfluss auf den Verlauf des Farbortes hatten (s. o.).

Einfluss der Markierungsstoffart auf den Farbort im Neuzustand und die Entwicklung des Farbortes bei Bewitterung

Die Ergebnisse zeigen ein abweichendes Verhalten der untersuchten Kaltplastik und der HS-Farbe. Die auffällige Bewegung in Richtung der Farbe Gelb im x, y-Diagramm wurde nur bei der Kaltplastik festgestellt. Es ist unklar, ob dieses Phänomen generell bei Kaltplastiken beobachtet werden kann. Denkbar ist, dass der grüne Farbton der bei der Kaltplastik eingesetzten Pigmente durch eine Mischung von blauen und gelben Pigmenten erzeugt wurde. Ein Zerfall der blauen Pigmente unter Bewitterung könnte ursächlich für die o. g. Entwicklung des Farbtons in Richtung der Farbe Gelb sein. Angaben zu der Stoffrezeptur und den Inhaltsstoffen lagen nicht vor, so dass auf eine Ursachenanalyse für das abweichende Verhalten verzichtet werden musste.

Helligkeit der grünen Markierung im Neuzustand und bei Bewitterung

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die RAL-Grüntöne sowohl hinsichtlich der Normfarbwertanteile als auch hinsichtlich der Helligkeit unterscheiden. Die Spanne der hier untersuchten RAL-Grüntöne reicht von ca. $\beta = 0,09$ bis $0,33$, wobei β bei RAL 6024 ca. $0,17$ beträgt. In Anlehnung z. B. an DIN 6171 und EN 12899-1 sollte geprüft werden, ob neben der Festlegung eines Farbbereichs die Definition eines Grenzwertes für β erforderlich ist. In DIN 6171 und EN 12899-1 ist den Farbbereichen für den Neu- und Gebrauchszustand ein Mindestwert von $\beta = 0,1$ zugeordnet. Durch die Vereinbarung eines Mindestwertes wird eine Grundlage zur Ablehnung deutlich zu dunkler („verschwärzter“) Markierungen, die innerhalb des Farbbereichs liegen, geschaffen. Nach (MESEBERG 1987) kann zudem eine hohe Helligkeit zu einer dauerhaften Signalwirkung horizontaler Verkehrsflächen beitragen.

Die Proben wurden während der Bewitterung deutlich heller: Der Leuchtdichtefaktor β nahm im ersten Jahr der Bewitterung um bis zu 30 Prozentpunkte zu, was bei der Festlegung eines Toleranzbereichs für β im Gebrauchszustand – soweit erforderlich – zu berücksichtigen wäre.

Die Ergebnisse zeigen zudem, dass die Art des Nachstreumittels einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung der Helligkeit bei Bewitterung ausüben kann. Hierbei erlauben die Ergebnisse jedoch keine genauere Aussage: Bei der Variante HS1 mit Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln nimmt β beispielsweise nur sehr gering zu, während bei der Variante KSP1 mit identischem Nachstreumittel eine starke Zunahme festgestellt wurde. Das unterschiedliche Verhalten könnte auf den deutlich höheren Anteil der von Nachstreumitteln bedeckten Oberfläche des Markierungsstoffs bei HS1 zurückgeführt werden.

Verhältnis zwischen dem Farbort von RAL 6024 zu existierenden Farbbereichen für nicht-retroreflektierende Verkehrszeichen im Neu- und Gebrauchszustand, Auswirkung der Bewitterung

Generell existieren im Verkehrswesen Farbbereiche für grüne Aufsichtfarben im Neuzustand, die den Farbort von RAL 6024 umschließen, ohne einen weiteren der hier untersuchten RAL-Farbtönen mit einzuschließen (z. B. EN 12899-1 NR2). Andere Farbbereiche umfassen weitere grüne RAL-Töne (z. B. DIN 6171 für den Neuzustand) oder der Farbort von RAL 6024 befindet sich am Rand der Farbbereichs.

Hinsichtlich einer möglichen Festlegung eines Farbbereichs für die EKL 1 ist zu berücksichtigen, dass für auf der Baustelle aus mehreren Komponenten hergestellten Markierungen größere Toleranzen

erforderlich sind als z. B. bei der Produktion werkseitig hergestellter vertikaler Verkehrszeichen. Der Farbbereich NR2 nach EN 12899-1 wird unter diesem Gesichtspunkt als zu klein empfunden.

Der Farbbereich nach DIN 6171 für den Neuzustand umschließt RAL 6024, wobei er bezogen auf den Farbort von RAL 6024 geringe Toleranzen in Richtung des Unbuntpunktes und größere Toleranzen in Richtung stärker gesättigter Grüntöne aufweist. Dies wird im Hinblick auf das erhebliche Verblässen positiv gesehen.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass bei den im vorliegenden Projekt untersuchten Materialien zu erwarten ist, dass die Farborte bei Bewitterung aufgrund der deutlichen Aufhellung über die Grenzen der bekannten Farbbereiche für den Gebrauchszustand für grüne Aufsichtfarben hinausgehen, voraussichtlich auch, wenn der Farbort im Neuzustand exakt dem RAL-Farbtönen 6024 entsprochen hätte.

Retroreflexion bei Einsatz von Reflexkörpern

Bei Verwendung eines herkömmlichen Nachstreumittelgemisches aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln kann auch bei der grünen Markierung der Leuchtdichtekoeffizient R_L oberhalb der Anforderungen der ZTV M 13 an den Gebrauchszustand liegen.

Griffigkeit der grünen Einfärbung

Die ermittelten SRT-Werte an Proben mit und ohne Griffigkeitsmitteln verdeutlichen, dass bei der Ausführung von Einfärbungen zur Sicherstellung einer ausreichenden Griffigkeit auf die Verwendung geeigneter Griffigkeitsmittel zu achten ist. Es ist zu überprüfen, ob Glasbruch für die vorgesehene Verwendung über eine ausreichende Dauerhaftigkeit verfügt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Auffälligstes Merkmal des Regelquerschnitts RQ 15,5 für Straßen der Entwurfsklasse 1 gemäß den Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL) ist eine 66 cm breite grüne Einfärbung. Gemäß den RAL soll die Einfärbung im Farbton „Verkehrsgrün“ (RAL 6024) ausgeführt werden. Zur Herstellung der grünen Einfärbung können Markierungsmaterialien, bestehend aus einem grün eingefärbten Markierungsstoff und ggf. Nachstreumitteln, eingesetzt werden. Im Unterschied zu weißen und gelben Markierungen sind im nationalen Regelwerk bisher für die grüne Einfärbung neben dem Farbton RAL 6024 keine Toleranzen zur Berücksichtigung unvermeidbarer Streuungen bei der Herstellung und Messung enthalten. Eine Überprüfung der Konformität des Farbtons mit den Anforderungen der RAL kann daher bisher nur anhand eines visuellen Abgleichs mit Referenzmustern erfolgen.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden Kenntnisse zum Einfluss des Nachstreumittels und der Bewitterung auf den Farbort der grünen Einfärbung als Grundlage für die Festlegung eines Farbbereichs für den RAL-Farbton 6024 gesammelt. Hierzu wurden Proben unter Variation des Markierungsstoffs, der Nachstreumittel sowie der Unterlage hergestellt und im Neuzustand und nach Bewitterung messtechnisch bewertet. Zudem wurden Messungen an RAL-Farbkarten vorgenommen. Die ermittelten Farborte wurden existierenden Farbbereichen für grüne, nicht retroreflektierenden Aufsichtfarben sowie den Farborten verschiedener RAL-Farbtöne gegenübergestellt. Dabei wurden Farbbereiche identifiziert, die hinsichtlich ihrer Lage und Größe potenziell für die grüne Markierung im Neuzustand geeignet erscheinen. Im Rahmen des Projekts wurden exemplarisch an Proben aus zwei Markierungsmaterialien, die zur Herstellung von grünen Einfärbungen für den verkehrstechnischen Mittelstreifen der EKL 1 in Verkehrsgrün eingesetzt werden, sowie verschiedenen Nachstreumitteln Farbmessungen über einen Zeitraum von 24 Monaten durchgeführt.

Für die Festlegung eines Farbbereichs für die grüne Einfärbungen des verkehrstechnischen Mittelstreifens der EKL 1 sind insbesondere folgende aus den Ergebnissen abgeleitete Empfehlungen und Fragestellungen relevant:

Aus dem Vergleich bestehender Farbbereiche ist hervorgegangen, dass der Farbbereich gemäß DIN 6171 für grüne, nicht retroreflektierende Aufsichtfarben als Grundlage für eine Festlegung des Bereichs dienen könnte. Im Hinblick auf die mit der Herstellung eines in situ-Produktes verbundenen Streuungen wird eine Vergrößerung des Bereichs nach DIN 6171 empfohlen. Dabei ist u. a. der Anspruch an die Einheitlichkeit der Einfärbungen zu berücksichtigen und ob weitere RAL-Grüntöne innerhalb des Farbbereichs toleriert werden. Neben den Normfarbwertanteilen x , y sollte analog zur DIN 6171 die Helligkeit berücksichtigt werden, z. B. durch Festlegung eines Mindestwertes für den Leuchtdichtekoeffizienten β . Für Grün wird ein Mindestwert von $\beta \geq 0,1$ vorgeschlagen.

Die Richtlinien für die Anlage von Landstraßen stellen hinsichtlich des Farbtons RAL 6024 keine direkten Anforderungen an die Beständigkeit, insofern die in Abschnitt 7.2 enthaltenen Anforderungen an die „aufgebrachte Farbe“ als Anforderung an die Farbe im Neuzustand verstanden werden. Zur Umsetzung dieser Anforderung genügt die Festlegung eines Farbbereichs für den Neuzustand. Die Ergebnisse des Projekts zeigen jedoch, dass die natürliche Bewitterung bereits nach vergleichsweise kurzer Zeit zu einem maßgeblichen Verblässen des ursprünglichen Farbtons führen kann.

Bei Bedarf kann in einem zweiten Schritt über einen Farbbereich für den Gebrauchszustand befunden werden, insofern der Nutzen für die Wahrnehmung durch den Verkehrsteilnehmer ggf. anfallende Mehrkosten für witterungsbeständige(re) Materialien überwiegt.

Weiterhin wurde festgestellt, dass der Einfluss des Farbtons der hier untersuchten Nachstreumittel (transparenter Glasbruch, grün gefärbte Griffigkeitsmittel) auf den Farbort des Markierungssystems insgesamt als relativ gering eingestuft werden kann. Unter dem Gesichtspunkt der farblichen Gestaltung sollte der Einsatz von transparenten Griffigkeitsmitteln angestrebt werden und die Bewertung des Farbtons am System aus Markierungsstoff und Griffigkeitsmitteln erfolgen.

Im Hinblick auf die Verkehrssicherheit des motorisierten Verkehrsteilnehmers ist für den Fall des unbeabsichtigten Befahrens des verkehrstechnischen Mittelstreifens zwingend auf eine dauerhaft hohe Griffigkeit der 66 cm breiten Einfärbung zu achten. Im Rahmen des vorliegenden Projekts lag der Schwerpunkt auf der Untersuchung des Einflusses des Griffigkeitsmittels auf den Farbton. Die Festlegung von Mindestanforderungen an die Griffigkeit für den Bauvertrag und die Erhaltung bedarf einer gesonderten Betrachtung. Allgemein wird darauf hingewiesen, dass die hier behandelten Einfärbungen nicht in den Geltungsbereich der ZTV M 13 fallen. Im Hinblick auf die flächige Ausführung sollten höhere Mindestanforderungen als in den ZTV M 13 in Betracht gezogen werden. Da der Griffigkeit der flächigen Einfärbung eine hohe Bedeutung beigemessen wird, sollten anstelle Glasbruch beständigere transparente Griffigkeitsmittel eingesetzt werden.

Insgesamt sollte angesichts des sehr kleinen Probenumfangs die Datenbasis vergrößert werden. Ein Anspruch auf Repräsentativität der im Rahmen des Projektes stichprobenartig untersuchten Materialien für die am Markt erhältlichen Produkte wird nicht erhoben.

7 Literatur

Berger-Schunn, A.: Praktische Farbmessung, 2. Auflage, Muster-Schmidt KG, Göttingen, Zürich, 1994

Frank, H.: Lichttechnik der Verkehrsbeschilderung, Mechatronik GmbH, Darmstadt, 2003

Lippold, C.; Enzfelder, K.; Bark, A.; Kutschera, R.: Schlussbericht zum Forschungsprojekt „Wirkung, Akzeptanz und Dauerhaftigkeit von Elementen der Fahrtrichtungstrennung auf Landstraßen“ (FE 02.281/ 2007/ AGB), Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen, Technische Universität Dresden, Dresden, März 2013

Meseberg, H.-H.: Verkehrstechnische Eigenschaften von Fahrbahnmarkierungen und ihre Messung, Straßenverkehrstechnik 6/93, Kirschbaum Verlag GmbH, Bonn, 1993

Meseberg, H.-H.: Sichtbarkeitsentfernungen bei Straßenmarkierungen: Farbige horizontale Verkehrsflächen, Fahrbahnmarkierungen : Kolloquium am 27./28. Mai 1986 in Bergisch Gladbach, Tagungsband, Forschungsgesellschaft für Straßen- u. Verkehrswesen, Köln, 1987

Schäpe, M.: Niederlande: Neue Fahrbahnmarkierungen, ADAC, Mitteilungen der Juristischen Zentrale, Nr. 24/2016, 08.03.2016

Regelwerke und Verordnungen

Straßenverkehrsordnung – StVO

Richtlinien für die Anlage von Landstraßen – RAL, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2012

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen – ZTV M 13, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2013

Technische Lieferbedingungen für Markierungsmaterialien - TL M 06, Ausgabe 2006, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2013

Technische Liefer- und Prüfbedingungen für vertikale Verkehrszeichen - TLP VZ, Ausgabe 2011, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2011

Commission Internationale de l'Eclairage - CIE 15:2004 (3rd Edition), Technical Report - Colorimetry

Normen und Regelwerk

DIN EN ISO 877-1:2011-03: Kunststoffe – Freibewitterung, Teil 1: Allgemeine Anleitung

DIN EN 1436:2009: Straßenmarkierungsmaterialien – Anforderungen an Markierungen auf Straßen

DIN EN 1436:2018-03: Straßenmarkierungsmaterialien – Anforderungen an Markierungen auf Straßen und Prüfverfahren

DIN 5033, Teil 1:2017-10: Farbmessung – Grundbegriffe der Farbmessung

DIN 6171:2017-02: Aufsichtfarben für Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen

DIN EN ISO 4618-2:1999: Lacke und Anstrichstoffe - Fachausdrücke und Definitionen für Beschichtungsmaterialien - Teil 2: Spezielle Fachausdrücke für Merkmale und Eigenschaften

DIN EN 12899-1:2008-02: Ortsfeste vertikale Verkehrszeichen – Teil 1: Ortsfeste Verkehrszeichen

DIN 55943:2001-10: Farbmittel – Begriffe

DIN 55945:1996: Lacke und Anstrichstoffe - Fachausdrücke und Definitionen für Beschichtungsmaterialien - Weitere Begriffe zu den Normen der Reihe DIN EN 971

ONR 22441:2015-11: Richtlinien zur Spezifikation von Bodenmarkierungen und Bodenmarkierungsmaterial, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

Bildanhang

Applikation

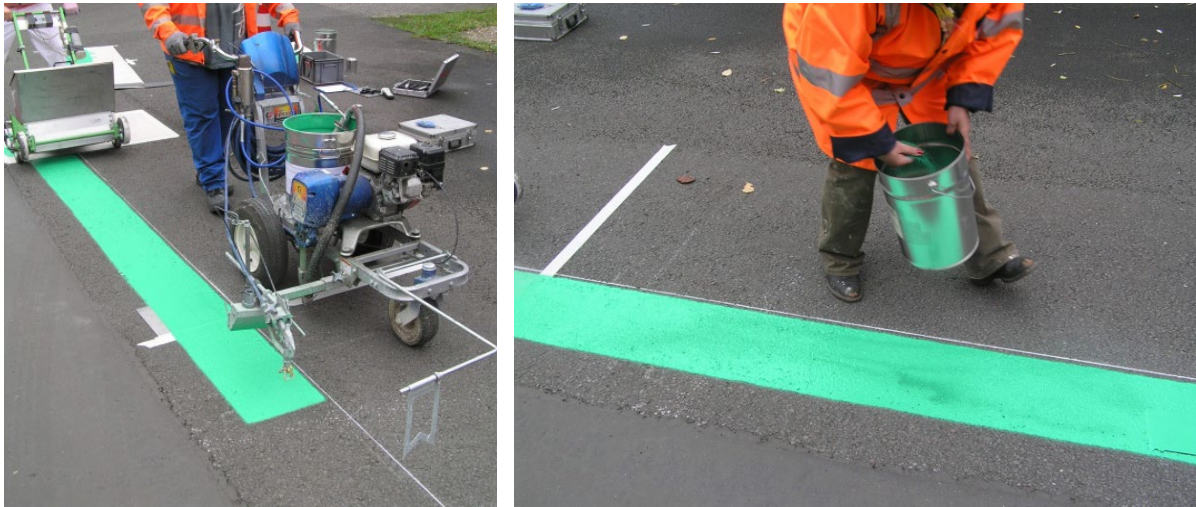


Abbildung A- 1: Applikation der HS-Farbe mit Perlstreuer (HS1, links) und manuelle Nachstreuung der grünen Griffigkeitsmittel (HS2, rechts)

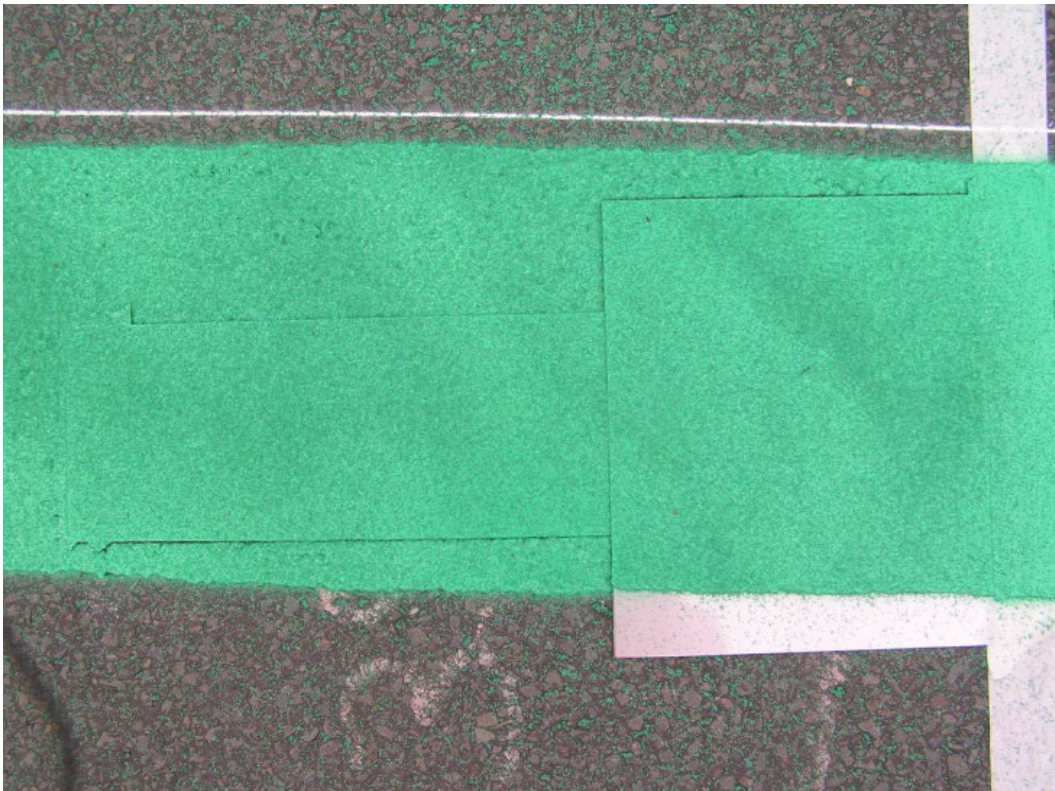


Abbildung A- 2: Anfertigung von Prüfblechen bei der HS-Farbe

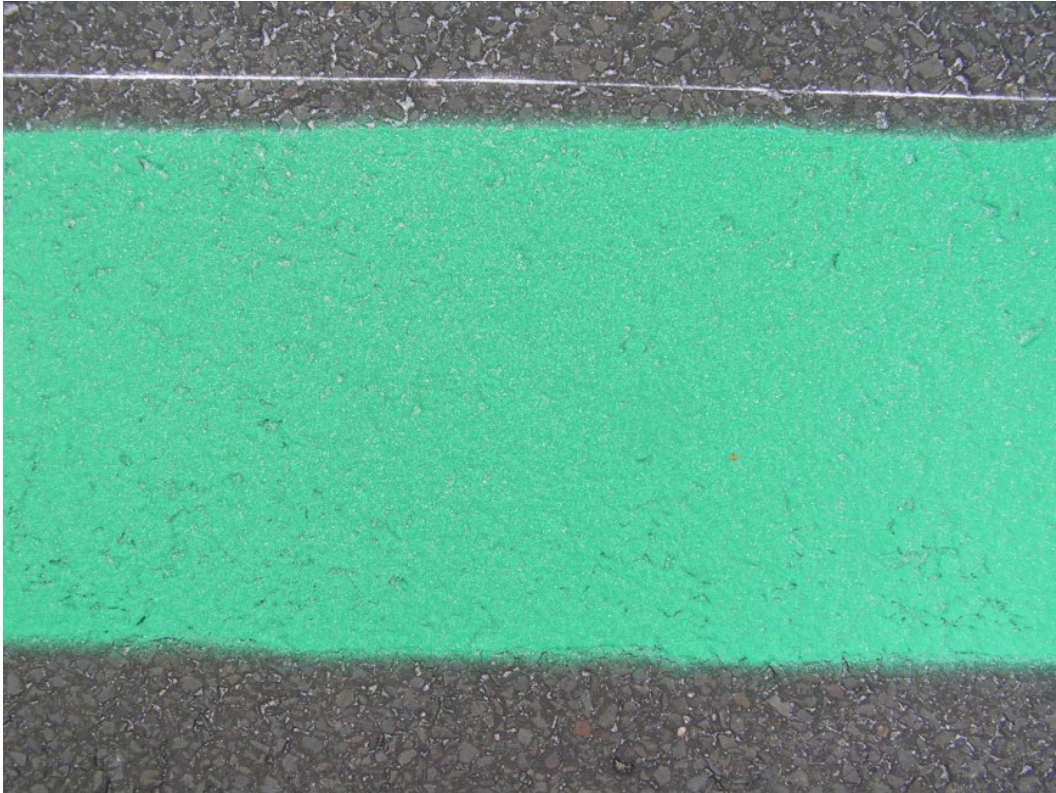


Abbildung A- 3: Fertigestellte Markierung (HS-Farbe, Variante 1)



Abbildung A- 4: Manuelle Applikation der Kaltplastik



Abbildung A- 5: Anfertigung von Prüfblechen bei der Kaltplastik (frühzeitige Aushärtung, später verworfen)

Proben im Neuzustand

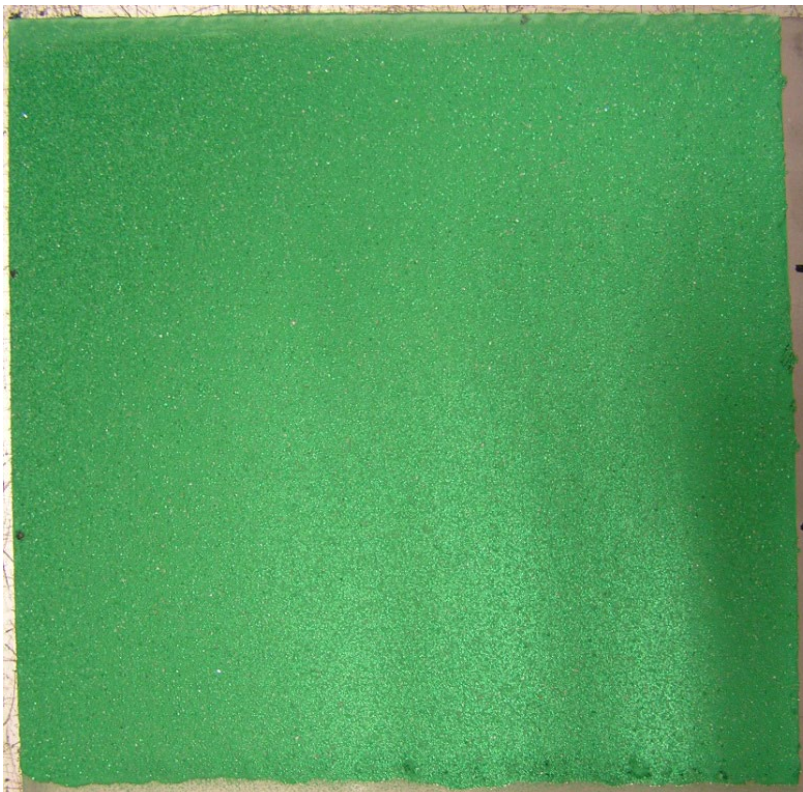


Abbildung A- 6: HS-Farbe 1 vor Bewitterung

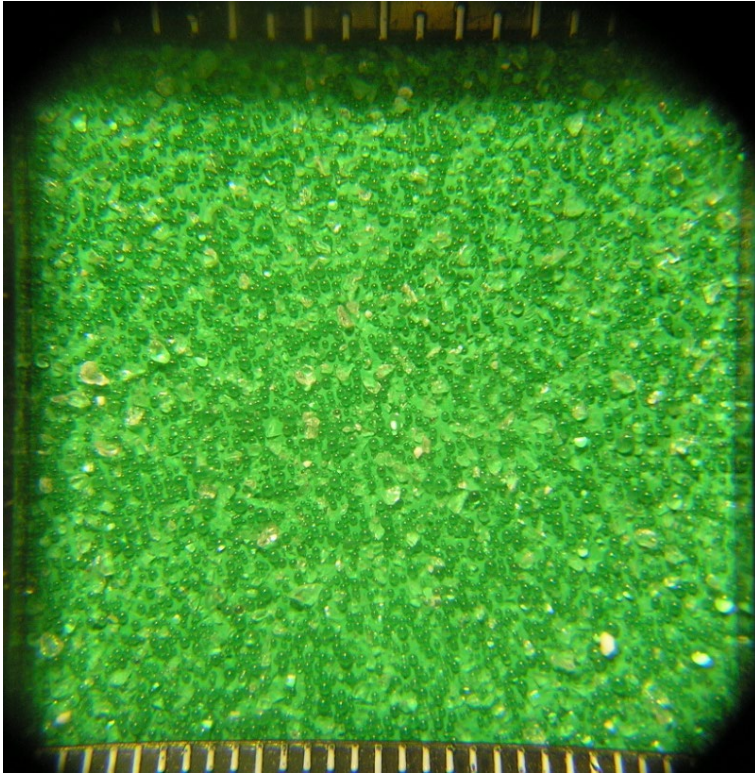


Abbildung A- 7: HS-Farbe 1, Handlupe

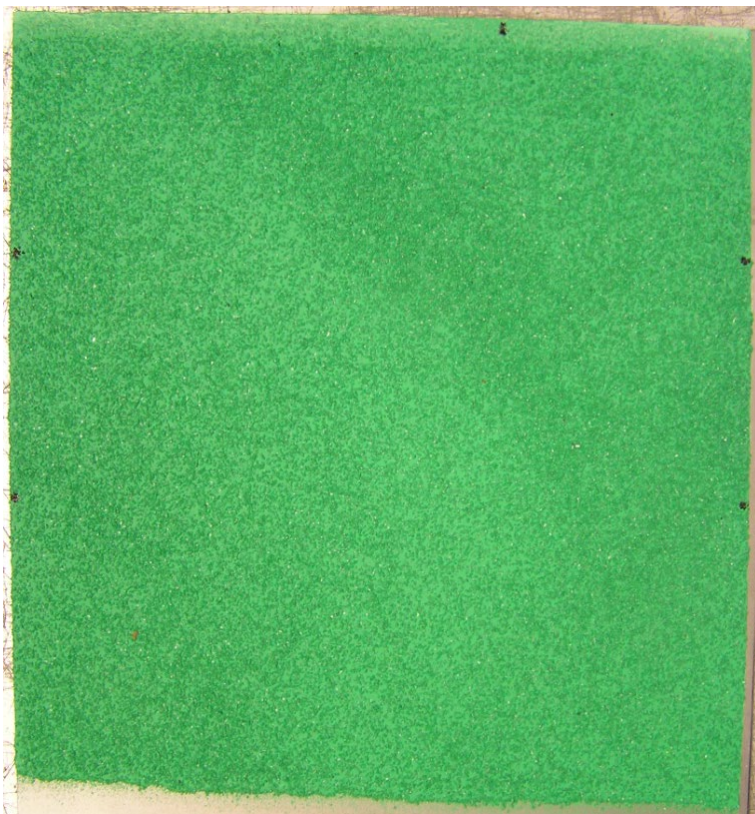


Abbildung A- 8: HS-Farbe 2, Neuzustand

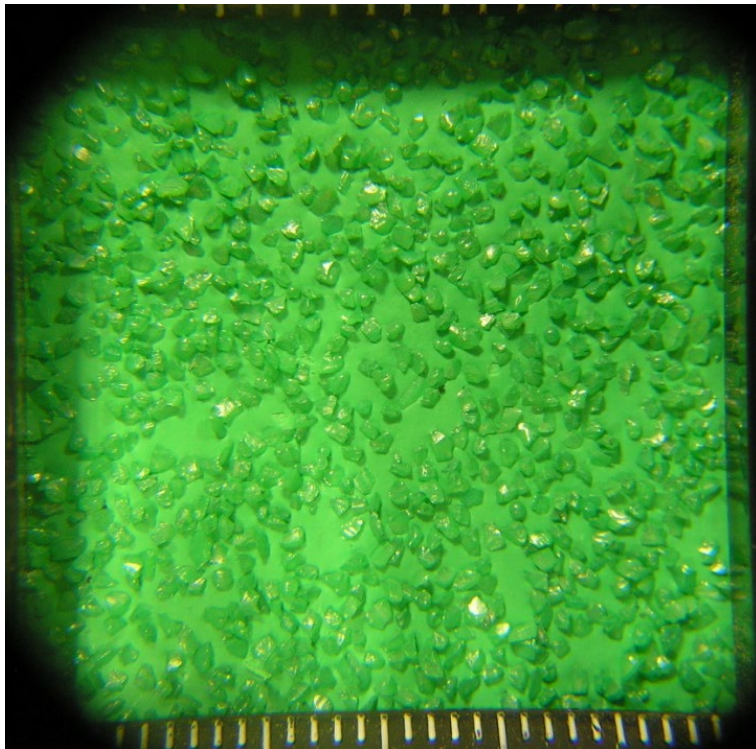


Abbildung A- 9: HS-Farbe 2, Neuzustand, Handlupe



Abbildung A- 10: HS-Farbe 3, Neuzustand



Abbildung A- 11: KSP 1, Neuzustand

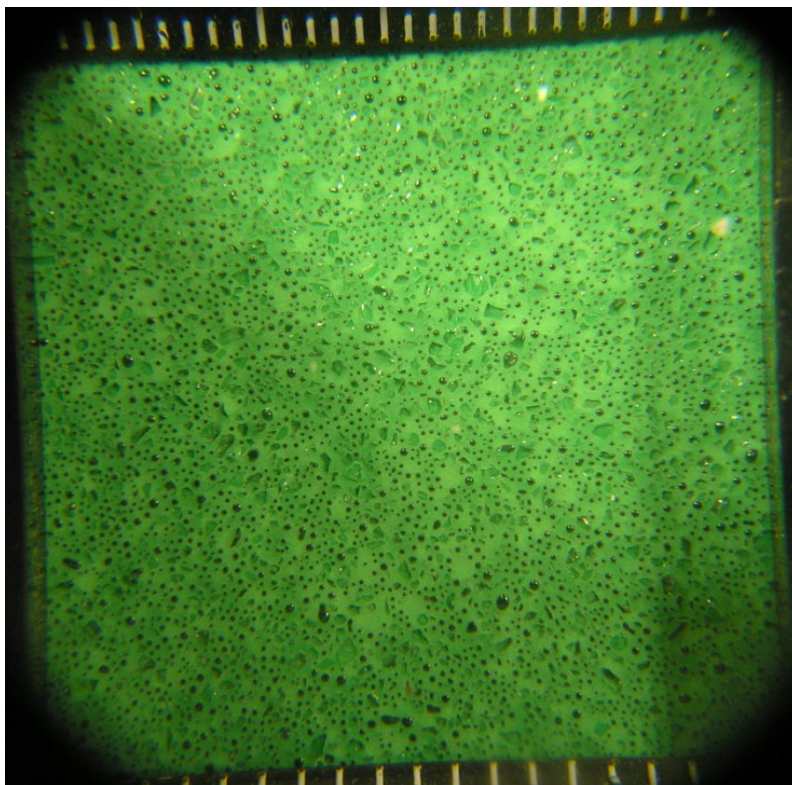


Abbildung A- 12: KSP 1, Handlupe, Neuzustand



Abbildung A- 13: KSP 2, Neuzustand

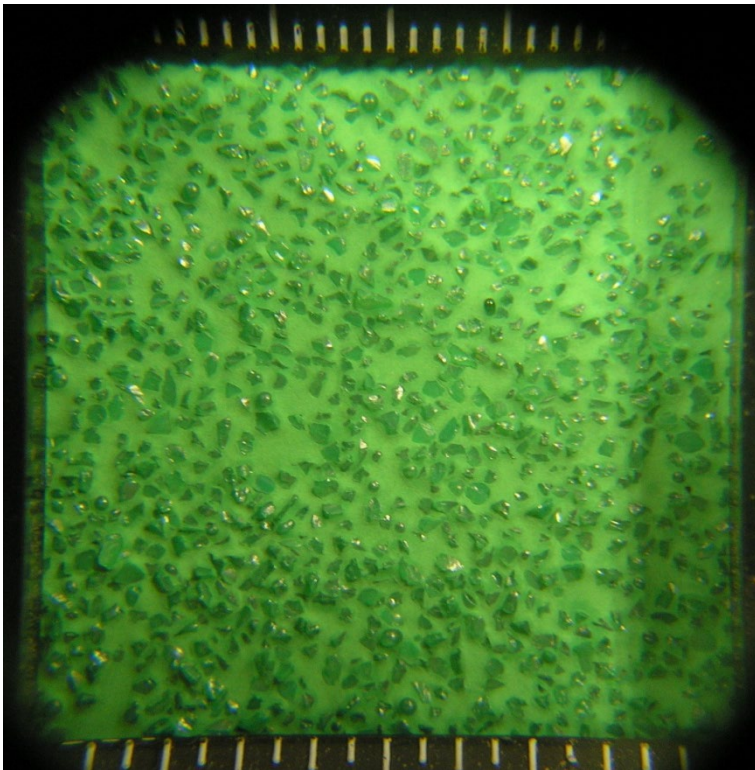


Abbildung A- 14: KSP2, Handlupe, Neuzustand



Abbildung A- 15: KSP 3, Neuzustand



Abbildung A- 16: KSP 4, Neuzustand

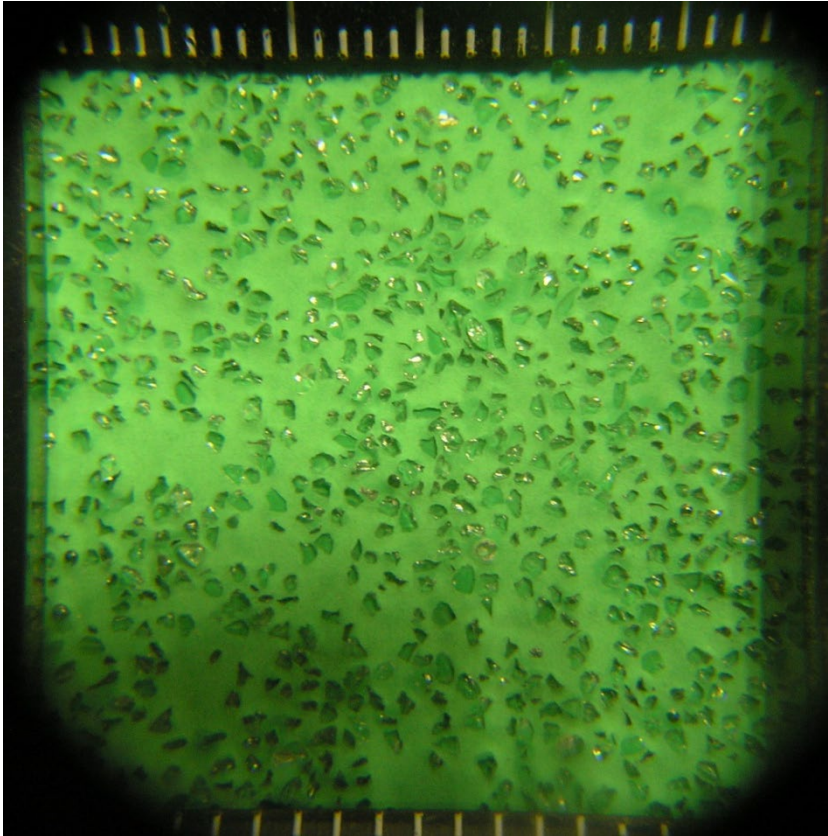


Abbildung A- 17: KSP 4, vor Bewitterung, Handlupe



Abbildung A- 18: HS-Farbe 3 (ohne Nachstreumittel), Blech und RAL-Farbkarte 6024



Abbildung A- 19: HS-Farbe 1, Blech und RAL-Farbkarte 6024



Abbildung A- 20: HS2 , Blech und RAL-Farbkarte 6024

Prüfbleche nach der Bewitterung



Abbildung A- 21: HS1, 15.08.16 RAL 6024-Karte und Blech

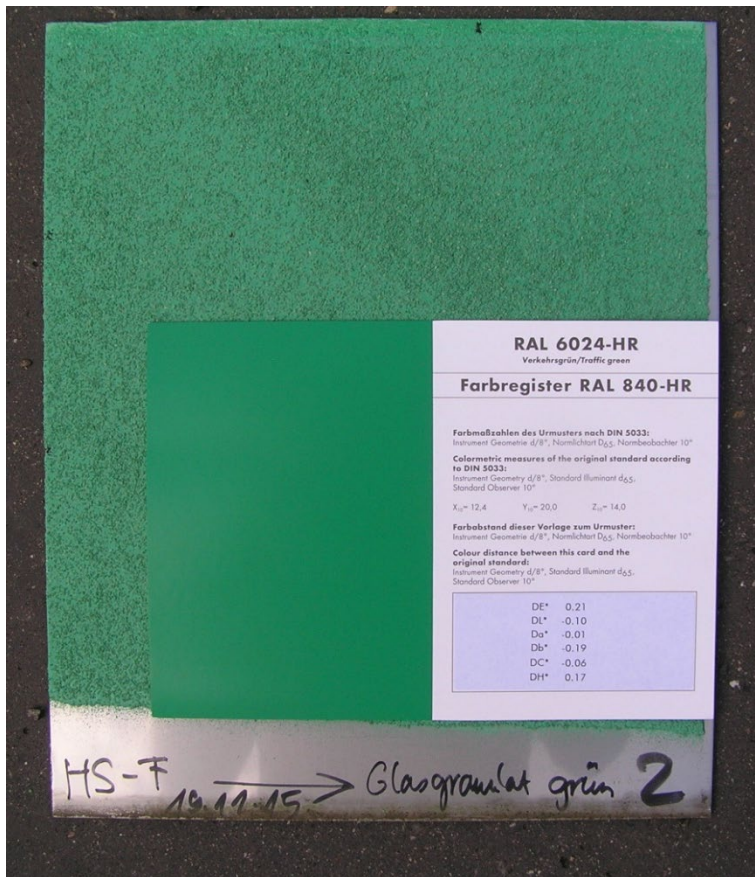


Abbildung A- 22: HS2, 15.08.16 RAL 6024-Karte und Blech



Abbildung A- 23: HS3, 15.08.16 RAL 6024-Karte und Blech



Abbildung A- 24: KSP1, 15.08.16, RAL 6024-Karte und Blech



Abbildung A- 25: KSP2, 15.08.16 RAL 6024-Karte und Blech

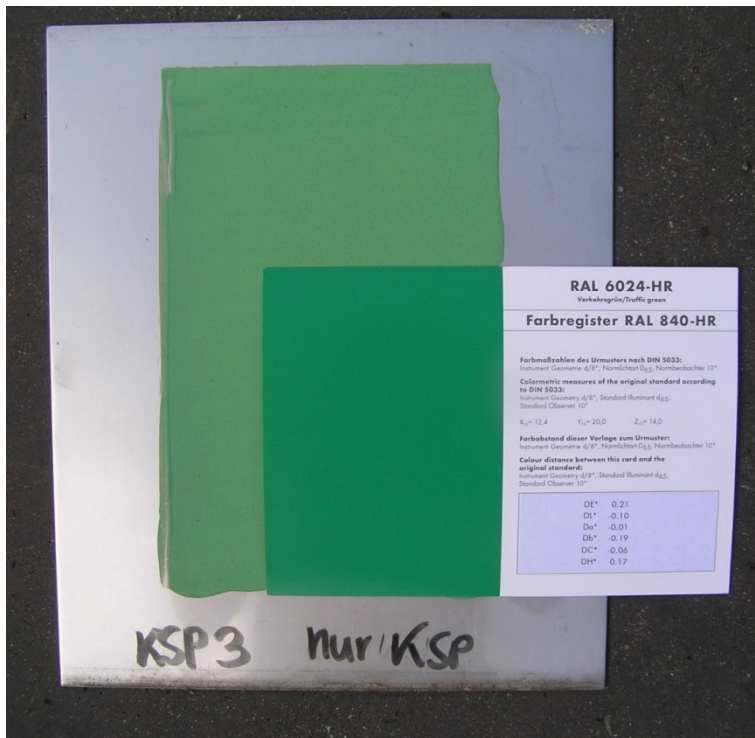


Abbildung A- 26: KSP3, 15.08.16, RAL 6024-Karte und Blech



Abbildung A- 27: KSP4, 15.08.16 RAL 6024-Karte und Blech

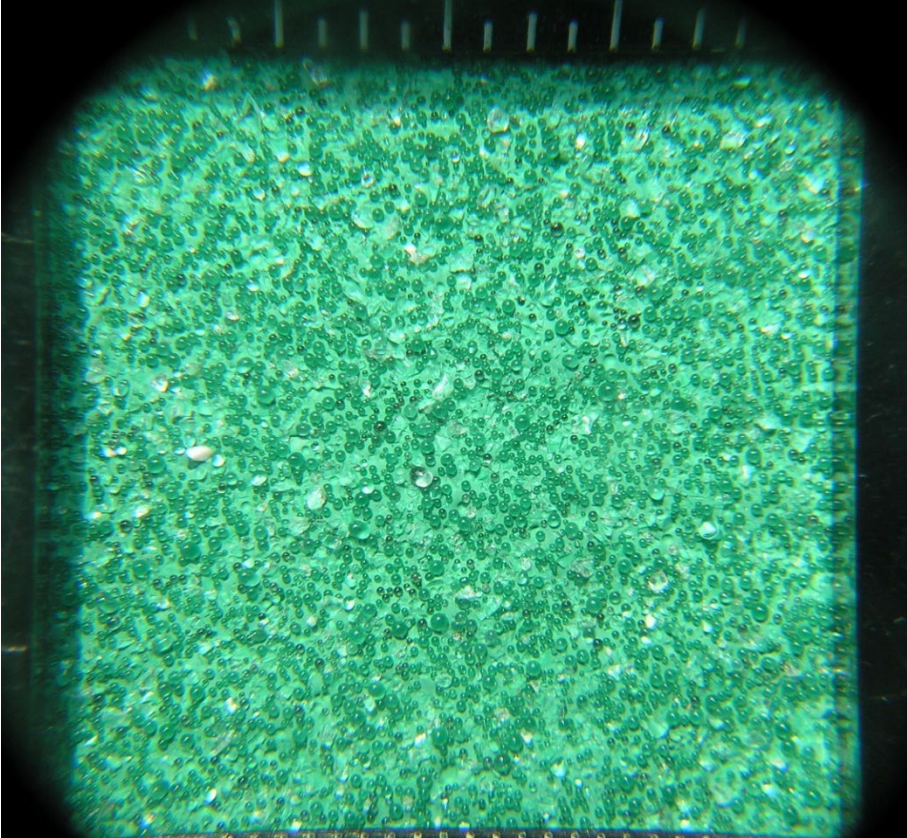
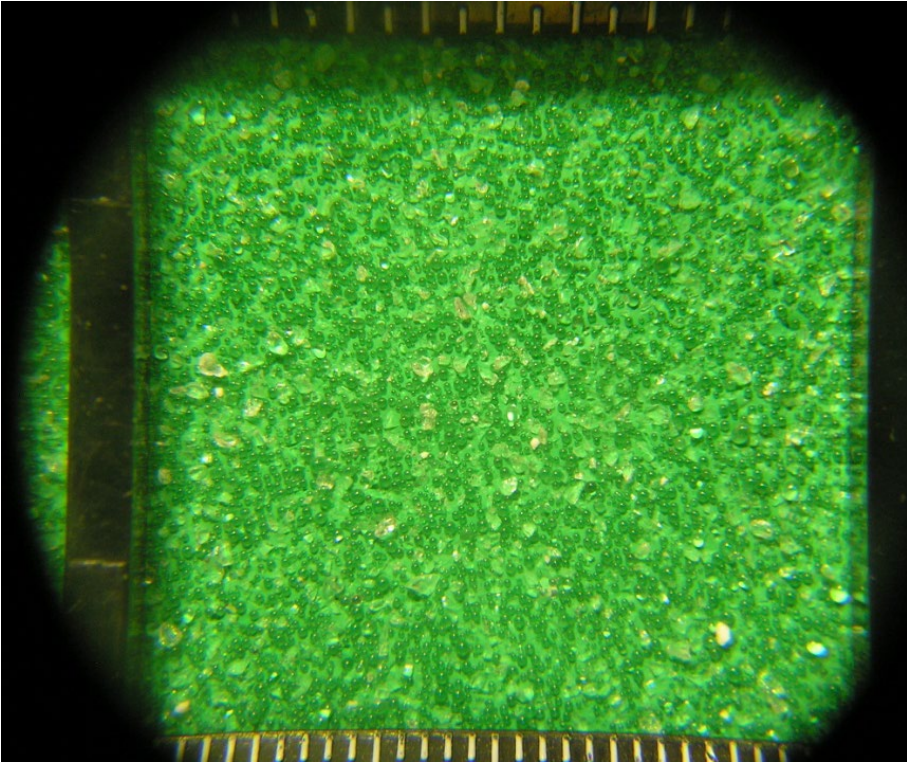


Abbildung A- 28: HS1, 15.08.16, Blech, Nahaufnahme (vorher und nachher)

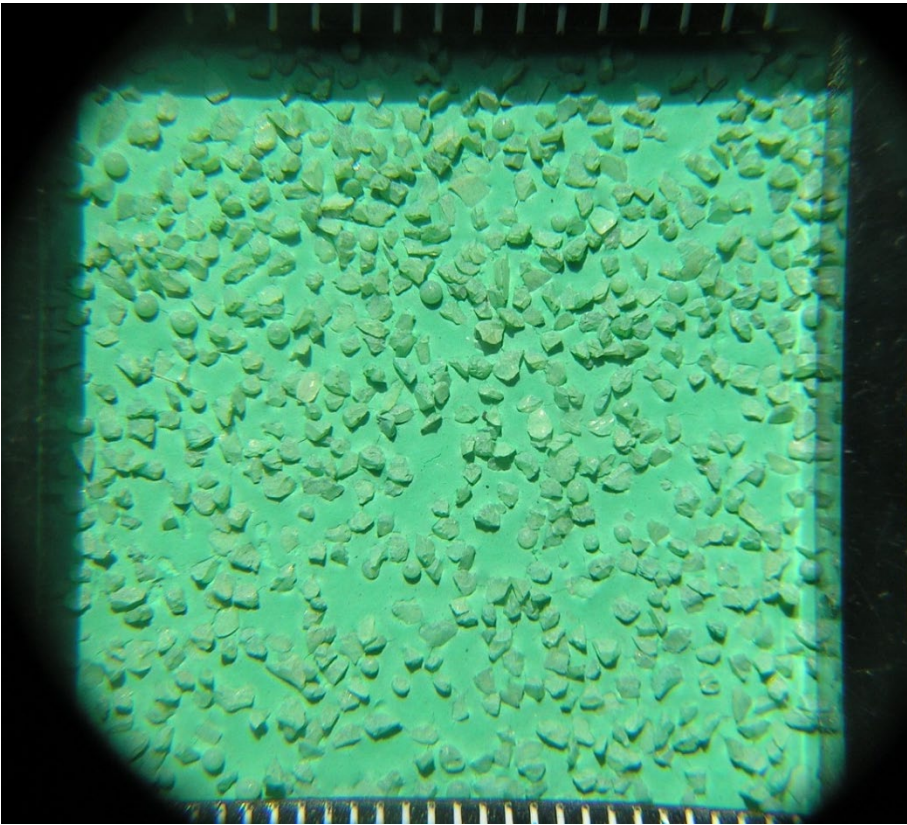
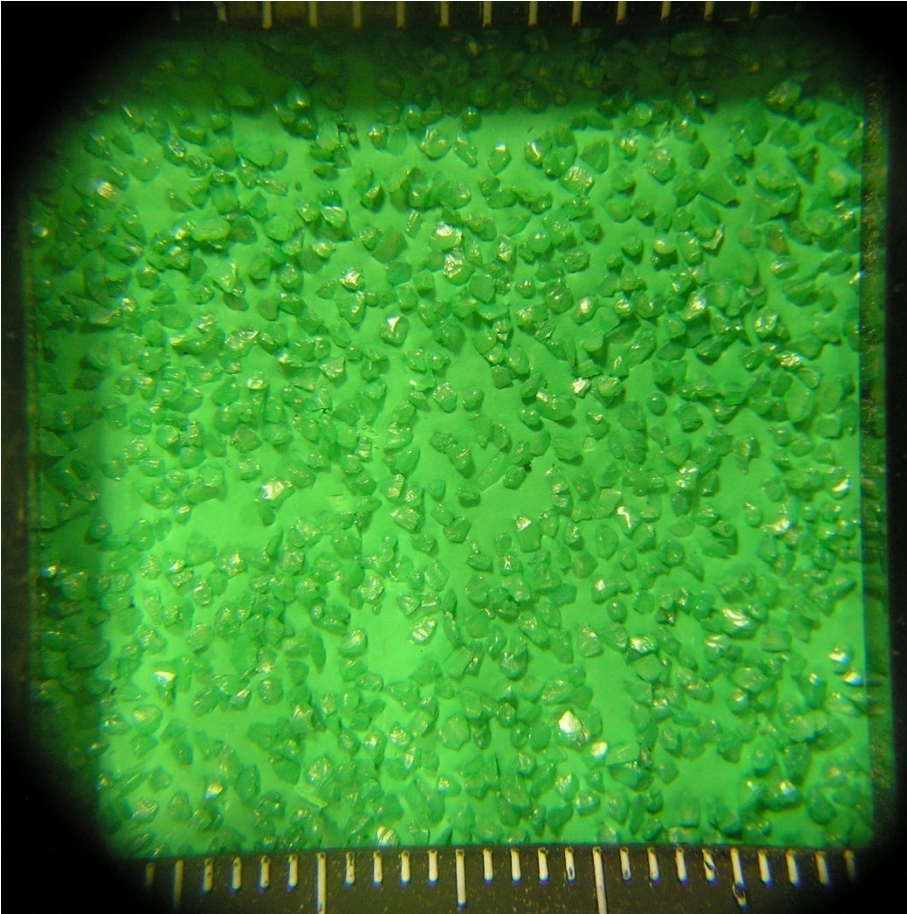


Abbildung A- 29: HS2, 15.08.16, Blech, Nahaufnahme (vorher und nachher)

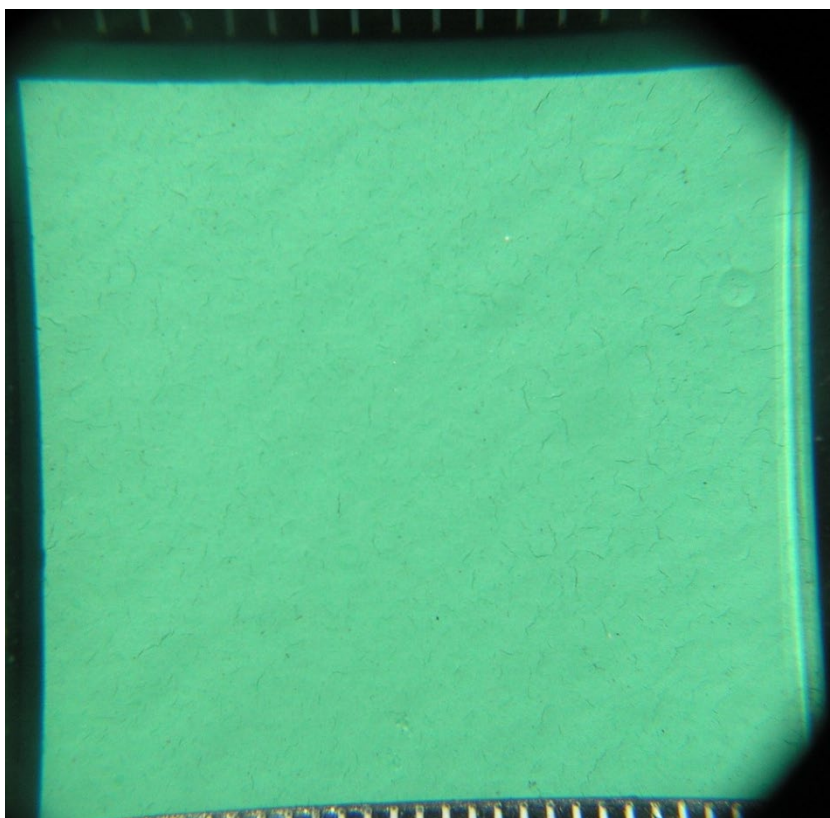
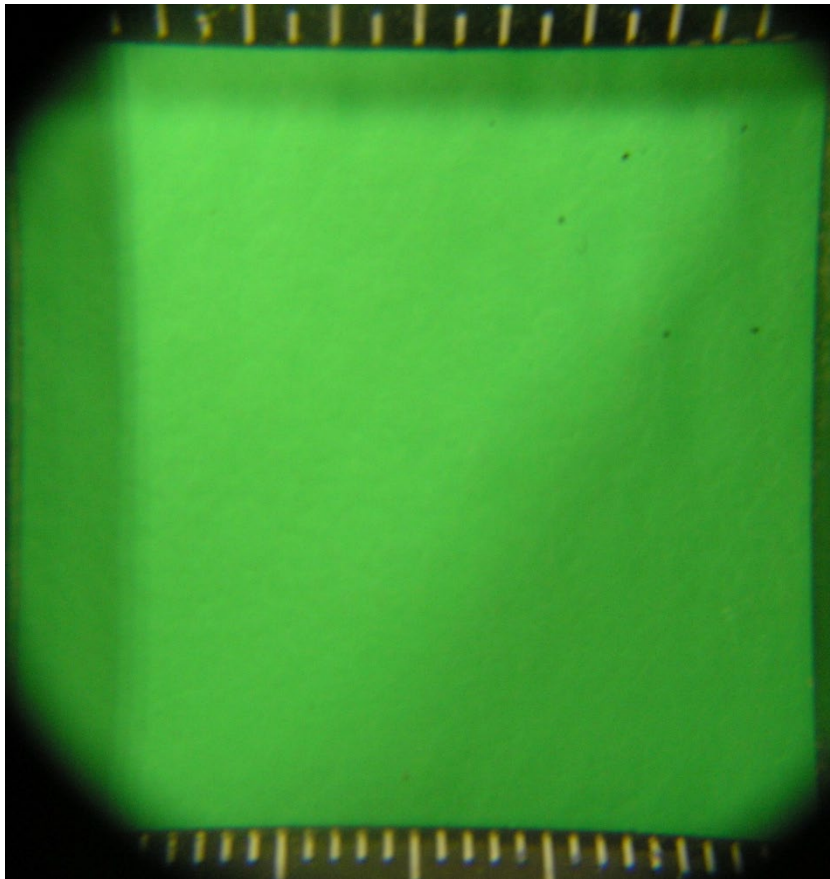


Abbildung A- 30: HS3, 15.08.16, Blech, Nahaufnahme (vorher und nachher)

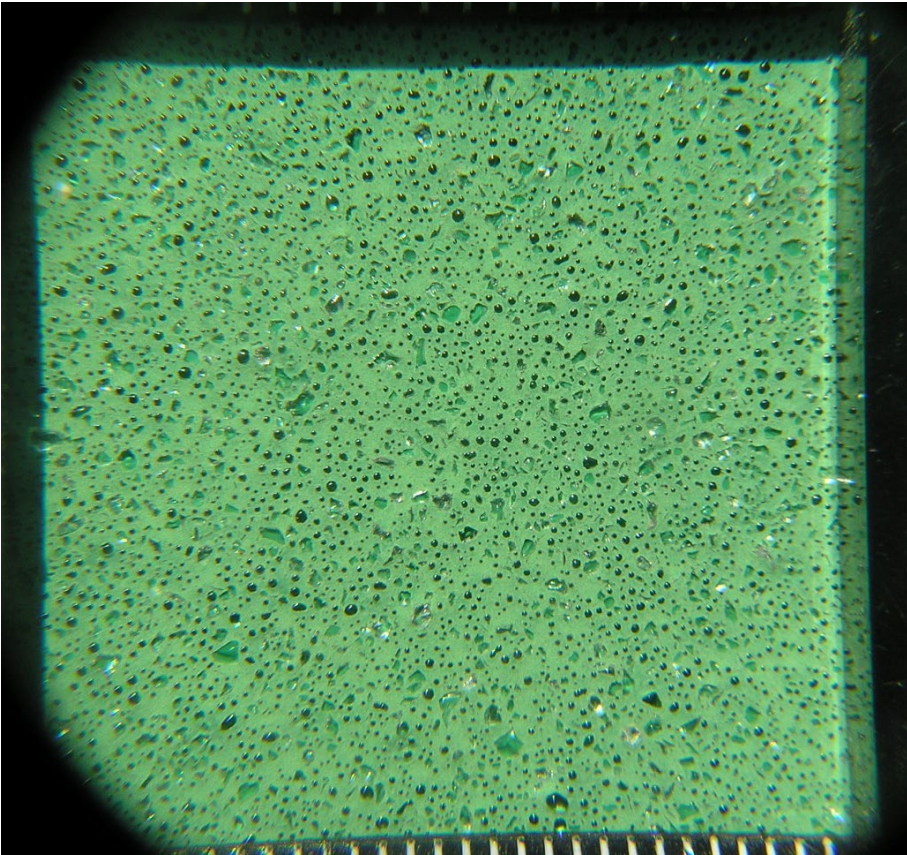
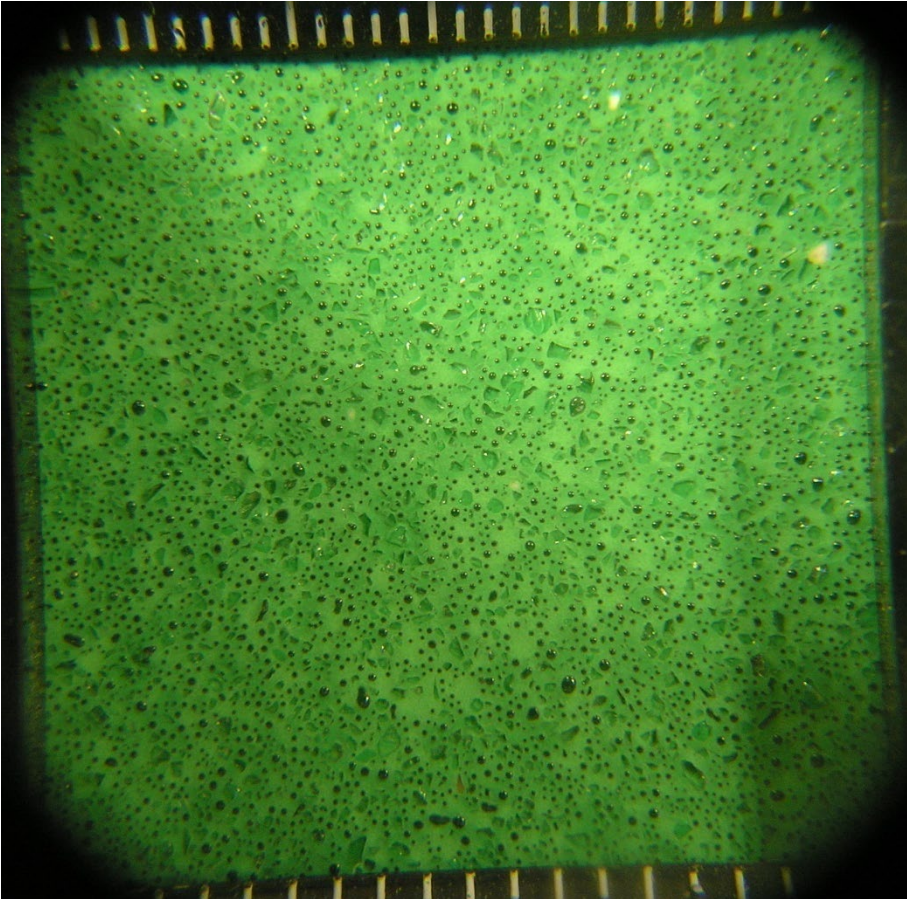


Abbildung A- 31: KSP1, 15.08.16, Blech, Nahaufnahme (vorher und nachher)

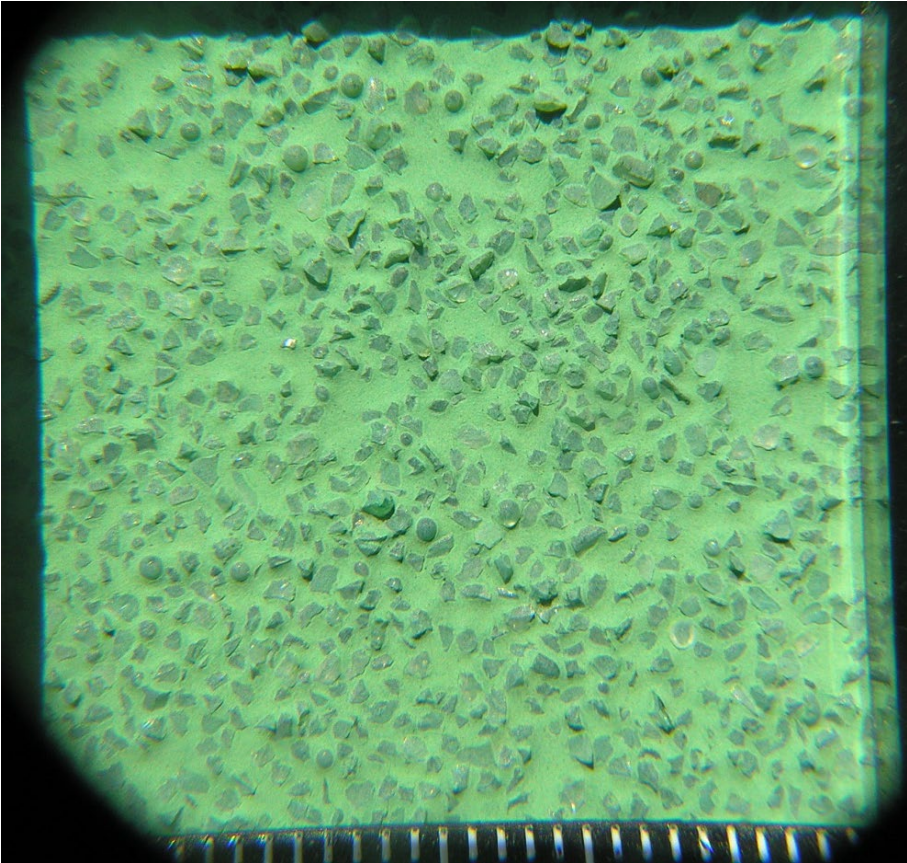
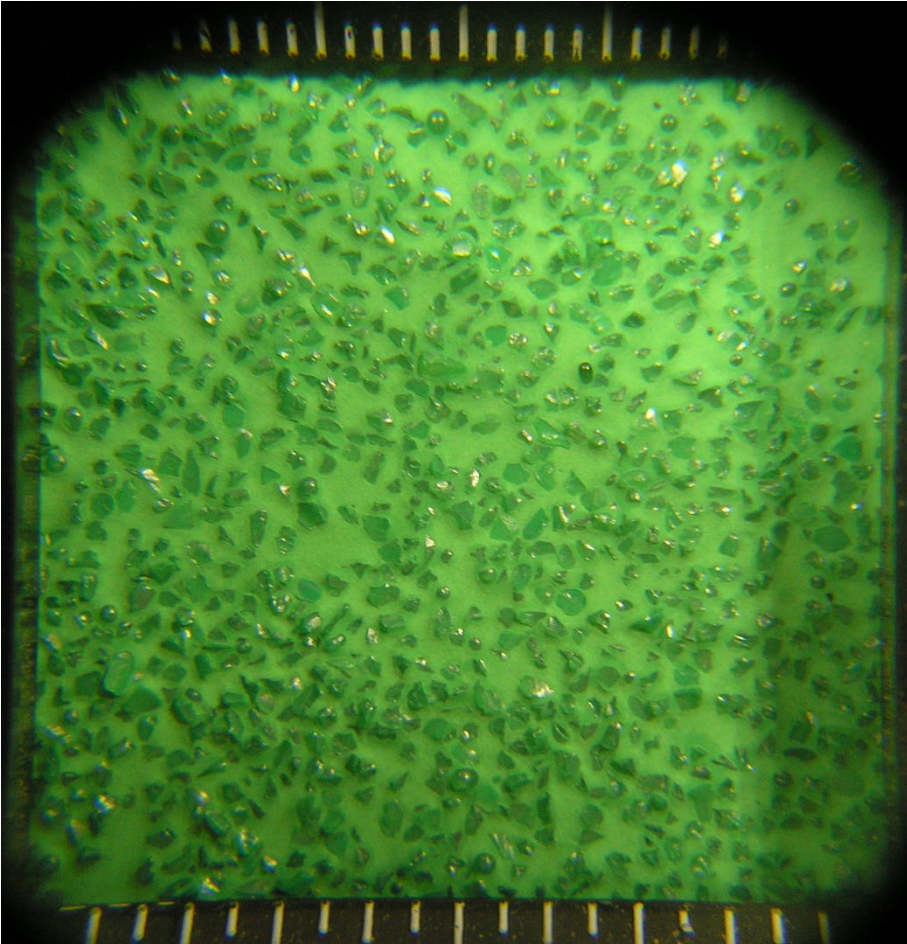


Abbildung A- 32: KSP2, 15.08.16, Blech, Nahaufnahme (vorher und nachher)

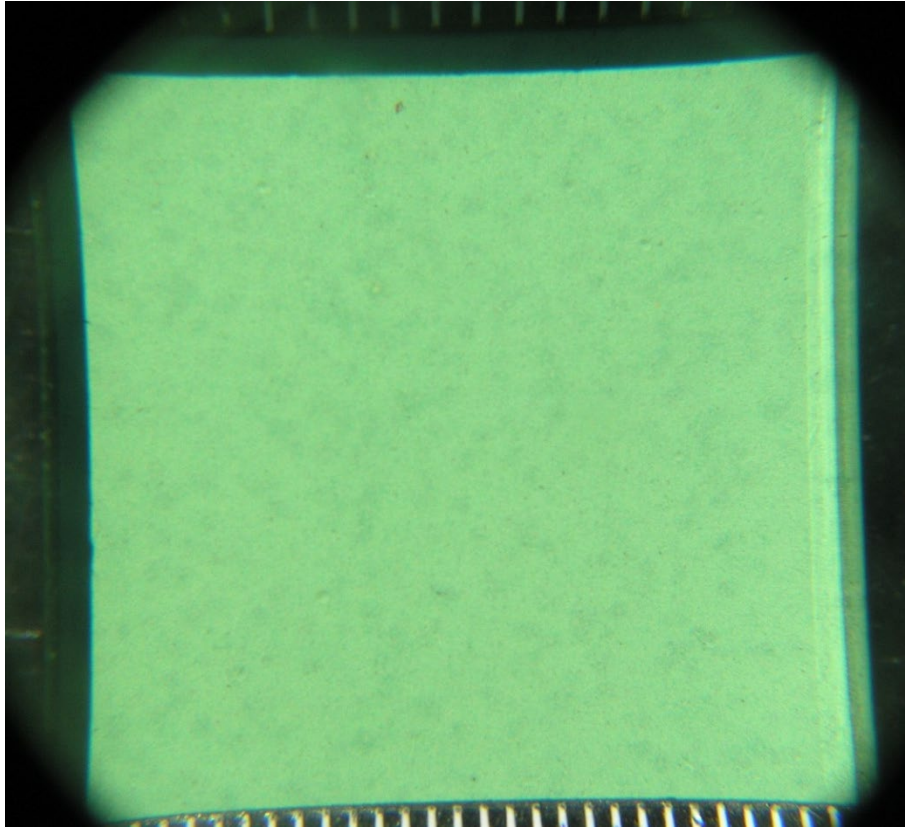


Abbildung A- 33: KSP3, 15.08.16, Blech, Nahaufnahme (nachher)

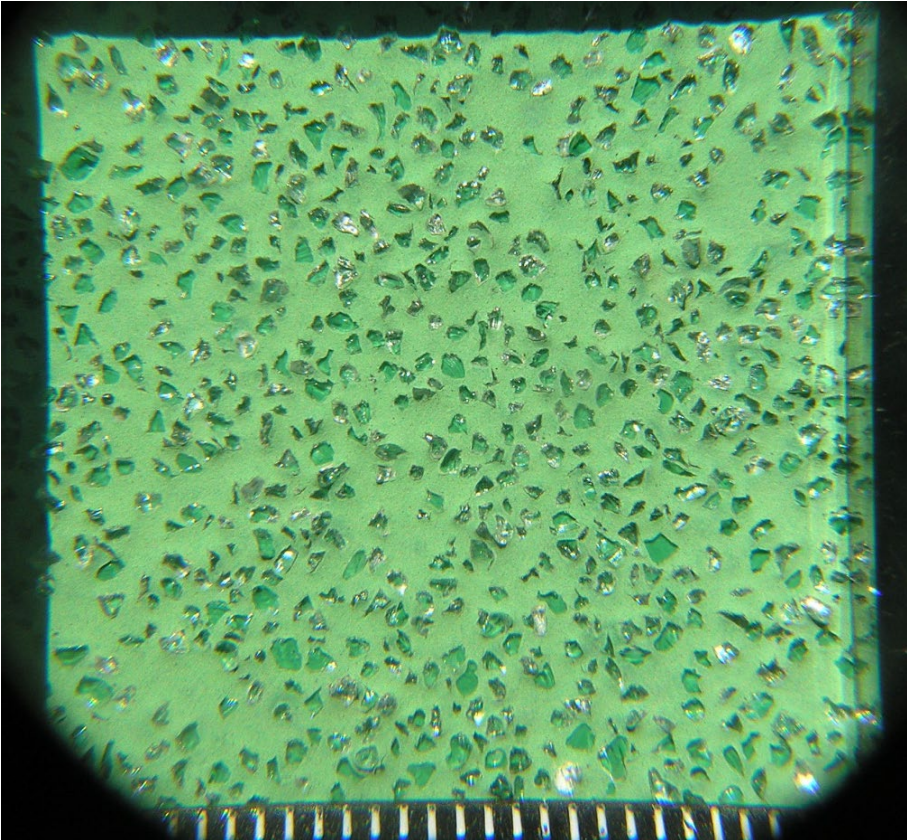
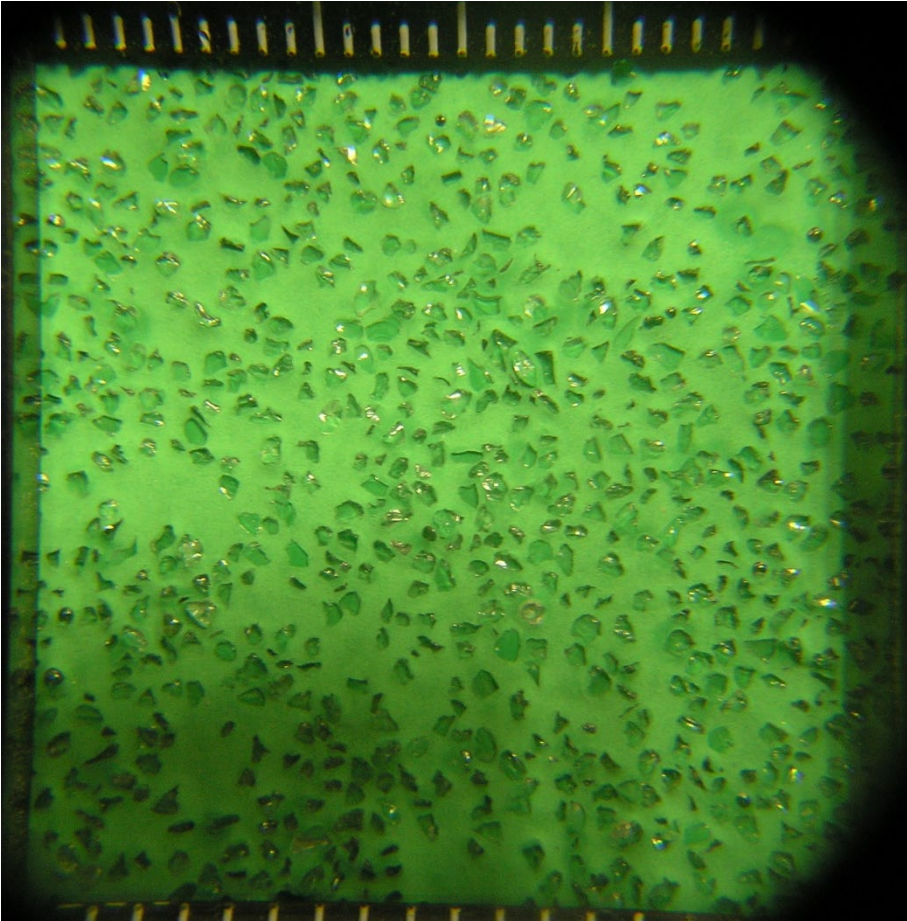


Abbildung A- 34: KSP4, 15.08.16, Blech, Nahaufnahme (vorher und nachher)

Proben vom Testfeld nach der Bewitterung

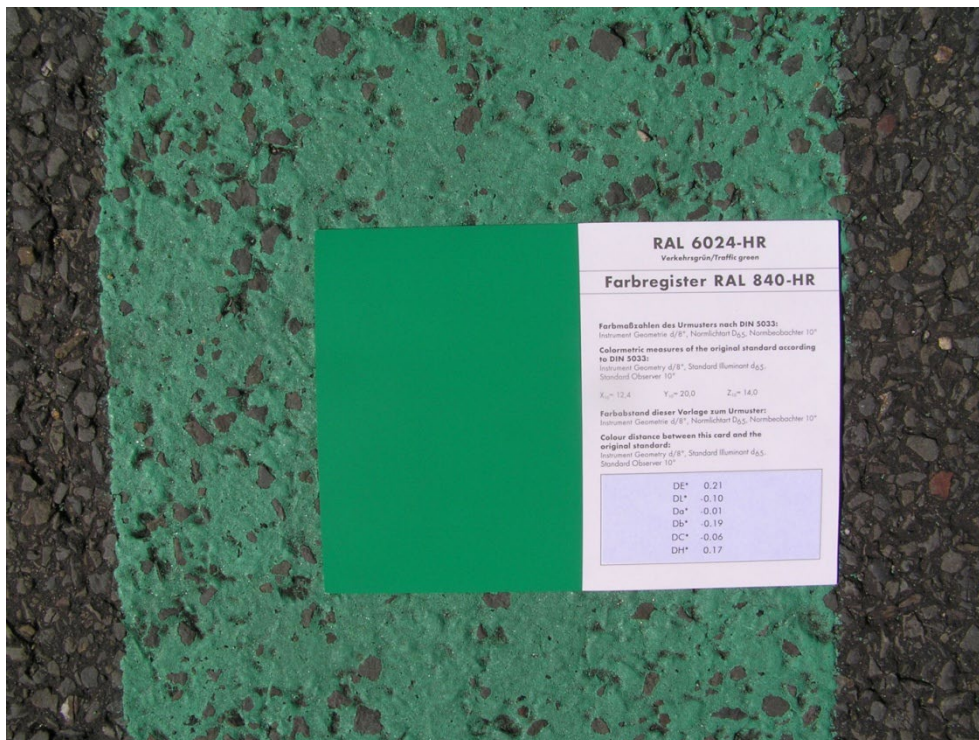


Abbildung A- 35 HS1, Feld, 15.08.2016, Vergleich mit RAL 6024-Karte



Abbildung A- 36: HS2, Feld, 15.08.2016, Vergleich mit RAL 6024-Karte