

Fachgebiet Straßenwesen mit Versuchsanstalt

Technische Universität Darmstadt

## Untersuchungsbericht

**UB 849**

Untersuchung des Alterungsverhaltens von Reflexstoffen

Prof. Dr.-Ing. J. Stefan Bald

**Bearbeiter:**

Dipl.-Ing. Romy Reinisch

cand.-ing. Björn Bach

Darmstadt, Dezember 2004

---

**Fachgebiet Straßenwesen mit Straßenwesen**

Petersenstraße 30  
64287 Darmstadt  
Telefon (+49 6151) 16-26 46  
Telefax (+49 6151) 16-33 86  
e-mail [strassenwesen@verkehr.tu-darmstadt.de](mailto:strassenwesen@verkehr.tu-darmstadt.de)

**Sachgebiet: 7**

**Sachbearbeiter:**  
Dipl.-Ing. R. Reinisch  
Telefon 0 61 51/ 16 2246

**Sparkasse Darmstadt**

BLZ 508 501 50  
Konto-Nr. 704 300

---

1	Einleitung .....	3
2	Die Messungen im Straßenraum .....	4
3	Auswertungen.....	7
3.1	Vorgehen.....	7
3.2	Der Reflexstoff vom Typ 1 .....	8
3.3	Der Reflexstoff vom Typ 2 .....	10
3.4	Der Reflexstoff vom Typ 3A .....	12
3.5	Der Reflexstoff vom Typ 3B.....	13
3.6	Weitere Einflussfaktoren.....	15
4	Zusammenfassung.....	18
5	Literaturverzeichnis.....	20
6	Anhang .....	22

## 1 Einleitung

Verkehrszeichen erfüllen wichtige Aufgaben im Straßenraum; sie regeln und ordnen den Verkehr und führen die Verkehrsteilnehmer zu den gewünschten Zielen. Um diese Funktionen erfüllen zu können, müssen Verkehrszeichen bei Tag, bei Dunkelheit und bei widrigen Witterungsverhältnissen rechtzeitig sichtbar, wahrnehmbar und erkennbar sein (vgl. HAV, 2003).

In vorangegangenen Untersuchungen (FRANK/EWALD, 1995) wurde nachgewiesen, dass Reflexstoffe (Typ 1 und 2) von Verkehrszeichen infolge Alterung ihre lichttechnischen Eigenschaften verändern. Mit Nachlassen des spezifischen Rückstrahlwertes ( $R'$ ) wird bei gleicher Beleuchtungsstärke ( $E$ ) die vom Fahrer gesehene Leuchtdichte ( $L$ ) geringer. Das Verkehrszeichen ist somit insbesondere bei Dunkelheit schlechter wahrnehmbar.

In den Jahren 2003 und 2004 führte das Fachgebiet Straßenwesen mit Versuchsanstalt der Technischen Universität Darmstadt weitere Messungen an Reflexstoffen von Verkehrszeichen durch. Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf der Analyse des Alterungsverhaltens der Reflexstoffe vom Typ 3B. Außerdem wurden auch die Reflexstoffe vom Typ 1, 2 und 3A untersucht und mit den vorhandenen Erkenntnissen aus dem Jahr 1995 verglichen. (Seit der Einführung der „Hinweise für die Wahl der Bauart von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen hinsichtlich ihrer lichttechnischen Eigenschaften“ (HWBV, 2001) werden Reflexstoffe vom Typ 3A in Deutschland nicht mehr eingesetzt, sodass eine umfangreiche Untersuchung nicht möglich ist.)

## 2 Die Messungen im Straßenraum

Gemessen wurden unterschiedlich alte weiße Reflexstoffe von Standard-Verkehrszeichen und Wegweisern.

Zur Herstellung von Verkehrszeichen werden entweder „original eingefärbte“ oder „lasurbedruckte“ Reflexstoffe verwendet. Vergleichbar sind jedoch nur die spezifischen Rückstrahlwerte innerhalb eines Farbherstellungsverfahrens. Daher wurden in dieser Untersuchung nur weiße (unbunte) Reflexstoffe vermessen und in die Auswertung einbezogen.

Als Messgerät zur Bestimmung des spezifischen Rückstrahlwertes wurde das Retroreflexionsmessgerät RetroChecker 2000 der Firma Mechatronic eingesetzt. Die Messgeometrie entspricht den Anforderungen nach DIN 67250 Teil 1 (1994).

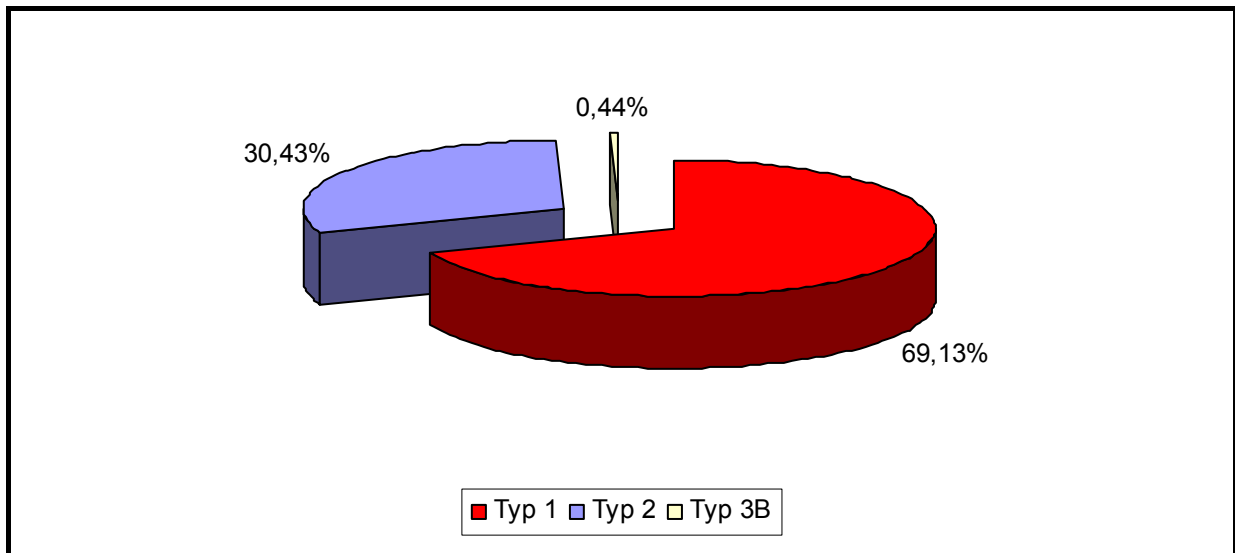
Zwei Mitarbeiter des Fachgebiets nahmen die folgenden Daten der einzelnen Verkehrszeichen auf:

- spezifischer Rückstrahlwert im gereinigten bzw. ungereinigten Zustand,
- StVO-Nr. gemäß Verkehrszeichenkatalog,
- Reflexstofftyp nach DIN 67520,
- Aufstelljahr und
- Aufstellungsgeometrie (Himmelsrichtung, Schildposition).

Zur Messausrüstung gehörten neben dem Retroreflexionsmessgerät u.a. Leiter, Reinigungstuch und Wasser sowie ein Feldbuch mit dem entsprechenden Erfassungsbogen.

Die Messungen der lichttechnischen Eigenschaften von Verkehrszeichen wurden im Rhein-Main-Gebiet, in der Überkopfwegweisung des Kölner Stadtrings und im Stadtgebiet Krefeld durchgeführt.

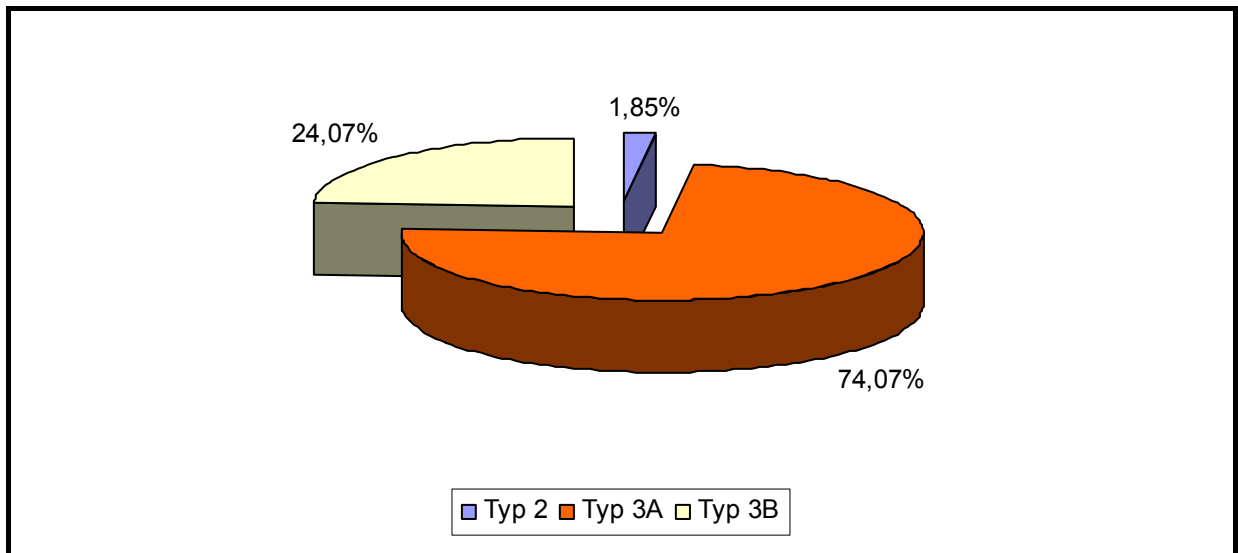
Während der ersten Messreihe (Rhein-Main-Gebiet) wurden Reflexfolien vom Typ 1, 2 und 3B im gereinigten sowie ungereinigten Zustand untersucht. Es ergibt sich die in Bild 1 dargestellte Verteilung der Reflexstofftypen.



**Bild 1:** Verteilung der Folientypen aus Messreihe I

Die Ergebnisse der Reflexstoffe vom Typ 1 und 2 stellen eine Fortführung der Untersuchungen aus dem Jahr 1995 dar. Da aus Messreihe I relativ wenige Ergebnisse für Reflexstoffe vom Typ 3B vorlagen, erfolgten zwei weitere Messreihen.

Während der zweiten Messreihe (Kölner Stadtring) konnten gezielt Reflexstoffe vom Typ 3A bzw. 3B geprüft werden. Anhand von Bild 2 ist erkennbar, dass ca.  $\frac{3}{4}$  aller gemessenen Verkehrszeichen der Kölner Überkopfwegweisung mit Reflexstoffen vom Typ 3A ausgestattet sind. Während der Messungen wurde deutlich, dass nicht immer die vom Hersteller vorgeschriebene Ausrichtung der Prismen ( $\epsilon_{\text{Pfeilrichtung}}$ ) eingehalten wird. Bei mikroprismatischen Reflexfolien ist die Ausrichtung der Prismen jedoch entscheidend für die Reflexionseigenschaften. Daher wurde auch bei fehlerhafter Ausrichtung der Reflexfolien „in Pfeilrichtung“ gemessen. Somit wird nur die Alterung und nicht die Veränderung des Rückstrahlwertes infolge Verdrehung der Reflexfolien betrachtet.



**Bild 2:** Verteilung der Folientypen der Messreihe II

Um auch genügend Reflexstoffe vom Typ 3B auswerten zu können, erfolgte eine dritte Messreihe im Stadtgebiet Krefeld. Vergleichbar zur zweiten Messreihe wurde in der vorgeschriebenen „Pfeilrichtung“ gemessen. Im Rahmen dieser Messreihe wurden nur Reflexfolien des Typ 3B untersucht.

In Krefeld wurden zusätzlich die spezifischen Rückstrahlwerte aller vorhandenen Verkehrszeichenaufsichtsfarben gemessen. Die Messwerte für farbige Reflexstoffe wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Sie sind im Anhang dargestellt.

### 3 Auswertungen

#### 3.1 Vorgehen

Im realen Straßenraum werden die lichttechnischen Eigenschaften der Verkehrszeichen durch die Einwirkungen von UV-Strahlung, Regen, Frost und Temperaturschwankungen verändert. Im Folgenden werden die lichttechnischen Veränderungen infolge Alterung und Verschmutzung beschrieben.

Das Alterungsverhalten der Reflexstoffe kann anhand des Verhältnisses zwischen spezifischen Rückstrahlwert (gereinigt) und Freibewitterungsdauer (Alter des Verkehrszeichens) beschrieben werden. Der Alterungskoeffizient  $b$  (Rückstrahlwertverlust pro Jahr) berechnet sich über die folgende Gleichung (FRANK/EWALD, 1995).

$$b = \frac{R'(t_1) - R'(t_2)}{t_2 - t_1} \quad [cd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1} \cdot Jahre^{-1}] \quad \text{Gleichung 1}$$

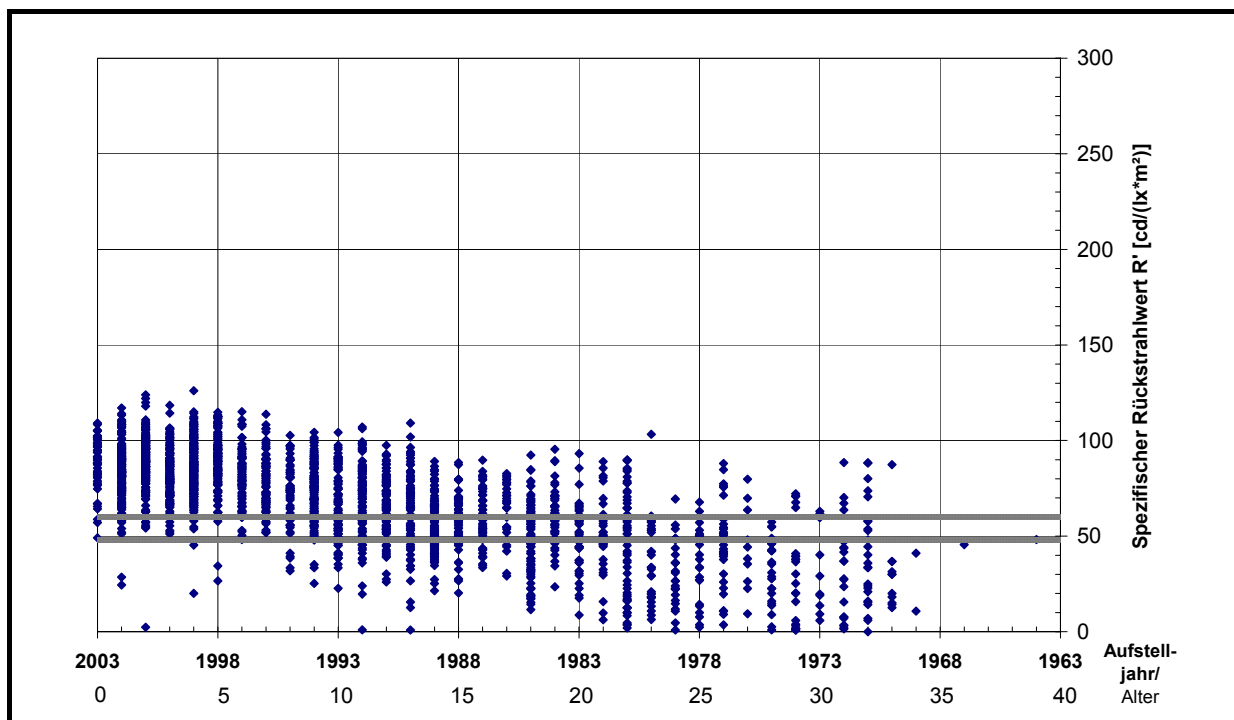
Mit der Regressionsanalyse wird die Beziehung von spezifischen Rückstrahlwert und Alter der Reflexfolie untersucht. Die Regressionsgeraden veranschaulicht grafisch das Alterungsverhalten der Reflexstoffe. Die durchschnittliche Lebensdauer eines Reflexstoffes endet dann, wenn die Regressionsgerade die 100%-DIN-Grenze schneidet.

Die Verschmutzung hat neben dem Effekt der Alterung einen wesentlichen Einfluss auf die Reflexionseigenschaften von Verkehrszeichen. In welchem Ausmaß die vorhandene Verschmutzung (Verschmutzungsgrad  $\tau$ ) die Eigenschaften beeinflusst, wurde an einer kleinen Stichprobe ungereinigter Verkehrszeichen untersucht und berechnet sich nach Gleichung 2.

$$\tau = \frac{R'_{gereinigt} - R'_{ungereinigt}}{R'_{gereinigt}} \cdot 100 \quad [\%] \quad \text{Gleichung 2}$$

### 3.2 Der Reflexstoff vom Typ 1

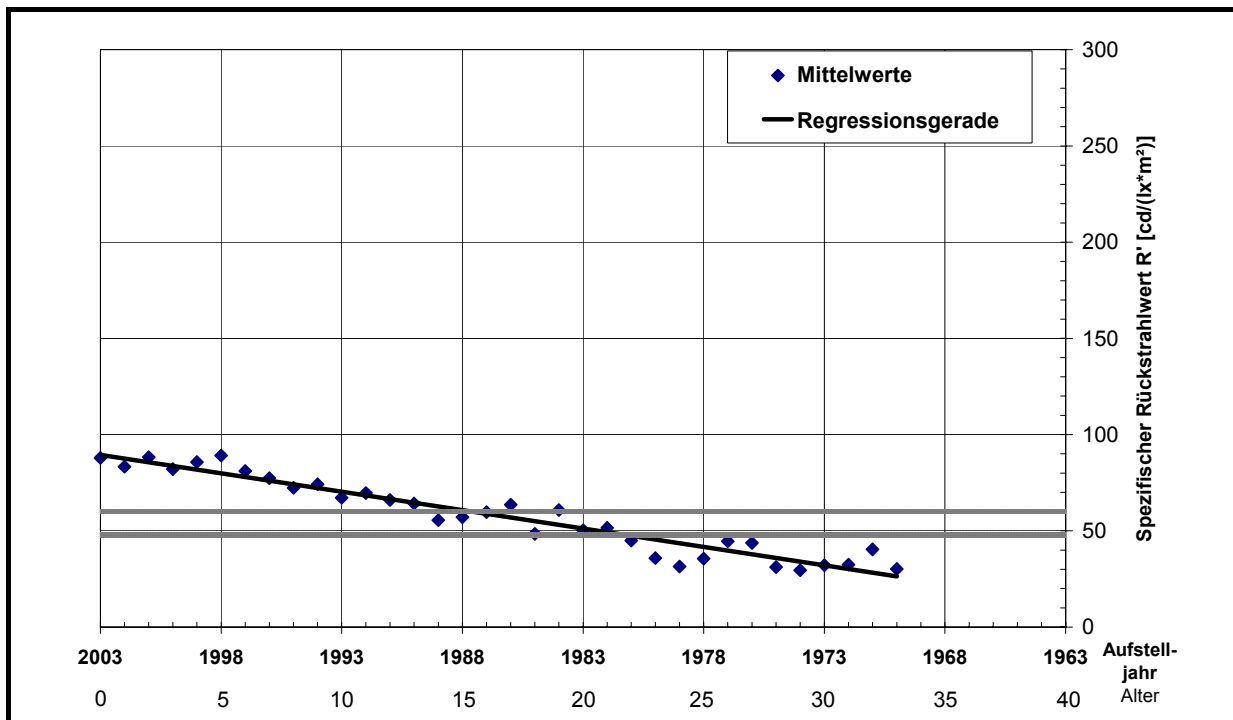
In Bild 3 sind alle Messwerte als einzelne Punkte, zugeordnet zum entsprechenden Aufstelljahr abgebildet. Anhand der Skalierung der x-Achse kann das Aufstelljahr und das Alter des Reflexstoffes abgelesen werden. Außerdem sind der nach DIN 67520 Teil 2 (1994) geforderte Mindestrückstrahlwert im Neuzustand ( $60 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ) und dessen 80%-Wert ( $48 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ) angegeben. (Nach SCHMIDT-CLAUSEN (1983) ist eine Unterschreitung der lichttechnischen Mindestanforderungen um maximal 20% (80%-Wert) zulässig, dieser Wert sollte auf keinen Fall überschritten werden.)



**Bild 3:** Spezifische Rückstrahlwerte des Reflexstoffs Typ 1 (weiß)

In Bild 3 ist erkennbar, wie der spezifische Rückstrahlwert mit zunehmendem Alter des Reflexstoffes abnimmt. Anhand der Regressionsanalyse wurde der funktionale Zusammenhang zwischen Alter des Reflexstoffes und spezifischen Rückstrahlwertes beschrieben (Bild 4). Der durchschnittliche Alterungskoeffizient des Reflexstoffes vom Typ 1 ergibt sich zu  $b \approx 1,9 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{Jahre}^{-1}$  (vgl. FRANK/EWALD (1995)  $b \approx 2,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{Jahre}^{-1}$ ). Für diesen Reflexstoff kann somit eine

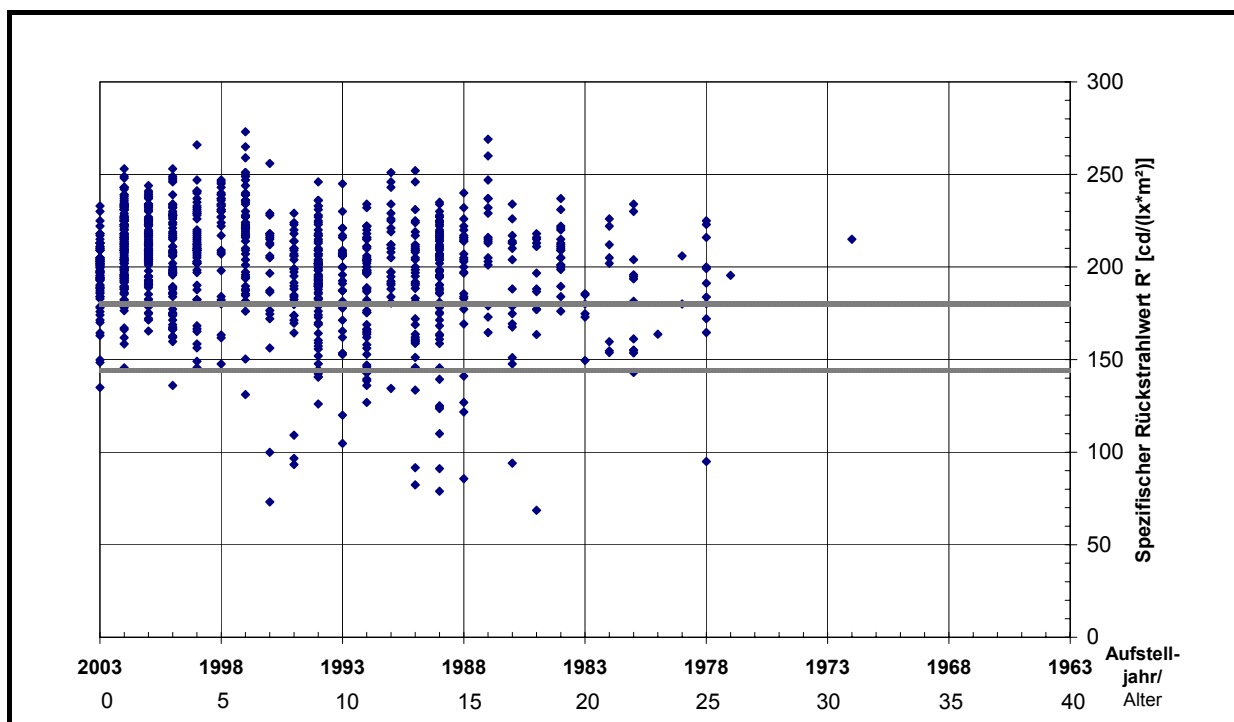
Lebensdauererwartung von ca. 15 Jahren ermittelt werden, wodurch die Ergebnisse von FRANK/EWALD (1995) bestätigt werden.



**Bild 4:** Berechnete Regressionsgerade mit Datengrundlage (weiß)

### 3.3 Der Reflexstoff vom Typ 2

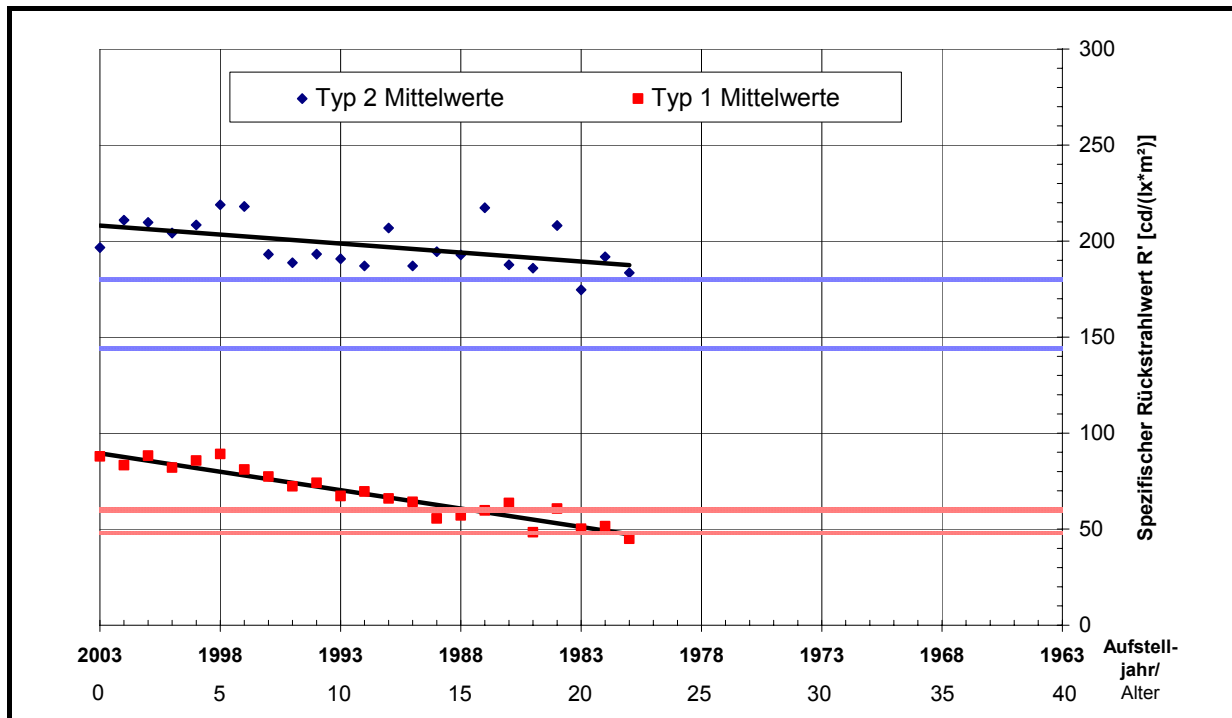
In Bild 5 sind alle gemessenen spezifischen Rückstrahlwerte für Reflexstoffe vom Typ 2 in Form einer „Punktwolke“ dargestellt. Die Messwerte wurden wiederum dem entsprechenden Aufstelljahr zugeordnet. Vergleichbar zum vorherigen Kapitel sind in Bild 5 außerdem der nach DIN 67520 Teil 2 (1994) geforderte Mindestrückstrahlwert im Neuzustand ( $180 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ) und dessen 80%-Wert ( $144 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ) eingezeichnet.



**Bild 5:** Spezifische Rückstrahlwerte des Reflexstoffs Typ 2 (weiß)

Der durch Regressionsanalyse gewonnene Zusammenhang zwischen dem Alter des Reflexstoffes und dem spezifischen Rückstrahlwert ist in Bild 6 für Reflexstoffe vom Typ 2 blau dargestellt. Zum Vergleich ist die ermittelte Regressionsgerade der Reflexstoffe vom Typ 1 aus Bild 4 in rot abgebildet. Vergleicht man die Neigungen der beiden Geraden, so wird deutlich, dass Reflexstoffe vom Typ 1 schneller „altern“ als Reflexstoffe vom Typ 2. Auch in den Untersuchungen von FRANK/EWALD (1995) wurde (mangels, damals ausreichend vorliegender Daten) angenommen, dass der Alterungskoeffizient der Reflexstoffe vom Typ 2 geringfügig niedriger ist als bei

Reflexstoffen vom Typ 1. Nun konnte ein deutlich geringerer Alterungskoeffizient von  $b \approx 1,0 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{Jahre}^{-1}$  berechnet werden. Anhand der Regressionsgeraden (blau) ist erkennbar, dass die 100% DIN-Grenze nach ca. 25 Jahren erreicht wird. Insgesamt ergibt sich also eine maximale Lebensdauererwartung von ca. 25 Jahren.



**Bild 6:** Regressionsgeraden von Typ 1 und Typ 2 im Vergleich (weiß)

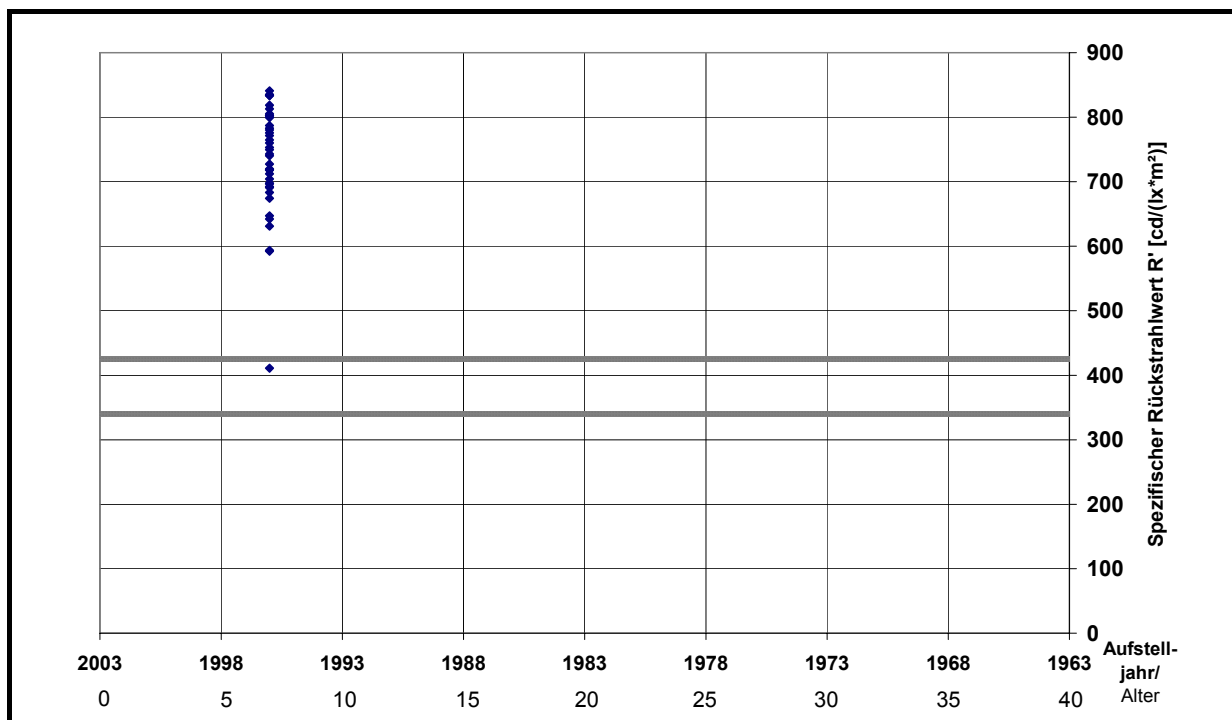
Das ist geringfügig niedriger, als in den vorangegangenen Untersuchungen angenommen. Im Jahre 1995 wurde diesem Reflexstoff eine Lebensdauer von 30 Jahren und mehr zugesprochen. Das ließe sich dadurch erklären, dass seinerzeit die gemessenen spezifischen Rückstrahlwerte der fabrikneuen Reflexstoffe ca. 30% über dem geforderten Mindestrückstrahlwert im Neuzustand lagen. Heute ist eine Annäherung der Reflexwerte der fabrikneuen Reflexfolien an den Mindestwert erkennbar, die durch den geringeren Alterungskoeffizienten kompensiert wird.

Diese Ergebnisse bestätigen weitgehend die von FRANK/EWALD (1995) formulierten Erkenntnisse über den Reflexstoff vom Typ 2.

### 3.4 Der Reflexstoff vom Typ 3A

Seit Einführung der HWBV (2001) werden die Reflexstoffe vom Typ 3A in Deutschland nicht mehr eingesetzt, so dass umfangreiche Untersuchungen nicht möglich sind. In Bild 7 sind alle „in Pfeilrichtung“ gemessenen spezifischen Rückstrahlwerte für Reflexstoffe vom Typ 3A abgebildet. Alle Messwerte sind einem Aufstelljahr zuzuordnen, daher kann nur die visuelle Qualität, nicht aber das Alterungsverhalten untersucht werden.

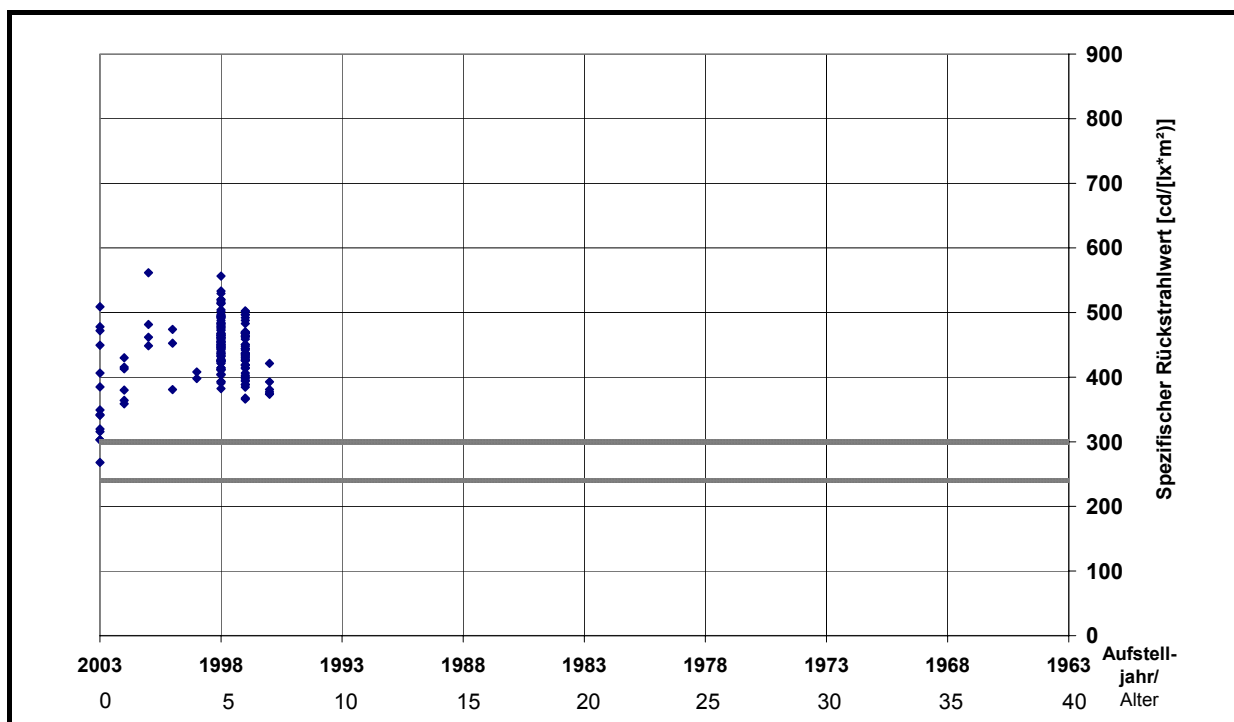
Neben den Messwerten sind der nach DIN 67520 Teil 4 (1999) geforderte Mindestrückstrahlwert im Neuzustand ( $425 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ) und dessen 80%-Wert ( $340 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ) abgebildet. Es ist erkennbar, dass die Reflexstoffe vom Typ 3A eine sehr gute visuelle Qualität hinsichtlich des geforderten 100% DIN-Wertes aufweisen.



**Bild 7:** Spezifische Rückstrahlwerte des Reflexstoffs Typ 3A (weiß)

### 3.5 Der Reflexstoff vom Typ 3B

Ein Hauptziel dieser Arbeit war es, das Alterungsverhalten der Reflexstoffe vom Typ 3B zu ermitteln. Alle „in Pfeilrichtung“ gemessenen Werte der unbedruckten Reflexstoffe sind in Bild 8 dargestellt. Die Messwerte der farbigen Reflexstoffe sind im Anhang zusammengestellt. Neben den Messwerten sind der nach DIN 67520 Teil 4 (1999) geforderte Mindestrückstrahlwert im Neuzustand ( $300 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ) und dessen 80%-Wert ( $240 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ) abgebildet.

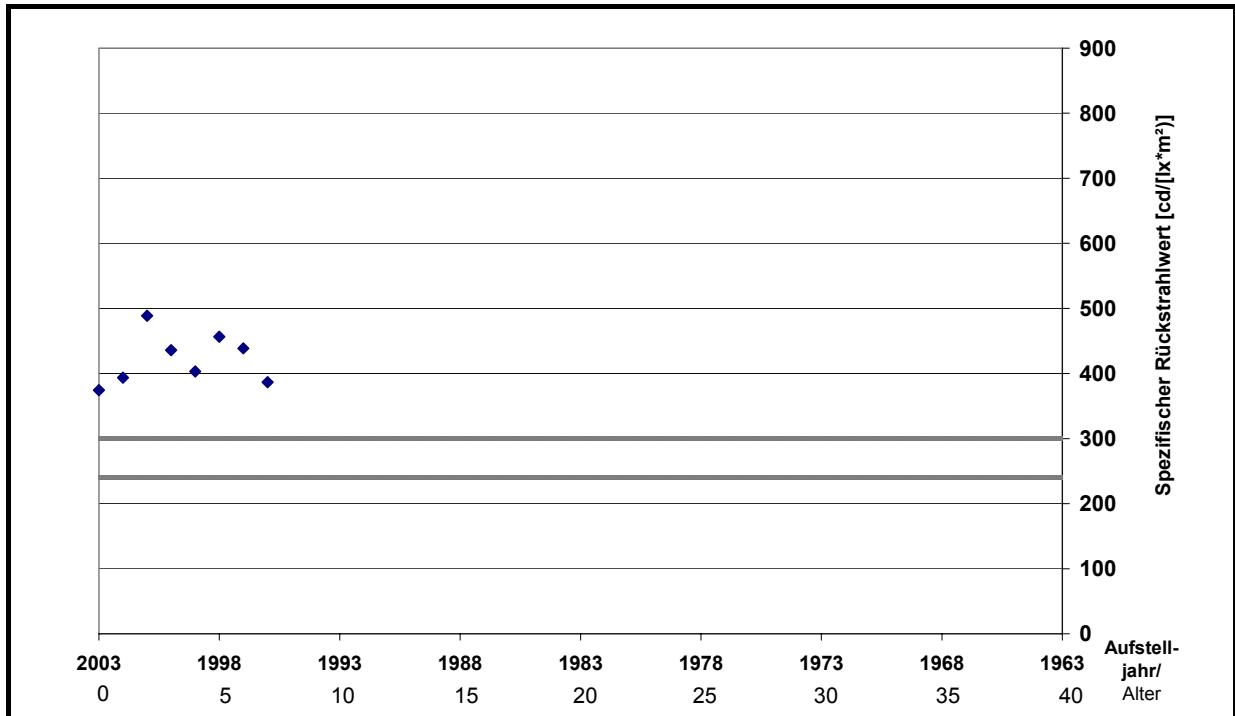


**Bild 8:** Spezifische Rückstrahlwerte des Reflexstoffs 3B (weiß)

In Bild 8 ist erkennbar, dass die Mehrzahl aller Messwerte, auch der älteren Reflexfolien, über der geforderten 100% DIN-Grenze liegen. Eine Ausnahme bilden einige wenige Messwerte aus dem Jahr 2003. Insgesamt weisen Reflexstoffe vom Typ 3B damit auch längerfristig eine sehr gute lichttechnische Qualität auf.

Anhand der in Bild 9 aufgetragenen Mittelwerte ist kein funktionaler Zusammenhang zwischen spezifischen Rückstrahlwert und Alter des Verkehrszeichens erkennbar, eine Regressionsanalyse ist demnach nicht durchführbar. Im Gegensatz zu anderen Reflexstofftypen ist augenscheinlich jedoch

keine oder allenfalls eine nur sehr geringe Alterung dieses Materials erkennbar. Um fundierte Aussagen über das Alterungsverhalten der Reflexstoffe vom Typ 3B formulieren zu können, sind weitere Messungen und Beobachtungen erforderlich.

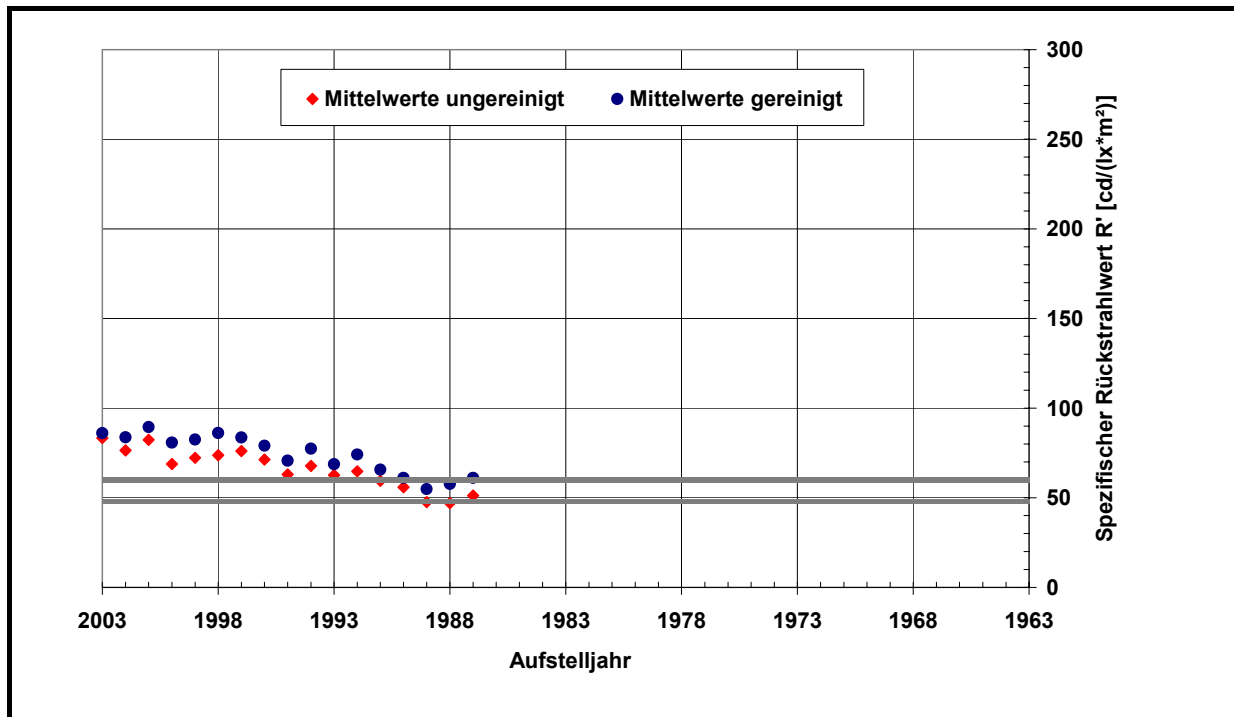


**Bild 9:** Mittelwerte des Reflexstofftyps 3B (weiß)

### 3.6 Weitere Einflussfaktoren

#### Verschmutzung

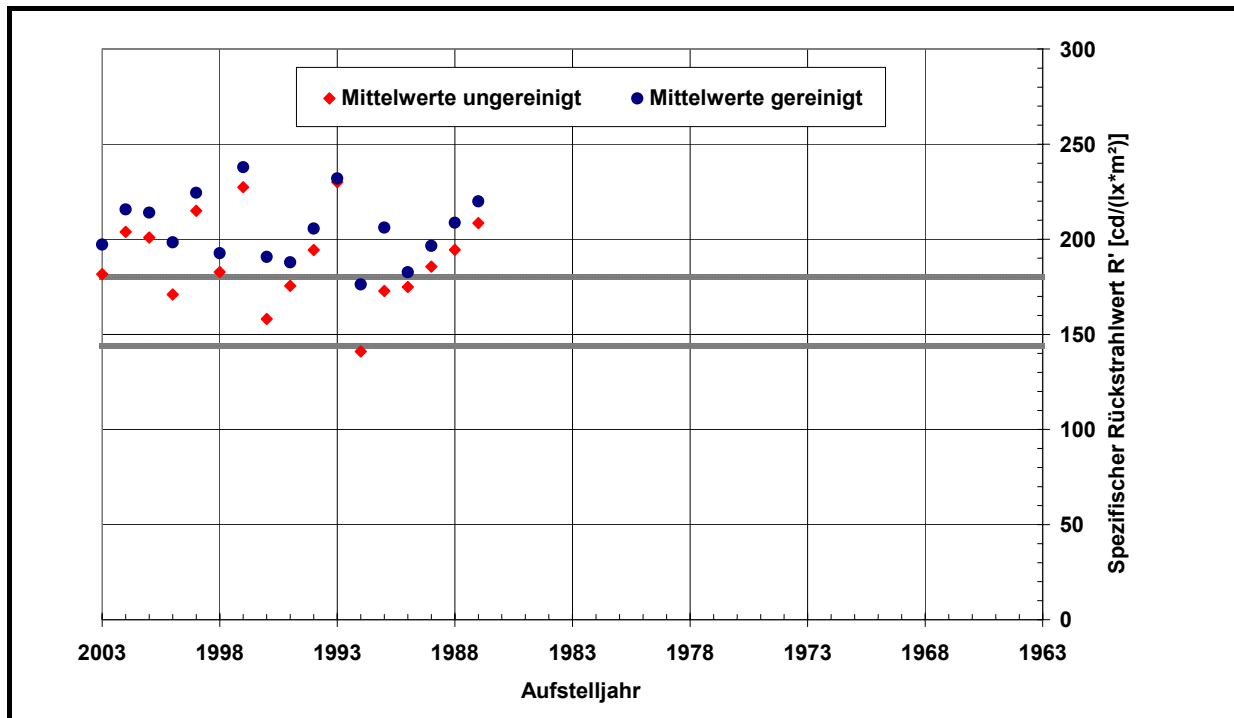
Die Messungen erfolgten jeweils an der selben Stelle, zunächst im ungereinigten, dann im gereinigten Zustand. Anhand des Vergleiches der Messergebnisse kann die Auswirkung der Verschmutzung auf die Reflexionseigenschaften untersucht werden. Generell ist der Verschmutzungsgrad ( $\tau$ ) eines Verkehrszeichens vom Ort der Aufstellung und den vorherrschenden Umweltbedingungen abhängig. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde der mittlere Verschmutzungsgrad in Abhängigkeit vom Reflexstofftyp ermittelt.



**Bild 10:** Einfluss der Verschmutzung bei Reflexstoffen vom Typ 1 (weiß)

In Bild 10 sind die Mittelwerte der beiden Zustände (gereinigt, ungereinigt) für Reflexstoffe vom Typ 1 dargestellt. Es ist erkennbar, dass infolge Verschmutzung eine Verringerung des spezifischen Rückstrahlwertes auftritt. Im Mittel liegt der spezifische Rückstrahlwert für ungereinigte Verkehrszeichen um ca.  $8 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$  niedriger als für den gereinigten Zustand. Nach Gleichung 2 ergibt sich ein mittlerer Verschmutzungsgrad der Reflexstoffe vom Typ 1 von  $\tau = 11,0 \%$ .

Vergleichend zu Bild 10 sind im folgenden Bild 11 die Mittelwerte der beiden Zustände (gereinigt, ungereinigt) für Reflexstoffe vom Typ 2 dargestellt. Auch für diesen Reflexstoff ist erkennbar, dass infolge Verschmutzung der spezifische Rückstrahlwert abnimmt. Zwischen ungereinigten und gereinigten Verkehrszeichen ergibt sich eine mittlere Differenz von  $16 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ . Der mittlere Verschmutzungsgrad der Reflexstoffe vom Typ 2 errechnet sich zu  $\tau = 8,0 \%$ .



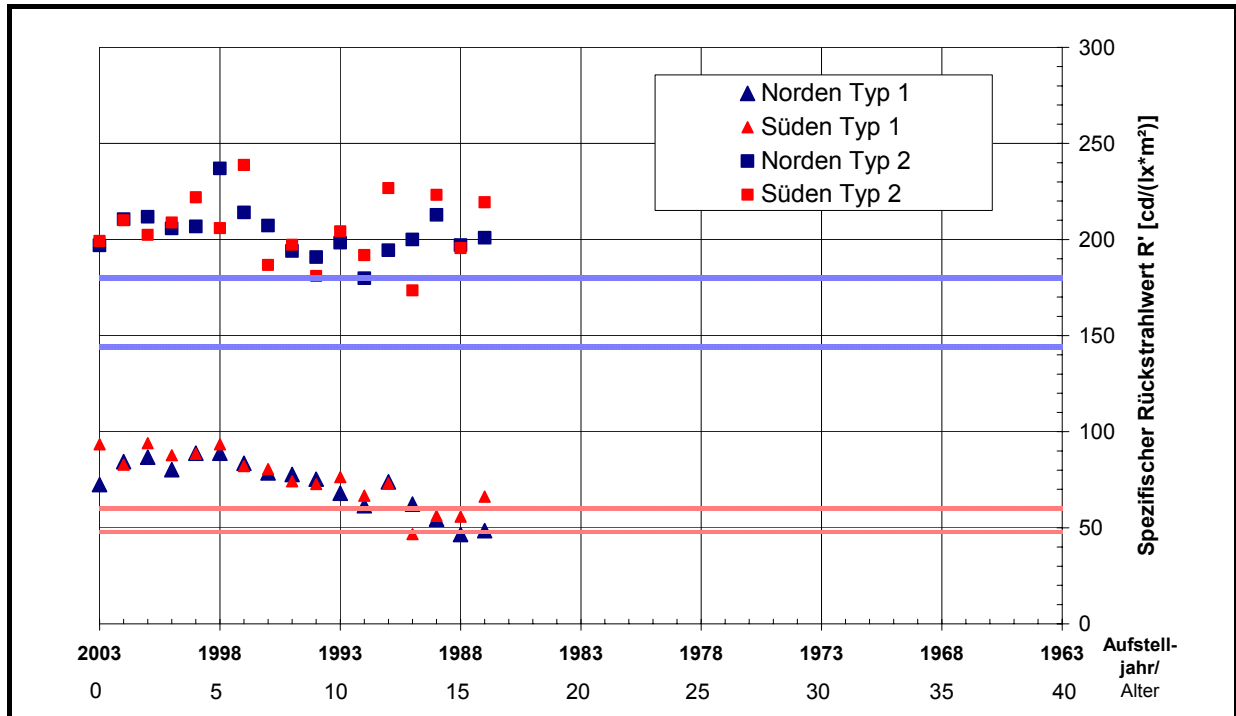
**Bild 11:** Einfluss der Verschmutzung bei Reflexstoffen vom Typ 2 (weiß)

Die unterschiedliche Verschmutzungsintensität lässt sich durch die Oberflächenstruktur dieser beiden Reflexstofftypen erklären. Die Oberfläche der Reflexfolien vom Typ 1 haben eine grobe Struktur, weswegen die Schmutzteilchen besser haften bleiben können. Die Oberfläche der Reflexstoffe vom Typ 2 ist „plexiglasähnlich“, wodurch sich der Effekt der Selbstreinigung erhöht.

Ausrichtung der Schildoberfläche

Neben der Messung des spezifischen Rückstrahlwertes wurde auch die Himmelsrichtung aufgenommen, in welche die Schildoberfläche ausgerichtet ist. Es wurde untersucht, ob das Alterungsverhalten auch infolge UV-Strahlung beeinträchtigt wird.

In Bild 12 sind die Mittelwerte für die Nord- und die Südausrichtung der Reflexstoffe vom Typ 1 und Typ 2 dargestellt. Es ist kein direkter Einfluss dieser Größe auf die lichttechnischen Eigenschaften erkennbar.



**Bild 12:** Mittelwerte der Nord- bzw. Südausrichtung für Reflexstoffe vom Typ 1 und Typ 2 (weiß)

## 4 Zusammenfassung

In den Jahren 2003 und 2004 wurden vom Fachgebiet Straßenwesen mit Versuchsanstalt der Technischen Universität Darmstadt insgesamt drei Messreihen zur Erhebung der lichttechnischen Eigenschaften von Verkehrszeichen durchgeführt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden die Messwerte nur an weißen (unbunten) Reflexstoffen erhoben. Bei den Auswertungen zur Bestimmung des Alterungsverhaltens wurden die spezifischen Rückstrahlwerte am gereinigten Verkehrszeichen berücksichtigt. Zur Ermittlung des Einflusses der Verschmutzung wurden die Messwerte des gereinigten und ungereinigten Zustands vergleichend gegenüber gestellt.

Das Alterungsverhalten von Reflexfolien wurde für alle vier Folientypen (1, 2, 3A und 3B) getrennt ermittelt und - soweit vorhanden - mit bereits bekannten Aussagen (FRANK/EWALD, 1995) verglichen. Für Reflexstoffe vom Typ 1 ist eine Lebensdauer von ca. 15 Jahren aus bereits vorangegangenen Untersuchungen (FRANK/EWALD, 1995) bekannt. Anhand der neuen Untersuchungen und der daraus resultierenden Ergebnisse konnte das bestätigt werden.

Auch für Reflexstoffe vom Typ 2 liegen Erkenntnisse aus dem Jahr 1995 vor. Es ergibt sich eine durchschnittliche Lebensdauererwartung von ca. 25 Jahren. Beim Vergleich der Ergebnisse wird deutlich, dass sich die lichttechnischen Eigenschaften der fabrikneuen Reflexstoffe im Laufe der Zeit verändert haben. Der Reflexstoff vom Typ 2 ist alterungsbeständiger als im Jahre 1995 angenommen. Außerdem liegen die spezifischen Rückstrahlwerte für neue Reflexstoffe näher am geforderten Mindestwert als im Jahre 1995.

Reflexstoffe vom Typ 3A werden nach den HWBV (2001) in Deutschland nicht mehr eingesetzt. Da alle Messwerte aus einem Jahrgang stammen, konnte das Alterungsverhalten nicht ermittelt werden. Weitere Untersuchungen an diesem Reflexstoffe sind nicht angedacht.

Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Ermittlung des Alterungsverhaltens der Reflexstoffe vom Typ 3B. Insgesamt kann diesem Material eine sehr gute

lichttechnische Qualität zugesprochen werden. Die Ermittlung der durchschnittlichen Lebensdauererwartung ist aufgrund fehlender Regression nicht möglich, da augenscheinlich zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Alterung des Materials erkennbar ist. Gegebenenfalls sind weitere Messungen und Beobachtungen über einen längeren Zeitraum erforderlich.

Der Einfluss der Verschmutzung auf die Reflexionseigenschaften wird durch den Vergleich der Zustände „ungereinigt“ und „gereinigt“ deutlich. Für Reflexstoffe vom Typ 1 ergibt sich ein mittlerer Verschmutzungsgrad von  $\tau = 11,0 \%$ , für Reflexstoffe vom Typ 2 ergibt sich  $\tau = 8,0 \%$ . Die Differenz ist durch die unterschiedlichen Oberflächenstrukturen erklärbar. Der Einfluss der Ausrichtung der Schildoberfläche auf das Alterungsverhalten von Reflexfolien konnte nicht nachgewiesen werden.

Wir möchten uns an dieser Stelle recht herzlich bei Herrn Dr.-Ing. Helmut Frank für seine Unterstützung und bei der Firma Mechatronic für die Bereitstellung des Retroreflexionsmessgerätes bedanken. Außerdem bedanken wir uns bei der Stadt Köln und der Stadt Krefeld für die begleitende Absperrung der Messstellen und die Hebebühne.

## 5 Literaturverzeichnis

### **Bach B.**

Erfassung und Überprüfung der visuellen Qualität von Verkehrszeichen  
Vertiefearbeit am Fachgebiet Straßenwesen mit Versuchsanstalt der Technischen  
Universität Darmstadt *-unveröffentlicht-*  
Darmstadt, 2004

### **DIN 67520, Teil 1**

Lichttechnische Bewertung, Messung und Kennzeichnung von Rückstrahlern und  
Reflexstoffen  
Beuth Verlag GmbH  
Berlin, 1994

### **DIN 67520, Teil 2**

Lichttechnische Mindestanforderungen an Reflexstoffe für Verkehrszeichen  
Beuth Verlag GmbH  
Berlin, 1994

### **DIN 67520, Teil 4**

Lichttechnische Mindestanforderungen an Reflexstoffe mikrop Prismatischer  
Materialien  
Beuth Verlag GmbH  
Berlin, 1999

### **Frank, H./Ewald, J.**

Bestimmung des Mindestrückstrahlwertes im Gebrauchszustand für  
retroreflektierende Materialien zur Verkehrssicherung  
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 713  
Bonn, 1995

### **HAV**

Hinweise für das Anbringen von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen  
Verkehrstechnischer Kommentar mit Fortschreibung der HAV-Q, 2. Auflage  
Kirschbaum Verlag GmbH  
Saarbrücken, 12. Auflage, 2003

**HWBV**

Hinweise für die Wahl der Bauart von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen  
hinsichtlich ihrer lichttechnischen Eigenschaften

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit

Köln, Ausgabe 2001

**Schmidt-Clausen, H.J.**

Minimal notwendige und optimale Leuchtdichten von Verkehrszeichen

Gutachten erstellt von Prof. Dr.-Ing. H.J. Schmidt-Clausen am Fachgebiet für

Lichttechnik der Technischen Hochschule Darmstadt

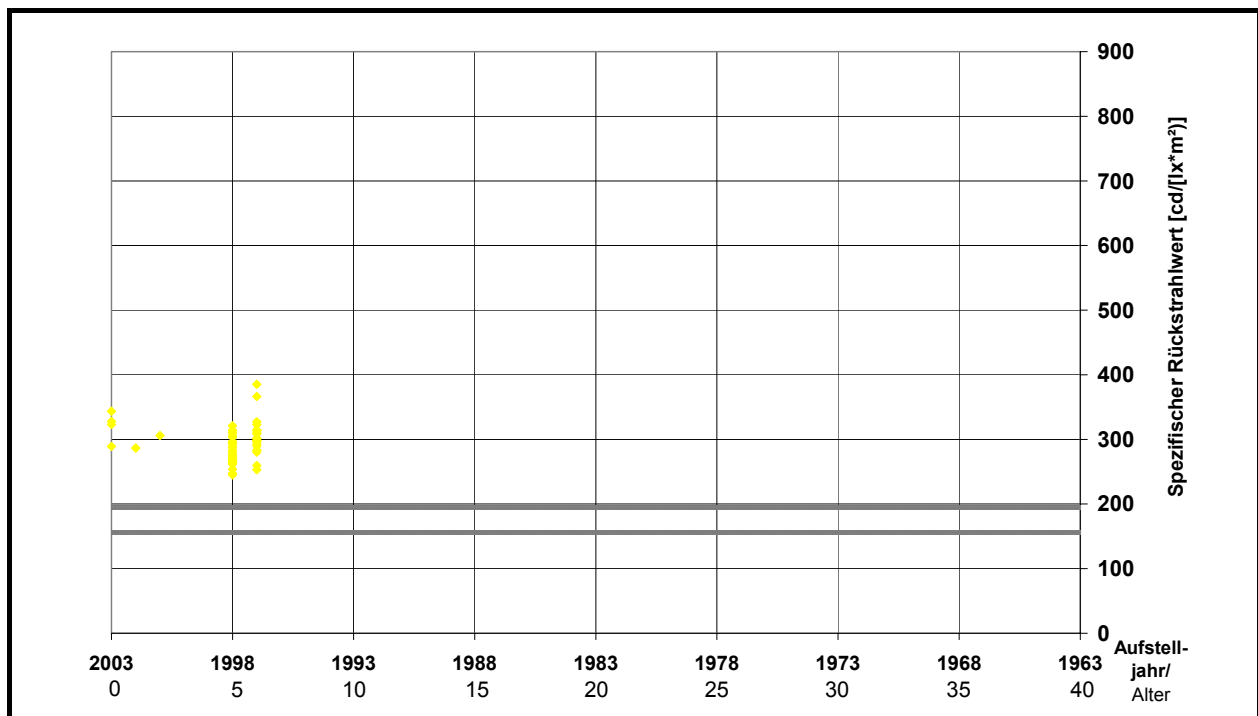
Darmstadt, 1983

## 6 Anhang

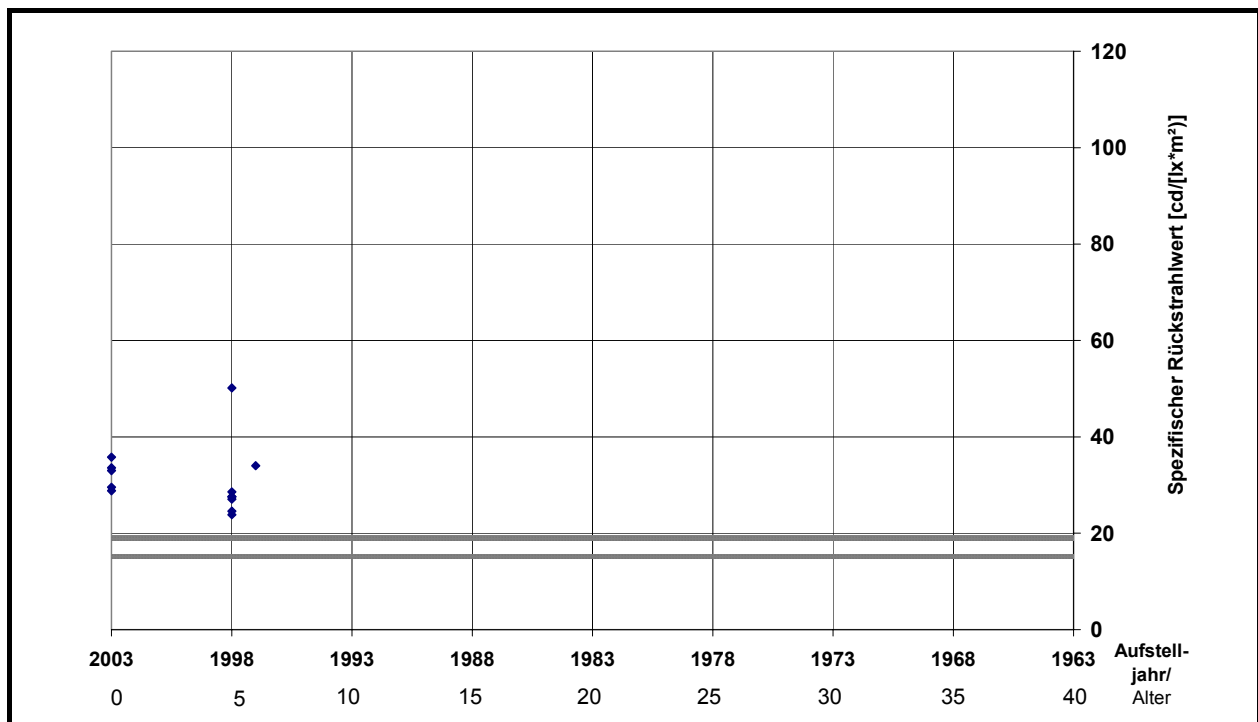
In den folgenden drei Bildern sind die gemessenen spezifischen Rückstrahlwerte der Reflexstoffe vom Typ 3B in den Farben gelb, blau und rot sowie der jeweils geforderte Mindestrückstrahlwert nach DIN 67520 Teil 4 (1999) und dessen 80%-Wert dargestellt.

Sowohl in Bild 13 (gelb) als auch in Bild 14 (blau) ist erkennbar, dass die Messwerte, auch der älteren Reflexstoffe, über der jeweils geforderten 100% DIN-Grenze liegen. Somit weisen auch gelbe und blaue Reflexstoffe vom Typ 3B längerfristig sehr gute lichttechnische Eigenschaften auf. Im Gegensatz dazu ist bei roten Reflexstoffen vom Typ 3B (Bild 15) eine Abnahme des spezifischen Rückstrahlwertes erkennbar. Bereits nach ca. sechs Jahren Freibewitterungsdauer sinkt der Mittelwert für diesen farbigen Reflexstoff unter die geforderte 100% DIN-Grenze.

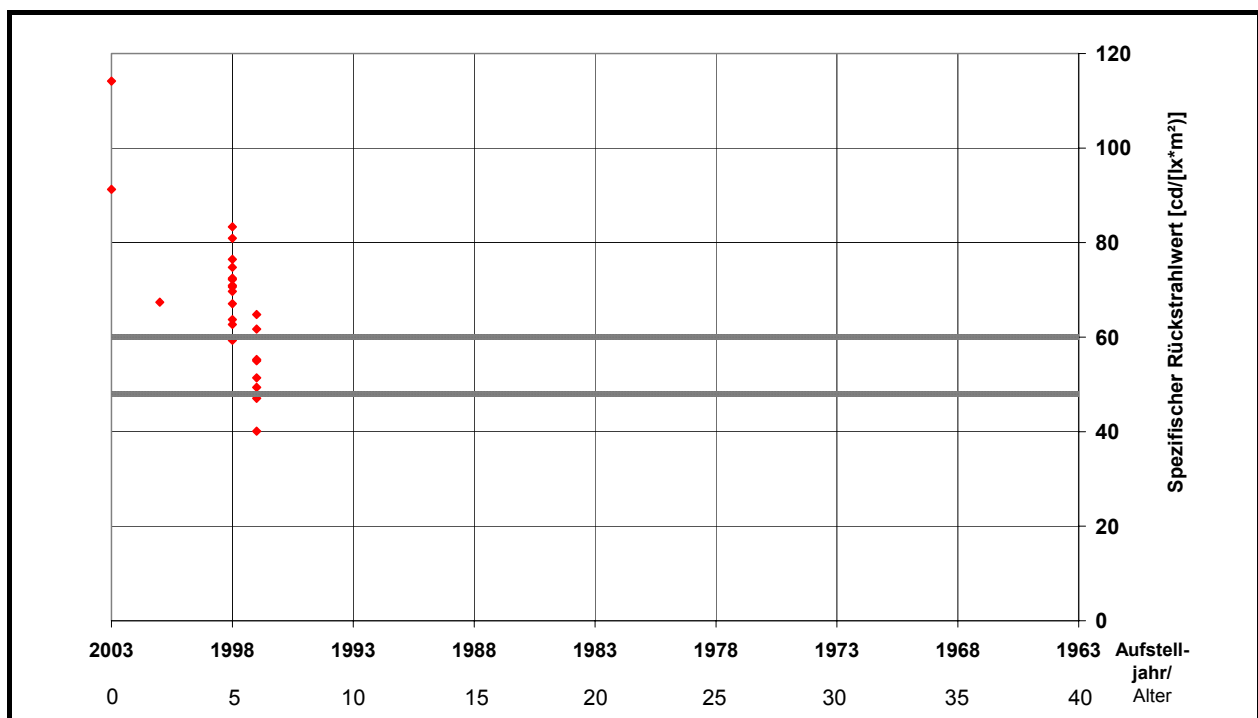
Um fundierte Aussagen über das Alterungsverhalten von farbigen Reflexstoffen formulieren zu können, bedarf es weiteren Messungen.



**Bild 13:** Spezifische Rückstrahlwerte des Reflexstoffs 3B (gelb)



**Bild 14:** Spezifische Rückstrahlwerte des Reflexstoffs 3B (blau)



**Bild 15:** Spezifische Rückstrahlwerte des Reflexstoffs 3B (rot)