



***UNTERSUCHUNGEN ZUR ABHÄNGIGKEIT
DER WAHRNEHMBARKEIT VON FLUORESZIERENDER
ORANGE/ROTER WARNKLEIDUNG: KONSEQUENZEN
FÜR DIE SACHGERECHTE WIEDERAUFBEREITUNG***

FORSCHUNGSINSTITUT HOHENSTEIN
Schloss Hohenstein · D-74357 Bönningheim



Mai 2002

**Untersuchungen zur Abhängigkeit der Wahrnehmbarkeit
und Erkennbarkeit von fluoreszierender
orange/roter Warnkleidung:
Konsequenzen für die sachgerechte Wiederaufbereitung**

**Zusammenfassung des
Untersuchungsberichtes**

„Untersuchungen zur Abhängigkeit der Wahrnehmbarkeit
und Erkennbarkeit von Warnkleidung
vom Leuchtdichtefaktor und der gesehenen Fläche“

von Dr. Helmut Frank, Mechatronic GmbH, Darmstadt
Im Auftrag des Forschungsinstitutes Hohenstein

**Erstellt von der ad-hoc-Gruppe des
„Arbeitskreises „Wiederaufbereitung von Schutzkleidung“**

- Jürgen Hoffmann, Ahrens Textilservice GmbH, D-25336 Elmshorn
- Petra Klein, Forschungsinstitut Hohenstein, D-74357 Bönningheim
- Dr. Maximilian Swerev, Forschungsinstitut Hohenstein, D-74357 Bönningheim
- Wolfgang Quednau, European Textile Services Association, B-1000 Brussels

Vorwort

Als Folge des Inkrafttretens des Gerätesicherheitsgesetzes – und dies wiederum als Konsequenz der europäischen Richtlinie Nr. 89/686/EWG, Nr. L399 vom 21.12.1989 über Persönliche Schutzausrüstung (PSA-Richtlinie) – bekommt die Qualitätssicherung für das Wiederaufbereiten von PSA einen neuen Stellenwert.

Die Gütegemeinschaft sachgemäße Wäschepflege e.V. regte im Rahmen der von ihr initiierten Gemeinschaftsforschung unterschiedliche Arbeiten dazu an. Als Ergebnis dieser Initiative konstituierte sich 1996 der Arbeitskreis "Wiederaufbereitung von Schutzkleidung". Dieser Arbeitskreis war in der Lage, eine beispielhafte Kooperation europäischer Unternehmen herbeizuführen.

In der EN 471 "Warnkleidung" und in der PSA-Richtlinie sind nur Anforderungen an das Neumaterial von Warnkleidung im Sinne des erstmaligen Inverkehrbringens festgelegt. Für den Anwender von Warnkleidung hingegen ist es wichtig zu wissen, welche Mindestanforderungen an wiederaufbereitete Warnkleidung gestellt werden müssen. Hierzu war es notwendig, reproduzierbare wissenschaftlich abgesicherte Versuche unter realen Bedingungen durchzuführen, sowie die Wahrnehmbarkeit und Erkennbarkeit von Warnkleidung mit verschiedenen Materialeigenschaften bei genau definierten Randbedingungen zu bewerten. Die vorliegende Untersuchung soll Aufschluss darüber geben, welche farbmetrischen Parameter die Wahrnehmung von wiederaufbereiteter, fluoreszierend *orange/roter* Warnkleidung nach EN 471 im komplexen Verkehrsumfeld unter Tageslichtbedingungen bestimmen. Darüber hinaus sollten für diese Parameter kritische Bereiche der Beobachtungsentfernung und der sichtbaren orange/roten Fläche angegeben werden.

Diese Arbeiten wurden von der Firma Mechatronic GmbH, Darmstadt, unter der fachlichen Leitung von Herrn Dr. Helmut Frank durchgeführt. Das Projekt wurde vom Forschungsinstitut Hohenstein, Frau Petra Klein, koordiniert.

Folgende Firmen haben die umfangreichen Untersuchungen finanziert:

- 3 M Laboratories, D-41453 Neuss
- ALSCO Berufskleidungs-Service GmbH, D-51086 Köln
- Bardusch GmbH & Co Textil-Mietdienste, D-76275 Ettlingen
- BASF Aktiengesellschaft, D-67056 Ludwigshafen
- Boco GmbH & Co, D-22113 Hamburg
- DBL-Zentrale, Deutsche Berufskleider u. Textil-Leasing GmbH, D-47829 Krefeld
- E. Stein AG Berufskleiderfabrik, D-22549 Hamburg
- European Textile Services Association, B-1000 Brussels
- Gottfried Schmidt Berufsbekleidung, D-63801 Kleinostheim
- Gütegemeinschaft sachgemäße Wäschepflege e.V., D-74357 Bönnigheim
- Henkel-Ecolab GmbH & Co OHG, D-40554 Düsseldorf
- High Visibility Clothing Cleaning, GB-Hertfordshire SG5 1LA
- Hubert Schmitz GmbH + Co. KG, D-52525 Heinsberg
- Kansas Workwear GmbH, D-22844 Norderstedt
- Klopman International SpA, I-03100 Frosinone
- Larosé Hygiene-Service GmbH, D-51149 Köln
- Lauffenmühle, D-79541 Lörrach
- Marquart + Schulz work wear GmbH, D-30039 Hannover
- MEWA Textil-Service AG & Co Management OHG, D-65189 Wiesbaden
- Profitex GmbH, D-78647 Trossingen
- Reflectil Norge A/S, N-0621 Oslo
- Rofa-Bekleidungswerk GmbH & Co. KG, D-48457 Schüttorf
- Simeonsbetriebe GmbH Krankenhaus-Zentralwäscherei, D-32427 Minden
- Wäscherei Heim, D-13404 Berlin
- W. L. Gore Associates GmbH, D-85640 Putzbrunn

Projektkoordination

- Forschungsinstitut Hohenstein, D-74357 Bönnigheim

Zusammenfassung des Untersuchungsberichtes

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass die in der EN 471 definierten Anforderungen an Leuchtdichtefaktor und Farbort für fluoreszierend orange/rote Warnkleidung durch die Laborversuche mit Testpersonen und entsprechende Feldversuche bestätigt werden.

Der Mindestschutz durch wiederaufbereitete Warnkleidung ist nur dann gewährleistet, wenn unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Studie [1] mit qualitätsgesicherten validierten Verfahren wiederaufbereitet wird. Zur Validierung dieser qualitätsgesicherten Verfahren wird auf die ISO 15797 „Industrial washing and finishing procedures for testing of workwear“ [2] und AiF-Nr. 11991 N/1 „Vorhersagemodell zur Sicherstellung der Schutzfunktion bei der Wiederaufarbeitung von persönlicher Schutzausrüstung“ [3] verwiesen.

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse der Untersuchung wurden in einem mehrteiligen Laborversuch mit Testpersonen ermittelt und in einem Feldversuch validiert. Die Laborversuche setzten sich zusammen aus psychophysischen Leuchtdichtebewertungen von Testzeichen, dargeboten unter verschiedensten Umfeld- und Kontrastbedingungen und Experimenten, die auf der unterschiedlichen Erkennbarkeitszeit komplexer Straßenraumszenarien (Kontrast- und Beleuchtungssituationen) basierten. Der Feldversuch bestand aus einer psychophysischen Bewertung der Erkennbarkeit von Personen in Warnkleidung im realen Verkehrsraum.

Als lichttechnische Umfelder für die zu beurteilenden Sehobjekte waren drei unterschiedlich komplexe Hintergründe vorgegeben: „Schneelandschaft“ (homogener weißer Hintergrund), „Stadtgrau“ (modifizierte Grauf Flächen) und „Herbstlaub“ (komplexes vielfarbiges Umfeld). Die Testzeichen wurden in zwei unterschiedlichen Farborten orangerot, stellvertretend für den Neu- und Gebrauchszustand von Warnkleidung, dargeboten.

Die Testzeichen der Laborversuche waren Sinnbilder der StVO („Mann“ und „Auto“) und Fragmente (Teile) des Sinnbildes „Mann“ (z.B. Oberkörper, Beine usw.), siehe Abbildung 1 und 2.



Abbildung 1: Testzeichen der Basisuntersuchung: StVO Sinnbilder „Mann“ und „Auto“



Abbildung 2: Testzeichen der Untersuchungen zum Einfluss der Fläche bzw. der Entfernung: Fragmente des StVO Sinnbildes „Mann“

Die jeweiligen Licht- und Kontrastverhältnisse der Laborversuche wurden so gewählt, dass die dargestellten Szenarien den realen Lichtverhältnissen der Tageslichtphasen im Straßenraum entsprachen. Im Feldversuch wurden reale Personen in Warnkleidung eingesetzt. Insgesamt nahmen 12 normalsichtige Testpersonen beiderlei Geschlechts im Alter von 24 bis 47 Jahren an den Experimenten teil.

Die Laborversuche waren in eine Basisuntersuchung mit *konstanter* Beobachtungsentfernung und dargebotener Testzeichenfläche und eine erweiterte Untersuchung mit *variablen* Beobachtungsentfernungen und Testzeichenflächen aufgeteilt. Letztere fand mit reduzierten Versuchsparametern statt.

Die Basisuntersuchung zeigte zunächst, dass der Farbort nach EN 471 der dargebotenen orangefarbenen Testzeichen keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Bewertungsversuche und Erkennbarkeitszeitversuche ausübte. Die Form der Testzeichen (Mann und Auto nach StVO) übte ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse aus, da beide Sinnbilder aufgrund ihres Bekanntheitsgrades (StVO) allen Testpersonen geläufig waren. Es waren also tatsächlich unter den Versuchsbedingungen (Farbe, Entfernung etc.) nur die unterschiedlichen Leuchtdichtefaktoren und deren Umfeld, die die Bewertungsergebnisse und Erkennbarkeitszeiten bestimmten.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft für das Umfeld „Herbstlaub“ den Zusammenhang zwischen Leuchtdichtebewertung BL und dem Leuchtdichtefaktor β für die verschiedenen Anleuchtungs- und Kontrastszenarien. Im Falle eines 1 m^2 großen Sehobjektes und einer Beobachtungsentfernung von 70 m sollte ein Mindestleuchtdichtefaktor von $\beta = 0,35$ nicht unterschritten werden, wenn man ein komplexes lichttechnisches Umfeld zugrunde legt und niedrige Allgemeinhelligkeit voraussetzt. Mit diesem Leuchtdichtefaktor erreicht man bei sehr günstigen Umfeldbedingungen („Schneelandschaft“ oder „Stadt [dunkel]“) gerade optimale Erkennbarkeiten.

Bewertungsstufe BL	Bewertung
1	Zu hell Zeichen nicht mehr erkennbar
2	
3	hell Zeichen gerade noch erkennbar
4	
5	optimal Zeichen optimal erkennbar
6	
7	dunkel Zeichen gerade erkennbar
8	
9	zu dunkel Zeichen nicht erkennbar

Tabelle 1: Bewertungsstufen BL für die Leuchtdichtebewertung

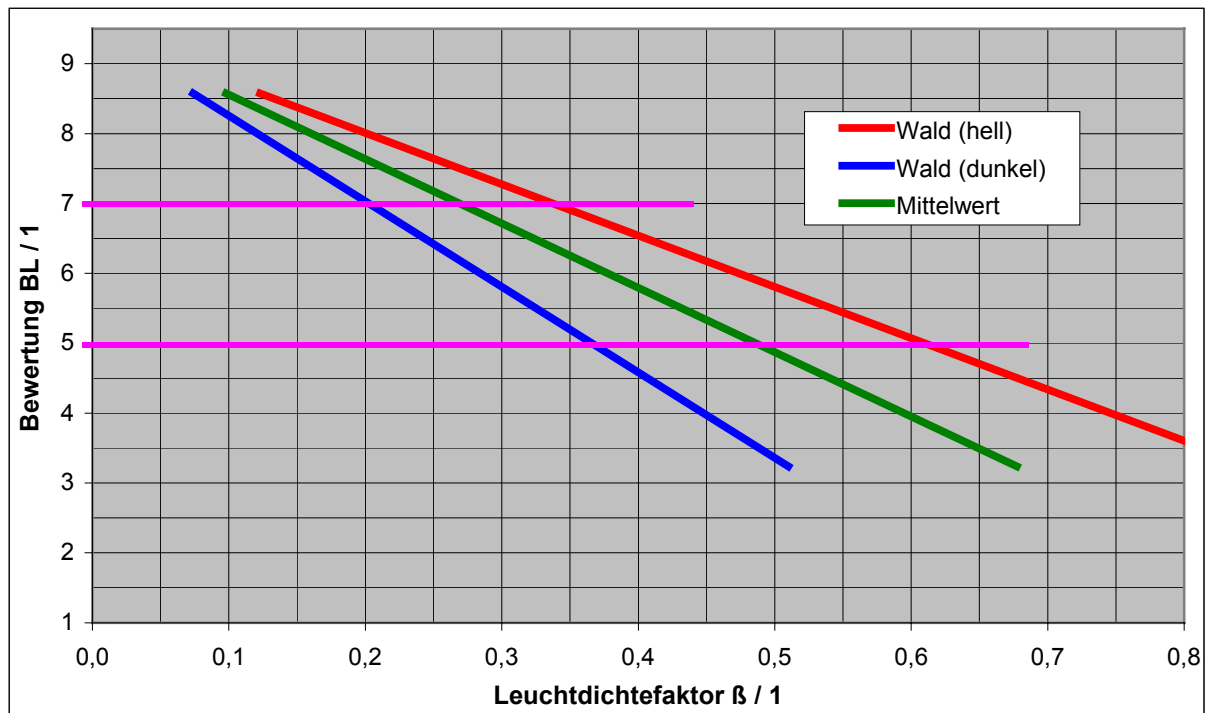


Abbildung 3: Bewertung von Leuchtdichtefaktoren in der Basisuntersuchung (beide Sinnbilder berücksichtigt) für das Umfeld „Herbstlaub“ für ein 1 m^2 großes Sehobjekt in 70 m Entfernung

Im zweiten Untersuchungsabschnitt wurden die Entfernungen bzw. die gesehenen Flächen variiert. *Abbildung 4* zeigt, dass ein Sehobjekt von 1 m^2 Größe, welches bei 70 m Beobachtungsentfernung einen Mindestleuchtdichtefaktor von $\beta_{\min} = 0,35$ benötigt, bei wachsender Beobachtungsentfernung für eine Erkennbarkeit wesentlich höhere Mindestleuchtdichtefaktoren erfordert (z.B. $\beta_{\min} = 0,46$ für $d = 250 \text{ m}$).

Im Zusammenhang mit der Erkennbarkeitszeit ergibt sich jedoch, dass bei dieser Fläche bereits Beobachtungsentfernungen von $d \geq 140 \text{ m}$ kritisch sein können (siehe *Abbildung 5*).

Im Falle einer Beobachtungsentfernung von 70 m sollte die dargebotene Fläche nicht kleiner sein als $\frac{1}{3} \text{ m}^2$, um eine optimale Erkennbarkeit zu gewährleisten (siehe *Abbildung 6*).

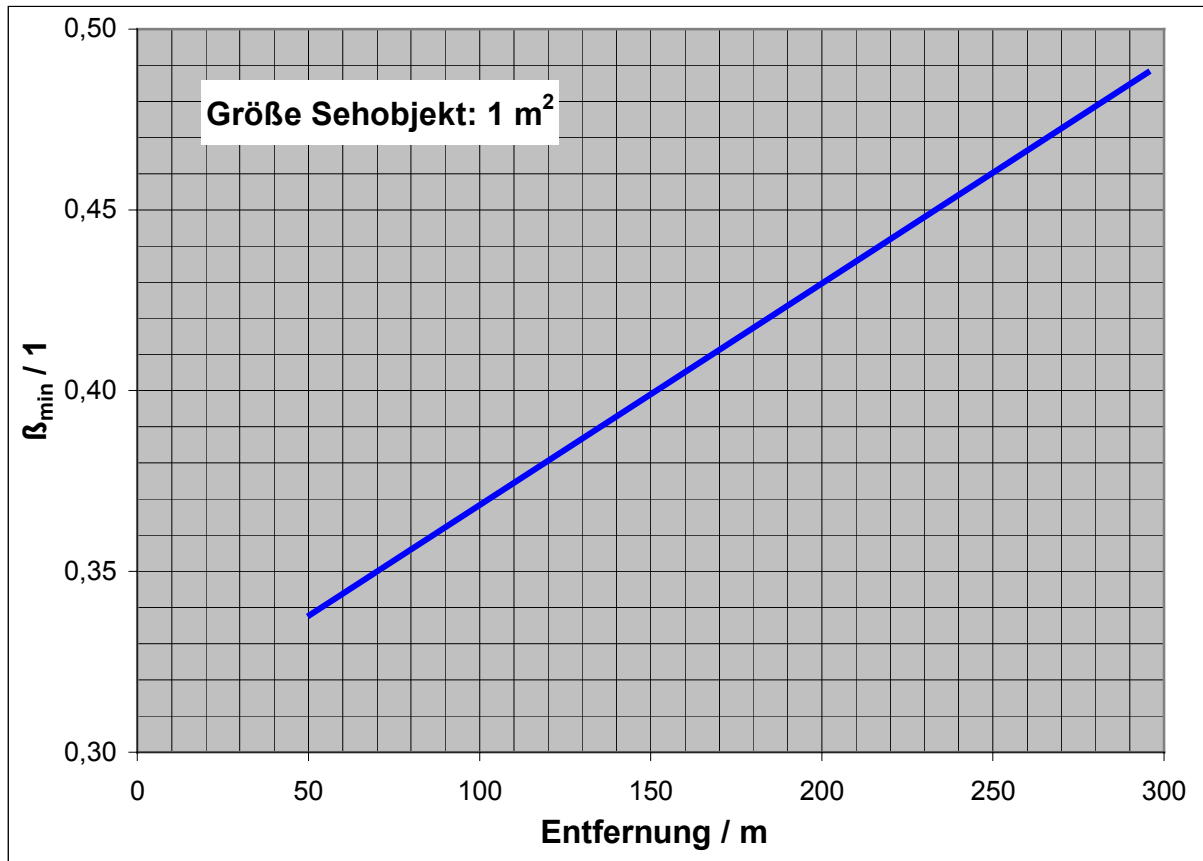


Abbildung 4: Minimum Leuchtdichtefaktor als Funktion der Beobachtungsentfernung
Umfeld: „Herbstlaub“, Szenario: „Wald (hell)“, Standardkontrast

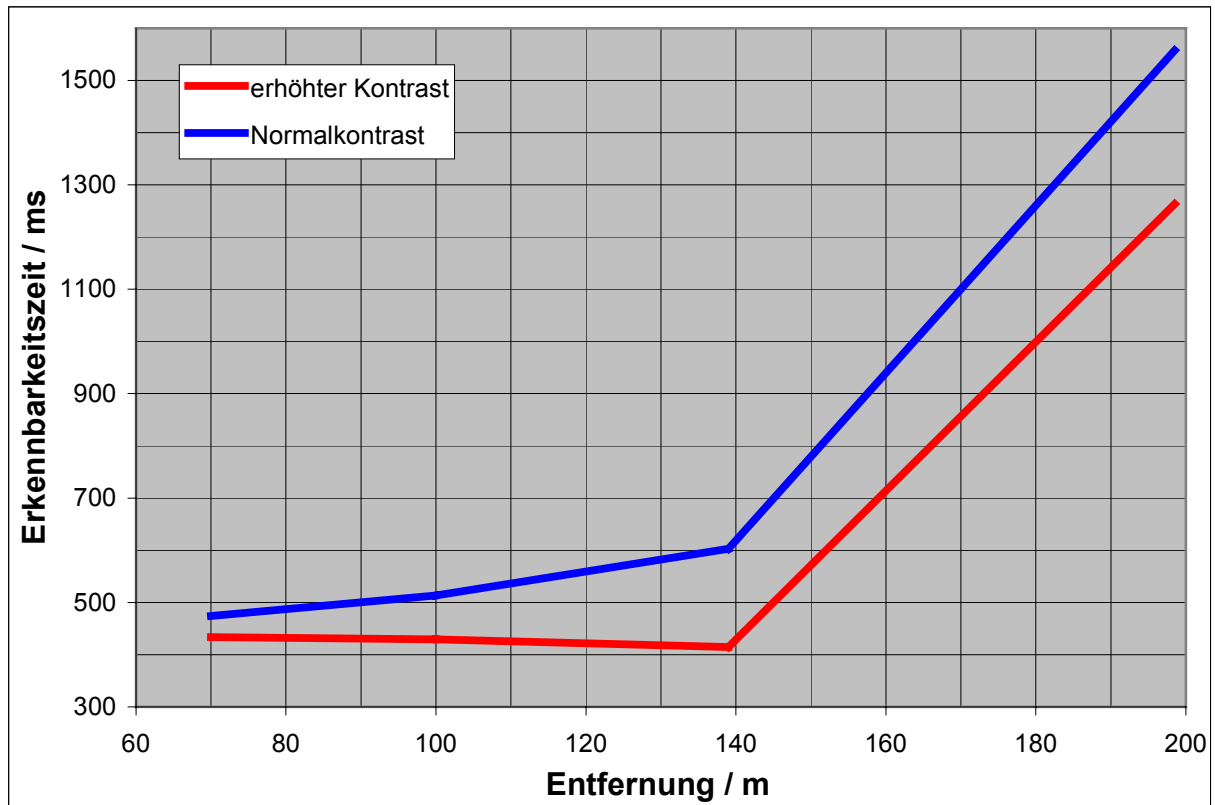


Abbildung 5: Mittlere Erkennbarkeitszeiten als Funktion der Beobachtungsentfernung für den „Entfernungsversuch“ (Variation der Beobachtungsentfernung des vollständigen Sinnbildes ‚Mann‘). Dargestellt sind die Verläufe unter beiden Hintergrundleuchtdichten (Kontrasten)

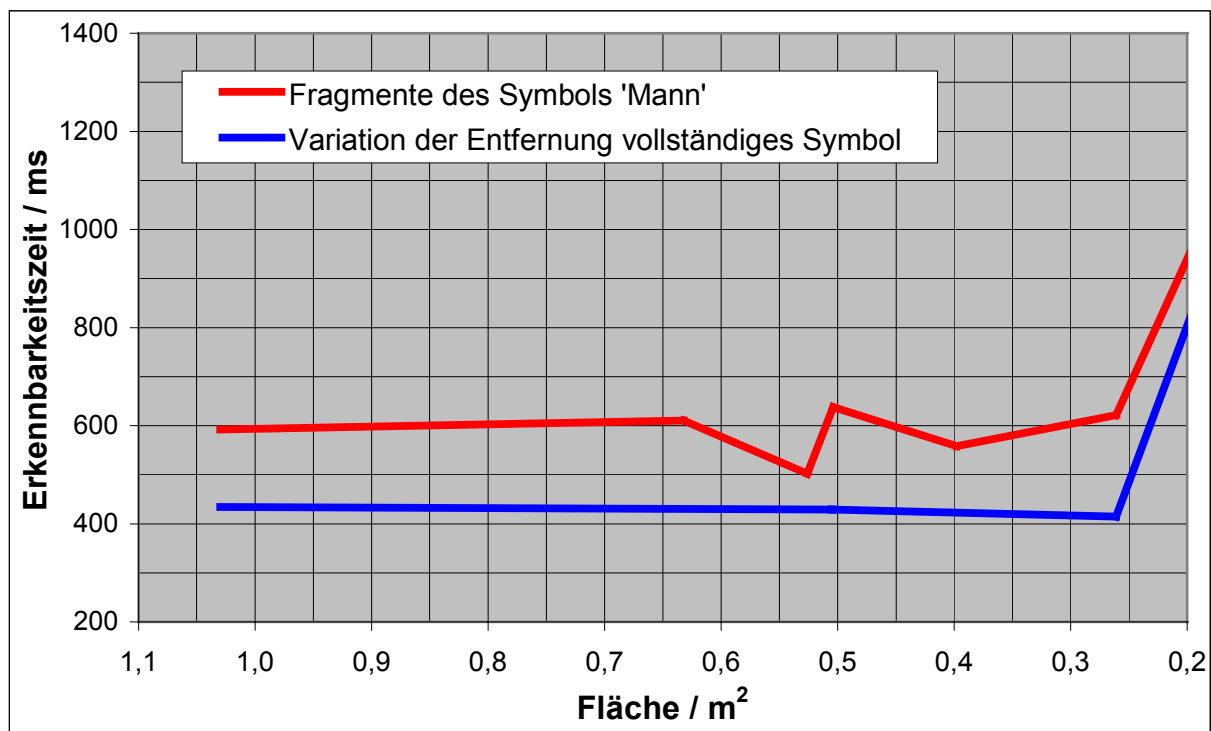


Abbildung 6: Mittlere Erkennbarkeitszeiten des Entfernungsversuches und des Flächenversuches (Fragmente vom Sinnbild „Mann“),
Erkennbarkeitszeit als Funktion der Fläche (alle Leuchtdichtefaktoren berücksichtigt)

Eine Erhöhung des Kontrastes zwischen Sehobjekt (Warnkleidung) und Hintergrund wirkt sich in allen Fällen günstig auf die Erkennbarkeit aus. So können z.B. Leuchtdichtefaktoren, die im komplexen Umfeld und niedriger Umfeldleuchtdichte unzureichend sind, in einem günstigeren Szenario mit höheren Kontrasten zwischen Sehobjekt und Umfeld (z.B. Stadt) durchaus zufriedenstellende Erkennbarkeiten liefern.

Die Erkennbarkeit eines Sehobjektes ist sehr stark von dessen Kontur, Design und Fragmentierung abhängig. In dieser Untersuchung wurden aber nur vollflächige orange/rote Testzeichen dargeboten. Welchen Einfluss das Erscheinungsbild der Warnkleidung (Design) auf dessen Erkennbarkeit hat und welche Teilflächen in anderen Farben ausgeführt sein dürfen, ist nicht bekannt.

Die vorliegende Untersuchung ist von einigen vereinfachenden Annahmen (u.a. aufgrund der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse) ausgegangen, die so zum Teil im Verkehrsraum nicht auftreten. Insbesondere entsprachen die Testzeichen nicht den komplexen Erscheinungen von Personen in Warnkleidung, wie sie sich dem Verkehrsteilnehmer im Normalfall darbieten. Außerdem waren die Experimente statisch, d.h. die Testzeichen haben sich nicht bewegt. Die Kontrast- und Beleuchtungsverhältnisse waren ebenfalls statisch. Adaptionsvorgänge, die eine Erkennbarkeit eines Sehobjektes (Person in Warnkleidung) aus physiologischen Gründen erschweren, wurden ebenso ausgeschlossen, wie Störfaktoren (z.B. Blendung und Ablenkung der Testpersonen). Es ist also davon auszugehen, dass die tatsächlich notwendigen Leuchtdichtefaktoren nach der Wiederaufbereitung die durch die Norm vorgegebenen Werte nur minimal unterschreiten dürfen.

Konsequenzen aus der Untersuchung für die Wiederaufbereitung

Der Mindestschutz durch wiederaufbereitete Warnkleidung ist nur dann gewährleistet, wenn unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Studie [1] mit qualitätsgesicherten validierten Verfahren wiederaufbereitet wird. Zur Validierung dieser qualitätsgesicherten Verfahren wird auf die ISO 15797 „Industrial washing and finishing procedures for testing of workwear“ [2] und AiF-Nr. 11991 N/1 „Vorhersagemodell zur Sicherstellung der Schutzfunktion bei der Wiederaufarbeitung von persönlicher Schutzausrüstung“ [3] verwiesen.

Für die sachgemäße Wiederaufbereitung ergeben sich daraus folgende Konsequenzen:

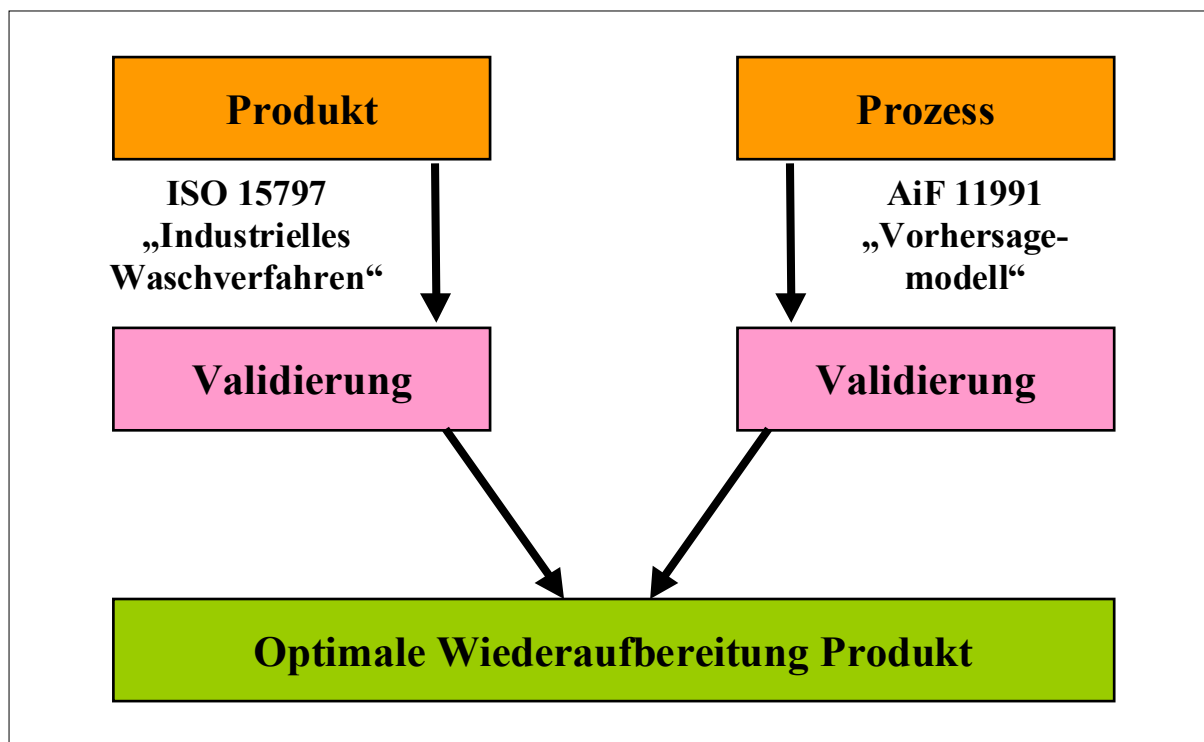


Abbildung 7: Schematische Darstellung der notwendigen Produkt- und Prozessvalidierung als Voraussetzung eines sachgemäßen Wiederaufbereitungsprozesses

Es muss sowohl die konfektionierte Warnkleidung gemäß ISO 15797 auf ihre grundsätzliche Eignung zur sachgemäßen Wiederaufbereitung geprüft werden, als auch der Prozess gemäß dem Vorhersagemodell zur Sicherstellung der Schutzfunktion bei der „Wiederaufarbeitung von persönlicher Schutzausrüstung“ validiert sein. Nur ein sachgemäßer, qualitätsgesicherter Wiederaufbereitungsprozess kann die Wiederherstellung der Schutzfunktion gewährleisten und damit seinen Beitrag zur Sicherheit des Trägers leisten.

Literatur

- [1] DR. HELMUT FRANK, MECHATRONIC GMBH, DARMSTADT:
Untersuchungen zur Abhängigkeit der Wahrnehmbarkeit und Erkennbarkeit von
Warnkleidung vom Leuchtdichtefaktor und der gesehenen Fläche
FA.27501 N 10, September 2001.
- [2] ISO 15797:
Textiles, Industrial washing and finishing procedures for testing of workwear.
- [3] AIF-FORSCHUNGSVORHABEN NR. 11991 N/1:
Vorhersagemodell zur Sicherstellung der Schutzfunktion bei der Wiederaufarbeitung
von persönlicher Schutzausrüstung,
durchgeführt vom Bekleidungsphysiologischen Institut Hohenstein, Bönningheim
Juli 2001.