

Abschlussbericht

Betreff: Länderfinanzierungsprogramm „Wasser, Boden und Abfall“ 2010/2011
Projekt G 1.10, neu US 1.10

**Verifizierung von Referenzflüssigkeiten zur Beurteilung
der Beständigkeit von Beschichtungen und Kunststoffbahnen
gegenüber Biokraftstoffen**

Zeitraum der Bearbeitung: 01.03.2010 bis 30.11.2011

Auftraggeber:
Land Mecklenburg-Vorpommern
Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz
Länderfinanzierungsprogramm „Wasser, Boden und Abfall“
Paulshöher Weg 1
19061 Schwerin

Berichtsnummer: 10 60 79 0103/2 Berichtsdatum: 30.11.2011
Textseiten: 66
Anlagen: 14

Bearbeiter/in: Dr.-Ing. U. Guse, Dr.-Ing. V. Malarics, cand. ing. V. Ruhl

Durchwahl: +49 721 608-43894

E-Mail: guse@mpa-karlsruhe.de

Ausfertigungen: 20fach: Auftraggeber
1fach: MPA Karlsruhe

Notifizierte Stelle 0754 nach BauPG
Anerkannte Stelle BWU01 nach LBO

Postanschrift: Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe
KIT-Campus Süd, 76128 Karlsruhe

Telefon: +49 721 608-46504
Telefax: +49 721 608-47796

Lieferanschrift: Gotthard-Franz-Straße 2 - 76131 Karlsruhe, Gebäude 50.32

Internet: www.mpa-karlsruhe.de

Der Bericht darf nur ungetürtzt vervielfältigt werden. Veröffentlichung und auszugsweise Wiedergabe bedarf der schriftlichen Genehmigung der MPA.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einführung und Ziel des Forschungsvorhabens	3
2 Biokraftstoffe	4
2.1 Überblick	4
2.2 Biodiesel.....	5
2.2.1 Rohstoffe und Herstellung	5
2.2.2 Ausgewählte Eigenschaften.....	8
2.2.3 Alterung.....	12
2.2.4 Fettsäurealkylester für eine optimierte Zusammensetzung von Biodiesel	13
2.3 Bioethanol	15
3 Grundlagen für die Untersuchungen - Auswertung der Literatur	16
3.1 Methoden zur Erarbeitung von Prüfflüssigkeiten	16
3.2 Zusammensetzung von Biokraftstoffen und mögliche Referenzflüssigkeiten	18
3.2.1 Anfragen an Verbände und Forschungseinrichtungen	18
3.2.2 Normen, Richtlinien, Zulassungsgrundsätze	20
3.3 Untersuchungen zur Beständigkeit von Kunststoffen gegenüber Biokraftstoffen.....	22
4 Untersuchungen	24
4.1 Konzeption	24
4.2 Prüfflüssigkeiten und Kraftstoffproben	26
4.2.1 Zusammensetzung und Herkunft.....	26
4.2.2 Charakterisierung, Kennwerte und Analysen	29
4.3 Ausgewählte Beschichtungen und Kunststoffbahnen, Probenherstellung	31
4.4 Einlagerung von Beschichtungen und Kunststoffbahnen	33
4.4.1 Durchführung	33
4.4.2 Ergebnisse	34
4.5 Druckversuche an Beschichtungen	42
4.5.1 Durchführung	42
4.5.2 Ergebnisse	43
5 Folgerungen für die Auswahl von Prüfflüssigkeiten	48
5.1 Vorbemerkungen.....	48
5.2 Biodiesel.....	49
5.3 Gemische aus Dieselkraftstoff und Biodiesel.....	51
5.4 Bioethanol	53
5.5 Gemische aus Ottokraftstoff und Bioethanol	55
5.6 Offene Fragen - Forschungsbedarf.....	58
6 Zusammenfassung.....	59
7 Literatur	62
8 Normen, Richtlinien, Zulassungsgrundsätze	64

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1 Schreiben UFOP
- Anlage 2 Zusammensetzung von Kraftstoffen (10. BlmSchV) entsprechend DIN EN 228, E DIN 51626-1, DIN EN 15376, DIN 51625, E DIN EN 15293, DIN EN 590, DIN EN 14214, DIN EN 14213
- Anlage 3 Zusammensetzung von Kraftstoffen gemäß Richtlinie 2009/30/EG
- Anlage 4 Zusammensetzung von Biokraftstoffen gemäß ASTM D 6751, ASTM D 7467, ASTM D 4806 und ASTM D 5798
- Anlage 5 Zusammensetzung von Biokraftstoffprüfflüssigkeiten gemäß DIN ISO 1817 und SAE J1681
- Anlage 6 Hersteller von Biodiesel und Bioethanol in Deutschland, Tankstellen für Ethanolkraftstoff und Biodiesel im Raum Karlsruhe, Pforzheim, Rastatt
- Anlage 7 Zusammenstellung der Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze des DIBt, der Kraftstoffproben und der potenziellen Zusammensetzungen für Prüfflüssigkeiten, Herstellerzertifikate, Ergebnisse von Analysen GC-MSD, IR, TG
- Anlage 8 EP und PUR, Ergebnisse der Einlagerungen, Masse-, Volumen-, Härteänderung
- Anlage 9 PE-HD und PVC-P, Ergebnisse der Einlagerungen, Masse-, Volumen-, Härteänderung
- Anlage 10 EP und PUR, Ergebnisse der Druckversuche, Masse-, Dicken-, Härteänderung
- Anlage 11 EP, Einzelwerte der Einlagerungen, Masse-, Volumen-, Härteänderung
- Anlage 12 PUR, Einzelwerte der Einlagerungen, Masse-, Volumen-, Härteänderung
- Anlage 13 PE-HD, Einzelwerte der Einlagerungen, Masse-, Volumen-, Härteänderung
- Anlage 14 PVC-P, Einzelwerte der Einlagerungen, Masse-, Volumen-, Härteänderung

Die Anlagen 11 bis 14 sind nicht Bestandteil der gedruckten Fassung des Berichtes, sondern liegen nur als Datei auf der beigefügten CD vor.

Verwendete Begriffe: In diesem Bericht werden Kraftstoffe auf der Basis fossiler Rohstoffe mit Diesel- oder Ottokraftstoff bezeichnet (herkömmliche Kraftstoffe, mineralölstämmig).

1 Einführung und Ziel des Forschungsvorhabens

Biokraftstoffe (Biodiesel, Bioethanol) und Gemische aus Ottokraftstoff mit Bioethanol (E5, E10, E85) oder Dieselkraftstoff mit Biodiesel (B7) sind vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) bei der Erteilung allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen für Abdichtungsmittel in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Flüssigkeiten (LAU-Anlagen) zunehmend zu berücksichtigen. Die im Zulassungsverfahren übliche Beurteilung der Beständigkeit eines Abdichtungsmittels gegenüber einer Mediengruppe (Gruppe von Flüssigkeiten mit vergleichbarer chemischer Wirkung auf Abdichtungsmittel) anhand einer Referenzflüssigkeit (aggressivster Vertreter bzw. eine Mischung aus diesen Vertretern), ist bei Biokraftstoffen nicht sicher anwendbar. Bereits in die Zulassungsgrundsätze eingeführte Prüfflüssigkeiten von Mediengruppen für Biokraftstoffe wurden bisher weder systematisch mit Handelsprodukten verglichen noch hinsichtlich ihrer Wirkung auf verschiedene Kunststoffe eingehender untersucht. Auch unterlagen die gewählten Zusammensetzungen bisher keiner kritischen Bewertung. Prüfungen zur Beurteilung der Beständigkeit von Abdichtungsmitteln gegenüber Biokraftstoffen und Kraftstoffgemischen mit Biokomponenten zeigten in einzelnen Fällen unterschiedliche und auch widersprüchliche Ergebnisse.

Biodiesel (Fettsäuremethylester, FAME) kann für die Prüfungen alternativ von zwei Herstellern bezogen werden. Unterschiede in der Zusammensetzung der Biodiesel sind damit nicht auszuschließen, da die Rohstoffe (Öle, Fette) aus verschiedenen Quellen bezogen werden. Zudem sind chargen- und jahreszeitbedingte Schwankungen möglich. Das Ergebnis von Prüfungen mit Biodiesel kann folglich durch die Herkunft der Rohstoffe, die eingesetzten Arten und Anteile der Öle (Raps, Soja etc.), Veränderungen während des Transports und durch die Dauer und die Bedingungen während der Lagerung (Einfluss von Temperatur, Wasser, Licht) beeinflusst werden. Für Bioethanol sind die Pflanzenart (Zuckerrüben, Weizen etc.) sowie deren Herkunft (Anbaugebiet) und die Zusammensetzung des Restanteils in der Diskussion. Folglich ist bei der Beurteilung der Beständigkeit von Abdichtungsmitteln gegenüber Biokraftstoffen und Gemischen aus herkömmlichen Kraftstoffen mit Biokomponenten zurzeit keine allgemein gültige Aussage möglich, sondern nur hinsichtlich der tatsächlich geprüften Flüssigkeit und deren Verarbeitungs- und Lagerungszustand zum Zeitpunkt der Prüfung.

Um eine Datenbasis für die Beantwortung der aufgezeigten offenen Fragen zur Wirkung von Biodiesel und Diesel mit Biodieselanteilen sowie Bioethanol und Mischungen mit Ottokraftstoff auf Abdichtungen in LAU-Anlagen zu schaffen, wurden vergleichende Untersuchungen mit Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze des DIBt, mit Biokraftstoffproben verschiedener Hersteller, mit Proben von Tankstellen und potenziell neuen Prüfflüssigkeiten durchgeführt. Weiterhin sollten damit Ansatzpunkte erarbeitet werden, die es gestatten, die Zusammensetzungen der Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze des DIBt zu optimieren und neuen Entwicklungen auf dem Gebiet der Biokraftstoffe (z. B.: E10) anzupassen. Darüber hinaus kann die Präzisierung der Zusammensetzungen der Prüfflüssigkeiten dazu beitragen, die Vergleich- und Wiederholbarkeit von Prüfergebnissen im Rahmen der Zulassungsverfahren zu verbessern.

Als Abdichtungsmittel wurden zwei Beschichtungssysteme (EP, PUR) und zwei Kunststoffbahnen (PE-HD, PVC-P) ausgewählt, die jeweils für die Verwendung in LAU-Anlagen allgemein bauaufsichtlich zugelassen sind (Bauprodukte mit abZ). Damit wurden Einlagerungen (Quellversuche) durchgeführt und das Verhalten nach der Medienbeanspruchung (Rücktrocknung) beobachtet. Bei den Beschichtungen erfolgten neben den Einlagerungen auch Druckversuche (1 bar) entsprechend der Zulassungsgrundsätze des DIBt. Zentrale Bewertungskriterien waren die Masse-, Volumen- und Härteänderung der Kunststoffe. Anhand dieser Kriterien wurde die Wirkung der eingesetzten Flüssigkeiten (Quellvermögen, Aggressivität) beurteilt. Um ein möglichst breites Spektrum abzudecken, wurden Kunststoffe ausgewählt, bei denen deutliche Unterschiede der Beständigkeit gegenüber den Biokraftstoffen zu erwarten waren.

2 Biokraftstoffe

2.1 Überblick

Einen umfassenden Überblick zu den heute in Deutschland verfügbaren Biokraftstoffen sowie dem jeweils erreichten technischen Entwicklungsstand und dem jeweiligen Marktanteil liefern die Veröffentlichungen der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., FNR [1, 2]. Daraus entnommen sind die in der Tabelle 2.1 zusammengestellten Daten des Kraftstoffverbrauchs in Deutschland und die Anteile der Biokraftstoffe in den Jahren 2007 bis 2010. Es ist zu erkennen, dass Biodiesel den höchsten Anteil unter den Biokraftstoffen einnimmt, wobei der Verbrauch in den letzten Jahren rückläufig war. Bei Bioethanol zeigt sich ein kontinuierlicher Anstieg des Verbrauchs. Die Verwendung von Pflanzenölen als Biokraftstoff ist gegenüber Biodiesel und Bioethanol vergleichsweise gering und ging im dargestellten Zeitraum zurück. Standorte der Produktionsanlagen für Biodiesel und Bioethanol in Deutschland zeigen die Bilder 2.1 und 2.2.

Tabelle 2.1: Kraftstoffverbrauch in Deutschland und die Anteile der Biokraftstoffe nach [1, 2]
 (Die Prozentangaben sind auf den Energiegehalt der Kraftstoffe bezogen.)

Kraftstoff	2007		2008		2009		2010	
	Masse [t]	Anteil [%]						
Diesel	27.640.000	52,5	28.293.000	54,7	28.636.000	56,0	29.839.000	57,8
Otto	20.840.000	40,1	19.944.000	39,4	19.332.000	38,5	18.486.000	36,4
Biodiesel	3.320.000	5,4	2.695.000	4,5	2.517.000	4,2	2.582.000	4,3
Bioethanol	460.800	0,5	626.000	0,7	903.000	1,1	1.161.000	1,4
Pflanzenöl	838.000	1,4	401.000	0,7	101.000	0,2	61.000	0,1

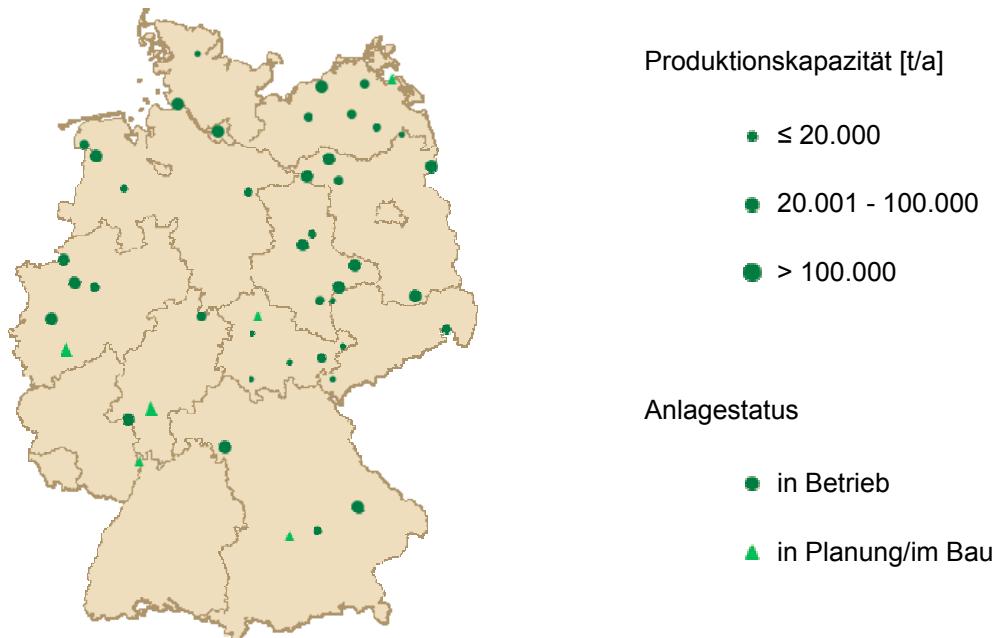


Bild 2.1: Standorte der Produktionsanlagen für Biodiesel [4]

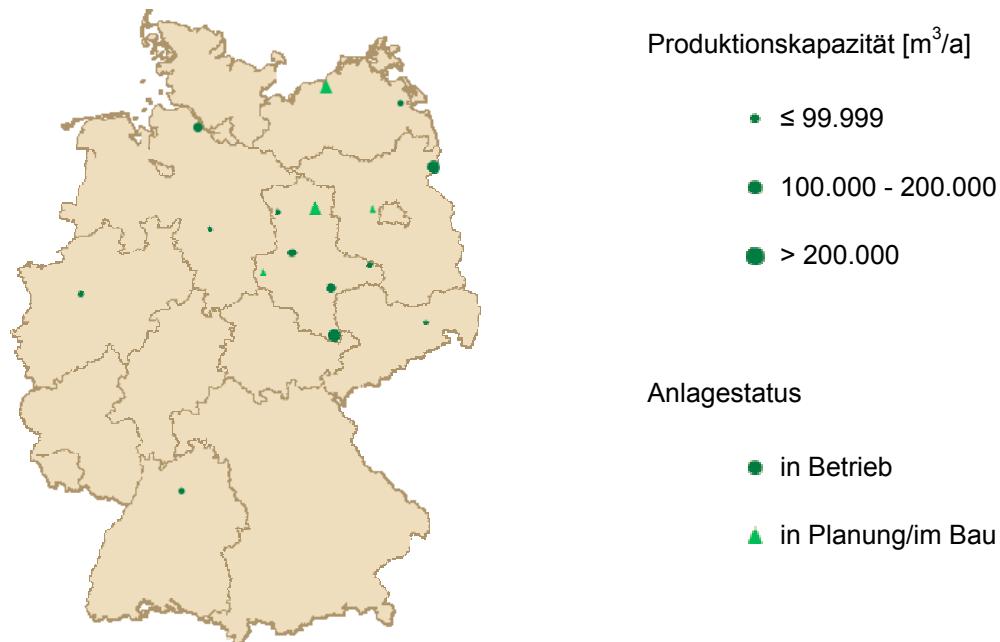


Bild 2.2: Standorte der Produktionsanlagen für Bioethanol [4]

2.2 Biodiesel

2.2.1 Rohstoffe und Herstellung

Ausgangsstoff für die Biodieselproduktion sind Öle (bei 20 °C flüssig) und Fette (bei 20 °C fest oder halbfest), die aus Pflanzen gewonnen werden oder tierischen Ursprungs (Fettgewebe von Schlachttieren oder Fischen) sein können. Öle und Fette sind Mischungen von Triglyceriden (Triacylglycerole, TAG). Diese bestehen aus drei langkettigen Fettsäuren (verschiedene oder gleiche Fettsäuren), die über ein Glycerinmolekül (Glycerol) verbunden sind. Typische Fettsäureverteilungen ausgewählter Öle und Fette enthält Tabelle 2.2.

Die Verarbeitung der Öle bzw. Fette zum Biodiesel wird unter dem Begriff der Umesterung zusammengefasst. Detaillierte Angaben zu den verschiedenen Verfahren und den Einzelheiten der Reaktionsführung sind z. B. aus [23-28 und 46] zu entnehmen und lassen sich stark vereinfachend wie folgt zusammenfassen: Bei dem Prozess reagiert das gereinigte (vorbehandelte, entschleimte) Öl mit Alkohol unter Anwesenheit eines Katalysators (ca. 0,5 M.%) bei erhöhter Temperatur (ca. 60 °C) und Rühren (≥ 600 U/min) innerhalb von ca. einer Stunde stufenweise zu Biodiesel (Fettsäurealkylester, FAAE) unter Abspaltung von ca. 10 M.-% Glycerin (vgl. Bilder 2.3 bis 2.5). Das System von Folgereaktionen wird durch Alkoholüberschuss oder durch das Entfernen des Reaktionsproduktes (FAAE oder Glycerin) zum vollständigen Umsatz geführt. Die technische Bedeutung dieses Prozesses der Umesterung resultiert aus der verringerten Viskosität der Fettsäurealkylester gegenüber den Ausgangsstoffen (Öle, Fette), und zwar um ca. eine Größenordnung (Faktor 10).

Bei tierischen Fetten und Altfetten, die einen hohen Anteil freier Fettsäuren enthalten, ist die Veresterung der freien Fettsäuren als zusätzlicher Verfahrensschritt vor der Umesterung erforderlich.

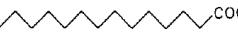
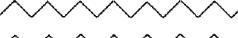
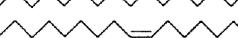
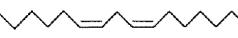
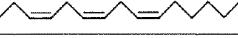
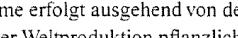
Der zur Umesterung hauptsächlich eingesetzte Alkohol ist Methanol und das entsprechende Reaktionsprodukt Fettsäuremethylester (FAME). Daneben können Ethanol, Propanol, Iso-Propanol und Butanol verwendet werden (Reaktionsprodukt bei Verwendung von Ethanol: Fettsäureethylester). Das klassische Molverhältnis von Alkohol zu Öl beträgt bei der Verwendung von Methanol 6 : 1. Als Katalysatoren dienen Kaliumhydroxid (KOH), Natriumhydroxid (NaOH) oder Natriummethanolat (NaOCH₃).

Rückstände der Reaktionspartner bzw. der Zwischenprodukte können in bestimmten Mengen im Biodiesel enthalten sein, und zwar sind dies: Methanol, Tri-, Di- und Monoglyceride, Glycerin sowie Katalysatorreste. Der Anteil dieser Stoffe im Biodiesel wird durch entsprechende Anforderungen in der DIN EN 14214 begrenzt.

Tabelle 2.2: Anteile der Fettsäuren in ausgewählten Ölen und Fetten für die Biodieselproduktion
 Angaben in Masse-% nach [19-22] und DIN 51605
 Bsp.: C 18:1 = Fettsäure mit 18 Kohlenstoffatomen und einer Doppelbindung

(Fett)säure	Symbol	Rapsöl			Sojaöl	Palmöl	Schweineschmalz
		erucasäurearm	erucas.-reich	öls.-reich			
Laurin	C 12:0	≤ 0,1			≤ 0,1	≤ 0,5	-
Myristin	C 14:0	≤ 0,2			≤ 0,2	0,5 - 2,0	1,0 - 2,5
Palmitin	C 16:0	2,5 - 7,0	3,1 ; 4,3		8,0 - 13,5	39,3 - 47,5	20,0 - 30,0
Palmitolein	C 16:1	≤ 0,6			≤ 0,2	≤ 0,6	2,0 - 4,0
Stearin	C 18:0	0,8 - 3,0	1,2		2,0 - 5,4	3,5 - 6,0	8,0 - 22,0
Öl	C 18:1	51,0 - 70,0	bis 40,0	78,0 - 85,0	17,0 - 30,0	36,0 - 44,0	35,0 - 55,0
Linol	C 18:2	15,0 - 30,0	13,3 ; 15,5	6,0 - 10,0	48,0 - 59,0	9,0 - 12,0	4,0 - 12,0
Linolen	C 18:3	5,0 - 14,0	9,4 ; 15,8	1,0 - 4,0	4,5 - 11,0	≤ 0,5	≤ 1,5
Arachin	C 20:0	0,2 - 1,2	0,9		0,1 - 0,6	≤ 1,0	≤ 1,0
Gadolein	C 20:1	0,1 - 4,3	6,8		≤ 0,5	≤ 0,4	≤ 1,5
Behen	C 22:0	≤ 0,6	1,0		≤ 0,7	≤ 0,2	≤ 0,1
Eruca	C 22:1	≤ 2,0	bis 55,0		≤ 0,3	-	≤ 0,5
Lignocerin	C 24:0	≤ 0,3			≤ 0,5	-	-
Nervon	C 24:1	≤ 0,4			-	-	-

Erläuterung zur Tabelle 2.2: Strukturen der Hauptfettsäuren [36]

Kurzschreibweise	Struktur ^a	Trivialname	Anteil (%) ^b
14:0		Myristinsäure	2
16:0		Palmitinsäure	11
18:0		Stearinsäure	4
18:1 (9)		Ölsäure	34
18:2 (9, 12)		Linolsäure	34
18:3 (9, 12, 15)		Linolensäure	5

^a Die Zählung der C-Atome erfolgt ausgehend von der COOH-Gruppe.

^b Geschätzter Anteil an der Weltproduktion pflanzlicher Speisefette.

In Deutschland dient hauptsächlich Rapsöl mit niedrigem Erucasäuregehalt als Basis für die Herstellung von Biodiesel ("Null-Raps", "Doppel-Null-Raps" ist zusätzlich arm an Thioglucosinolaten, im englischsprachigen Raum auch als Canola bezeichnet). In geringeren Anteilen wird auch Sojaöl und Palmöl genutzt. Weiterhin existieren auch Anlagen zur Verarbeitung von Alt(speise)fetten und tierischen Fetten [2].

Entsprechend des Hauptrohstoffs Rapsöl besteht Biodiesel in Deutschland überwiegend aus Rapsölmethylester (RME) und kann Anteile von Palmölmethylester (PME) oder Sojamethylester (SME) enthalten. PME weist gegenüber RME schlechtere Kälte- bzw. Kaltfließeigenschaften auf und wird deshalb nur im Sommer bis zu 10 % beigemischt. SME erreicht nicht die Anforderungen der DIN EN 14214 hinsichtlich der Jodzahl (Maß für den Gehalt eines Fettes an ungesättigten Verbindungen) und wird aufgrund der im Vergleich mit RME schlechteren Oxidationsstabilität und Kaltfließeigenschaften nur in Anteilen von maximal 20 bis 25 % dem RME beigemischt [1]. Kennwerte, anhand derer deutlich wird, dass Reinkraftstoffe auf Basis von PME oder SME nicht die Anforderungen der DIN EN 14214 erfüllen, enthalten die Tabellen 2.3 und 2.4. Auf diese Kennwerte wird im folgenden Abschnitt 2.2.2 eingegangen.

Biodiesel auf der Basis von Alt(speise)fetten (AME) und tierischen Fetten (FME) kann in beheizten Tanks ganzjährig als Reinkraftstoff eingesetzt werden, wobei der Marktanteil von AME und FME gegenüber RME in Deutschland deutlich geringer ist [2].

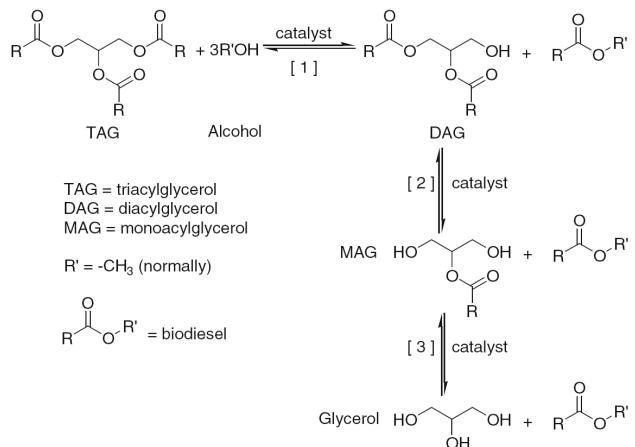


Bild 2.3: Prinzip der Umesterung von Triglyceriden (Triacylglycerolen, TAG) zu Fettsäurealkylestern (Biodiesel) [23]

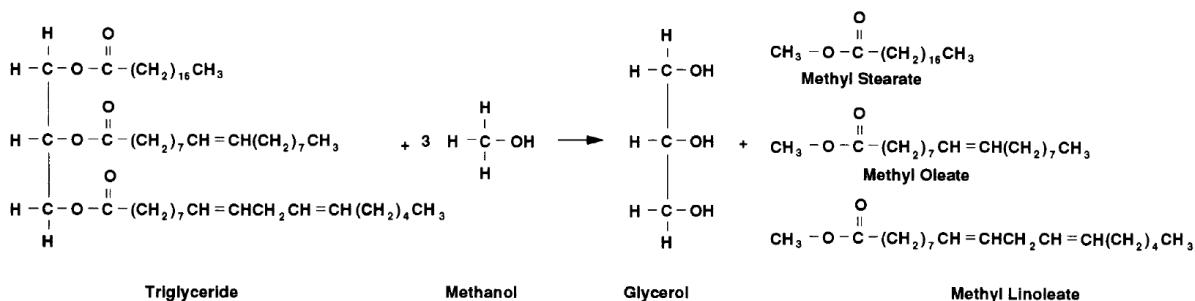


Bild 2.4: Umesterung eines Triglycerids mit drei verschiedenen Fettsäuren in die entsprechenden Fett-säuremethylester (Biodiesel) [30]

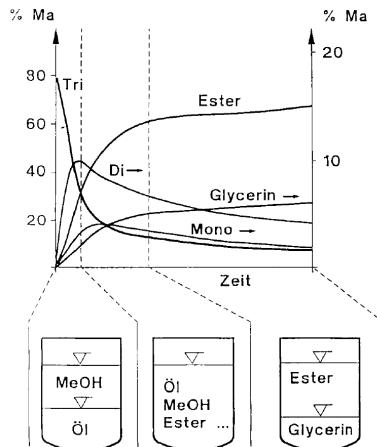


Bild 2.5: Kinetik und Phasenverhalten bei der Umesterung von Triglyceriden [25]

Tabelle 2.3: Ausgewählte Kennwerte von Fettsäuremethylestern, FAME nach [23, 35]

Methylester der Fettsäure (vgl. Tab. 2.2)	enthalten in (vgl. Tab. 2.2)	kin. Viskosität bei 40 °C [mm²/s]	Schmelzpunkt [°C]	Oxidations- stabilität [h]
C 16:0	PME, FME	4,38	31	> 40
C 18:0	FME	5,85	39	> 40
C 18:1	RME, PME, SME, FME	4,51	-20	2,5
C 18:2	SME, RME	3,65	-35	1,0
C 18:3	RME, SME	3,14	-52	0,2

2.2.2 Ausgewählte Eigenschaften

Für die Verwendung von Biodiesel als Kraftstoff gelten die Anforderungen der DIN EN 14214 und DIN EN 590. Diese können der Anlage 2 entnommen werden, in der die entsprechenden Tabellen mit den Anforderungen dieser Normen zusammengestellt sind. Nachfolgend wird insbesondere auf die Eigenschaften und Kennwerte näher eingegangen, die im Zusammenhang mit der Verwendung des Biodiesels als Prüfflüssigkeit bedeutsam sind, d. h. bei der Beurteilung von Abdichtungsmitteln für LAU-Anlagen.

Die Anteile der im Biodiesel enthaltenen Fettsäuremethylester variieren in Abhängigkeit von der Art des verarbeiteten Rohstoffs (vgl. Tabelle 2.2). Dadurch können sich die Eigenschaften von Biodiesel erheblich unterscheiden, was im Folgenden beispielhaft dargestellt wird. Hinsichtlich der umfassenden Darstellung der Zusammenhänge wird auf die zitierte Fachliteratur verwiesen.

Ausgewählte Parameter von Fettsäuremethylestern, die Hauptbestandteile von in Deutschland produzierten Biodieseln sind, enthält Tabelle 2.3. Aus dieser Tabelle erkennt man, dass bei den aufgeführten gesättigten Fettsäuremethylestern (C 16:0, C 18:0) mit zunehmender Kettenlänge die kinematische Viskosität und der Schmelzpunkt steigt sowie eine hohe Oxidationsstabilität gegeben ist. Mit zunehmender An-

zahl von Doppelbindungen verringert sich die kinematische Viskosität (vgl. dazu auch Bild 2.6), der Schmelzpunkt sinkt und die Oxidationsstabilität nimmt ab. Anhand dieser Zusammenhänge sind die unterschiedlichen Eigenschaften für die in der Tabelle 2.4 zusammengestellten Biodiesel erklärbar. Dargestellt sind darin Biodiesel auf der Basis von Rapsöl (RME) und Mischungen von RME mit Palmölmethylester (PME) und Sojamethylester (SME). Infolge der Zugabe von SME, der hohe Anteile von Methyllinoleat (C 18:2) aufweist, sinkt insbesondere die Oxidationsstabilität. Bei der Mischung mit PME verschlechtert sich das Kälteverhalten (Filtrierbarkeit) infolge des hohen Anteils von Methylpalmitat (C 16:0).

Zur Charakterisierung der in die eigenen Untersuchungen einbezogenen Biodieselproben wurde neben der Dichte und dem IR-Spektrum auch die dynamische Viskosität und die Oberflächenspannung bestimmt (vgl. Abschnitt 4.2.2). Daten aus der Literatur zur dynamischen Viskosität und zur Oberflächenspannung sind in den Bildern 2.6 und 2.7 dargestellt.

Aus dem Bild 2.6 links erkennt man, dass die **dynamische Viskosität** bei gegebener Kettenlänge (C 18) mit zunehmender Anzahl von Doppelbindungen sinkt. Bei den im Bild 2.6 rechts dargestellten Ergebnissen für Methylester verschiedener Pflanzenöle zeigt sich der Einfluss der Kettenlänge, d.h. Kokosfettmethylester, der einen hohen Anteil an Dodecansäure (C 12:0) enthält [19], weist die niedrigste dynamische Viskosität auf.

Tabelle 2.4: Ausgewählte Kennwerte von Biodieseln nach [32]

Biodiesel	Anteil [%]			kin. Viskosität bei 40 °C [mm²/s]	Filtrierbarkeit CFPP [°C]	Oxidationsstabilität [h]
	RME	SME	PME			
1	100	-	-	4,33	-15	8,4
2	75	25	-	4,35	-10	4,7
3	60	12,5	27,5	4,46	-6	1,4
4	45	-	55	4,52	-2	8,0

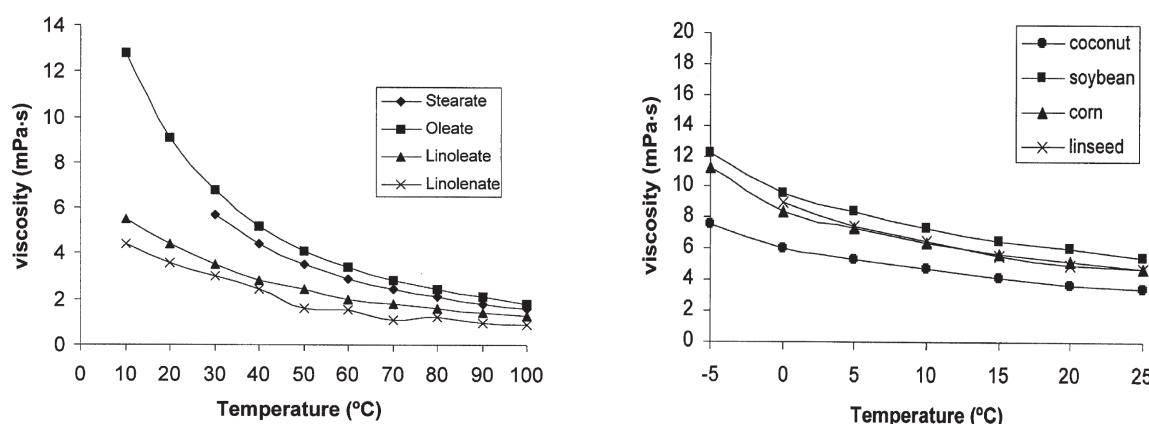
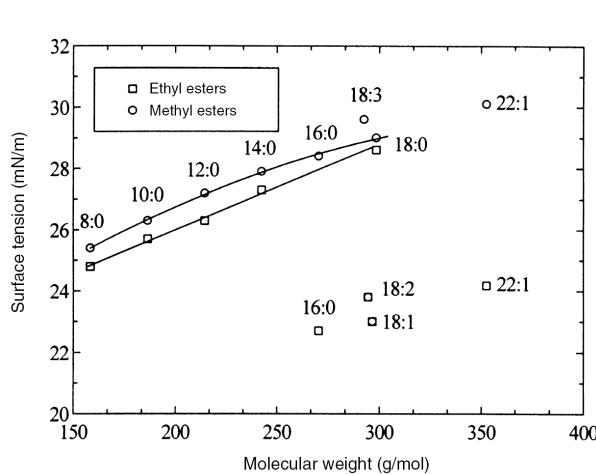


Bild 2.6: Viskosität von Fettsäuremethylestern in Abhängigkeit von der Temperatur [30]

Bild links: Methylester verschiedener Fettsäuren (C 18:0, C 18:1, C 18:2, C 18:3)

Bild rechts: Methylester verschiedener Pflanzenöle



	Surface tension (mN/m)		
	Predicted	Lower prediction limit	Upper prediction limit
Peanut	28.70	27.84	29.56
Rapeseed	29.24	28.36	30.12
Canola	28.79	27.93	29.66
Olive	28.55	27.70	29.41
Coconut	26.82	26.02	27.63
Corn	28.86	27.99	29.72
Palm	28.34	27.49	29.19
Safflower	28.98	28.11	29.85
Sunflower	28.96	28.09	29.83
Soybean	28.93	28.06	29.79
Sunola	28.56	27.70	29.41
Cottonseed	28.76	27.90	29.62
Beef tallow	28.39	27.54	29.24
Butterfat	27.86	27.03	28.70
Lard	27.69	26.86	28.52

Bild 2.7: Oberflächenspannung bei 40 °C [31]

Bild links: Gemessene Werte für Methylester und Ethylester verschiedener Fettsäuren

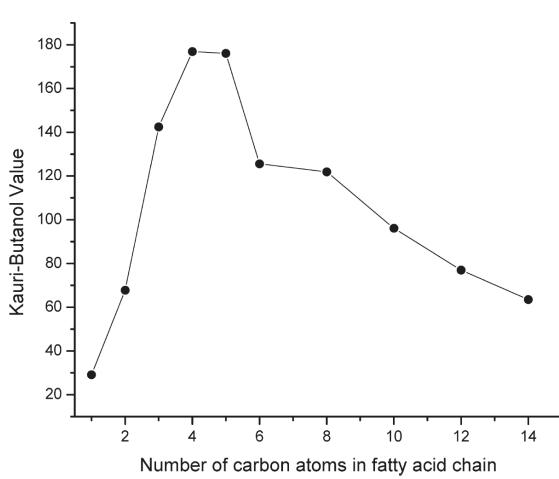
Tabelle rechts: Berechnete Werte für verschiedene Methylester von Pflanzenölen (Biodiesel)

Die **Oberflächenspannung** gesättigter Fettsäuremethyl- und -ethylester steigt mit zunehmender Kettenlänge (Bild 2.7 links). Die in diesem Bild dargestellten Messwerte für die ungesättigten Fettsäuremethylester (C 18:1, C 18:2) werden allerdings in der Quelle [31] in Zweifel gezogen. Dementsprechend erfolgte die Berechnung von Oberflächenspannungen für die im Bild 2.7 rechts angegebenen Methylester von Pflanzenölen mit korrigierten Werten. Bei diesen Werten, die für die betrachteten Pflanzenöle überwiegend im Bereich von 28 bis 29 mN/m liegen, fällt wiederum der Einfluss der Kettenlänge auf. Kokosfettmethylester weist mit 26,8 mN/m den geringsten Wert auf.

Der Kauri-Butanol-Wert (KB-Wert) ist ein Maß für das **Lösevermögen** eines Lösemittels. Bestimmt wird der KB-Wert mit der Methode nach ASTM D1133. Dabei wird durch Titration der Trübungspunkt einer Lösung von Kaurikopal (Naturharz) in Butanol gegen ein zu untersuchendes Lösemittel bestimmt. Je höher der Kauri-Butanol-Wert, desto besser ist das Lösevermögen. Als Bezugslösemittel dient Toluol mit einem KB-Wert von 105.

In der Literatur [33, 34] sind Ergebnisse von Untersuchungen zum KB-Wert von Fettsäurealkylestern beschrieben. Aus dem Bild 2.8 erkennt man, dass der KB-Wert von Methylestern gesättigter Fettsäuren mit zunehmender Kettenlänge (bis C 4:0) zunächst auf ca. 175 ansteigt und danach abnimmt (bis C 14:0). Für den Methylester der Ölsäure (C 18:1, Methyloleat) wird in [33] ein KB-Wert von 52 angegeben. Steigt die Anzahl der Doppelbindungen bei gegebener Kettenlänge, so erhöht sich der KB-Wert und erreicht bei dem Methylester der Linolsäure (C 18:2, Methyllinoleat) einen Wert von 58 (vgl. Bild 2.8, rechts). Rapsmethylester weist nach [34] einen KB-Wert von 82 auf, der durch Zugabe von 20 % Methylpalmitat (C 16:0) oder Methylaurat (C 12:0) ansteigt (vgl. Bild 2.9, links). Weiterhin ist aus der Aufstellung der KB-Werte im Bild 2.8 und dem Bild 2.9 (rechts) zu erkennen, dass mit zunehmender Molekülgröße der Alkohole, die zur Umesterung eingesetzt werden, der KB-Wert der entsprechenden Ester sinkt.

Das Lösevermögen von paraffinischen Kohlenwasserstoffen liegt mit KB-Werten von 19,5 bis 31 (Bild 2.8 rechts) unter dem der im vorangegangenen Absatz behandelten Fettsäuremethylester. Aromatische Kohlenwasserstoffe, wie z.B. Toluol, Xylol, der Ether THF und der Chlorkohlenwasserstoff Dichlormethan weisen höhere Werte als die Fettsäuremethylester auf. Aceton und Ethanol sind mit KB-Werten von 76 bzw. 84 vergleichbar mit dem für Rapsölmethylester in [34] genannten KB-Wert von 82.



Stoff	KB-Wert	Stoff	KB-Wert
Wasser	6,5	THF	>579
Pentan	26,0	Dichlormethan	136
Hexan	31,0	Methanol	33,3
Heptan	28,5	Ethanol	84,2
Octan	27,6	1-/2-Propanol	>580
Decan	26,0	Methyloleat	52,1
Dodecan	23,3	Ethyloleat	49,0
Teradecan	20,7	Propyloleat	50,5
Hexadecan	19,5	Butyloleat	42,1
Toluol	105	Methyllinoleat	58,2
Xylol	98		
Aceton	76		
		Diesel	31,0

Bild 2.8: Kauri-Butanol-Werte nach [33]

Bild links: KB-Werte für Methylester gesättigter Fettsäuren

Tabelle rechts: KB-Werte für verschiedene Stoffe (**fett**: Ester der Öl- bzw. Linolsäure)

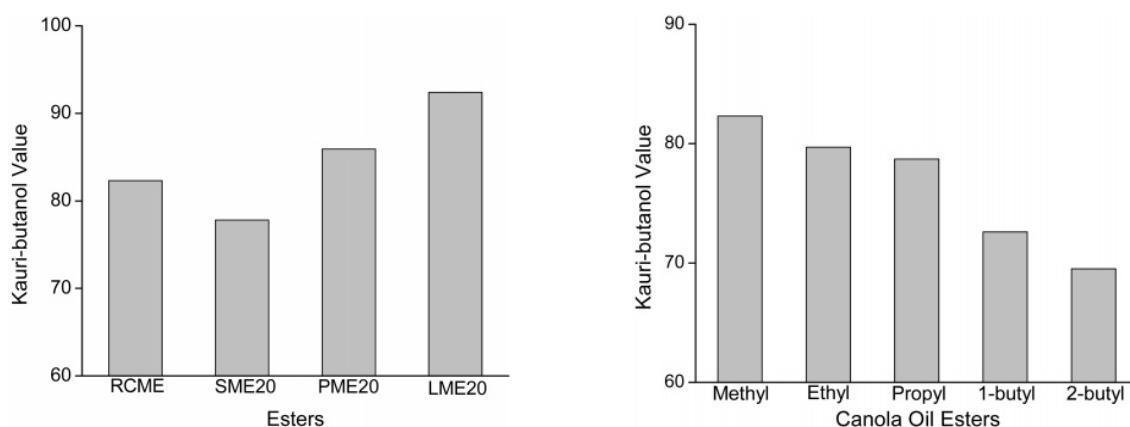


Bild 2.9: Kauri-Butanol-Werte nach [34] verschiedener Rapsölester (canola oil)

Bild links: KB-Werte für RCME = Rapsölmethylester (refined canola oil methylester),

SME20 = RCME mit 20 M.-% Methylstearat (C 18:0),

PME20 = RCME mit 20 M.-% Methylpalmitat (C 16:0),

LME20 = RCME mit 20 M.-% Methyllaurat (C 12:0)

Bild rechts: KB-Werte für Methyl-, Ethyl-, Propyl-, 1-Butyl und 2-Butylester des Rapsöls

Als vergleichsweise schnelle Methode zu Charakterisierung einer Substanz bietet sich neben der Aufnahme eines IR-Spektrums auch die **Thermogravimetrie (TGA)** an. Inwieweit dieses Verfahren für Biokraftstoff nutzbar ist, kann anhand von entsprechenden Analyseergebnissen aus [21] verdeutlicht werden. Untersucht wurden Biodiesel aus verschiedenen Pflanzenölen, die auch mit verschiedenen Alkoholen umgeestert wurden. Daraus entnommen sind die im Bild 2.10 exemplarisch dargestellten Ergebnisse für Rapsölmethylester im Vergleich mit zwei Dieselkraftstoffen. Der Beginn der Zersetzung (Onset) lag bei den untersuchten Pflanzenölalkylestern (Biodieseln) einheitlich um 180 °C (± 10 °C) und für Dieselkraftstoff bei 55 °C (Winter) bzw. 77 °C (Sommer). Eine eindeutige Differenzierung von handelsüblichen Biodieseln ist anhand der TGA offenbar nicht möglich. Mischungen von Biodiesel mit Dieselkraftstoff könnten mit dieser Methode dagegen erkannt werden, wie z.B. entsprechende Analyseergebnisse in [17] zeigen.

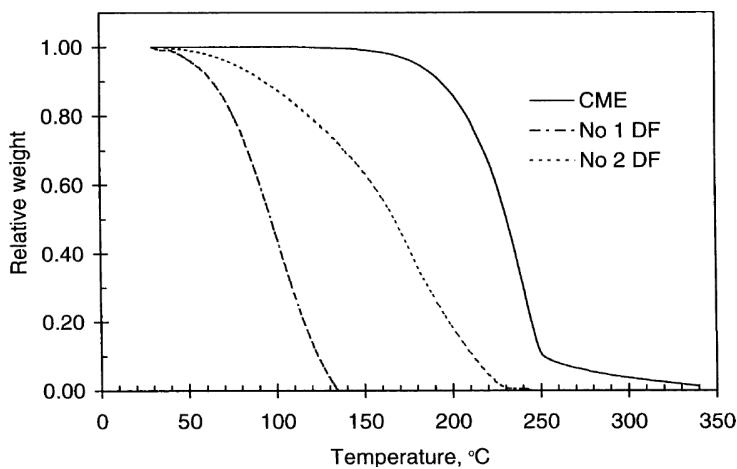


Bild 2.10: TGA-Kurven für Rapsölmethylester und zwei Dieselkraftstoffe (No. 1 Winterware, No. 2 Sommerware), 5 °C/min, N₂-Atmosphäre [21]

2.2.3 Alterung

Fettsäuremethylester unterliegen Veränderungen durch die Einwirkung von Sauerstoff. Dieser Prozess der Oxidation wird durch die Zusammensetzung der FAME und die Lagerungsbedingungen beeinflusst [36 - 41]. Hinsichtlich der Zusammensetzung sind der Anteil und die Art der ungesättigten Fettsäuren (Anzahl der Doppelbindungen) bedeutsam. Je höher der Anteil mehrfach ungesättigter Fettsäuren ist, desto schneller vollziehen sich stoffliche Veränderungen bzw. Abbauprozesse. Antioxidantien, zu denen die in Pflanzenölen natürlich enthaltenen Tocopherole (Vitamin E) oder synthetische Stoffe, wie z.B. Butylhydroxytoluol, BHT (2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol), zählen, können diese Prozesse hemmen bzw. verzögern. Bei der Lagerung der FAME wird die Geschwindigkeit der Abbauprozesse durch folgende Faktoren gefördert: Bestrahlung mit ultraviolettem Licht, erhöhte Temperatur, große Oberfläche im Kontakt mit Sauerstoff und Anwesenheit von Katalysatoren, insbesondere Ionen des Kupfers und des Eisens.

Die Oxidation unter Lichteinwirkung (Fotooxidation) bewirkt insgesamt den schnellsten Abbau ungesättigter FAME und vollzieht sich um mehrere Größenordnungen schneller als die Autoxidation [38]. Nach [39] ist dementsprechend bei der Lagerung der Ausschluss von Licht bei weitem entscheidender als der Ausschluss von Luft.

Durch die Reaktion mit Sauerstoff entstehen in einem ersten Reaktionsschritt Hydroperoxide, die zu verschiedenen Abbauprodukten umgewandelt werden. Nach [38] können diese sekundären Reaktionsprodukte in drei Gruppen unterteilt werden:

- monomere Substanzen derselben Kettenlänge wie die Ausgangsstoffe aber mit anderen funktionellen Gruppen, wie z. B. Keto-, Epoxi-, Di- und Trihydroxidverbindungen sowie Hydroperoxy-epidioxide und Dihydroperoxide;
- oligomere Substanzen mit höherem Molekulargewicht, wie z. B. Dimere, verknüpft über Peroxi- oder Ethergruppen, Dimere mit Kohlenstoffbindungen, Dimere und Oligomere mit konjugierten Dien- und Trienkomponenten sowie Dihydroperoxiden oder Hydroperoxy-epidioxiden;

- kurzkettige Substanzen, wie z. B. gesättigte und ungesättigte Aldehyde, Ketoverbindungen und kurzkettige Fettsäuren.

Flüchtige Verbindungen, die bei der Autoxidation ungesättigter Fettsäuren entstehen können, sind im Bild 2.11 aus [36] zusammengestellt.

Um die Alterungsprozesse des Biodiesels bis zur Verwendung zu begrenzen, sind in der Norm DIN EN 14214 bzw. DIN EN 14213 (vgl. Anlage 2) für folgende Eigenschaften Grenzwerte festgelegt: Oxidationsstabilität, Gehalt an FAME mit ≥ 4 Doppelbindungen, Linolensäuregehalt, Iodzahl, kinematische Viskosität, Säurezahl.

Ölsäure	Linolsäure		Linolensäure
Heptanal	50	Pentan ^b	+ ^c
Octanal	320	Pentanal	55
Nonanal	370	Hexanal	5 100
Decanal	80	Heptanal	50
(E)-2-Decenal	70	(E)-2-Heptenal	450
(E)-2-Undecenal	85	Octenal	45
		1-Octen-3-on	(E)-2-Hexenal
		2	15
		1-Octen-3-hydroperoxid	(E)-3-Hexenal
		+ ^c	90
		(Z)-2-Octenal	990
		(E)-2-Octenal	420
		(Z)-3-Nonenal	(E,Z)-2,4-Heptadienal
		30	320
		(E)-3-Nonenal	(E,E)-2,4-Heptadienal
		30	70
		(Z)-2-Nonenal	(Z,Z)-2,5-Octadienal
		+ ^c	20
		(E)-2-Nonenal	3,5-Octadien-2-on
		30	30
		(Z)-2-Decenal	(Z)-1,5-Octadien-3-on
		20	+ ^c
			(Z)-1,5-Octadien-3-hydroperoxid
			10
		(E,E)-2,4-Nonadienal	(E,Z)-2,6-Nonadienal
		30	85
		(E,Z)-2,4-Decadienal	2,4,7-Decatrienal
		250	
		(E,E)-2,4-Decadienal	+ ^c
		150	
		trans-4,5-Epoxy-(E)-2-decenal	

^a Von jeder Fettsäure wurde 1 g bei 20 °C bis zur Aufnahme von 0,5 mol Sauerstoff pro mol Fettsäure autoxiidiert.

^b Gehört zu den Hauptverbindungen.

^c Nachgewiesen, aber nicht quantifiziert.

Bild 2.11: Flüchtige Verbindungen infolge der Autoxidation ungesättigter Fettsäuren [36]

2.2.4 Fettsäurealkylester für eine optimierte Zusammensetzung von Biodiesel

In [42] wird der Frage nachgegangen, welche FAAE-Zusammensetzung zu einem optimierten Biodiesel führen könnte. Im Mittelpunkt stehen dabei insbesondere folgende Parameter: die Cetanzahl, die NO_x-Emission, die Oxidationsstabilität, das Kälteverhalten und/oder die Viskosität. Neben der Verwendung als Kraftstoff kann eine optimierte Zusammensetzung aber auch unter dem Aspekt der Verwendung als Prüfflüssigkeit betrachtet werden.

Den Betrachtungen in [42] liegt zugrunde, dass dem Methyloleat (Methylester der Ölsäure, C 18:1) in einem optimierten Biodiesel besondere Bedeutung zukommt. Dies resultiert aus dem hohen Anteil der Ölsäure in den zurzeit für die Herstellung von Biodiesel gebräuchlichen Pflanzenölen, insbesondere dem Rapsöl (vgl. Tabelle 2.2), und einer vergleichsweise günstigen Gesamtbewertung des Eigenschaftsprofils für die Verwendung als Kraftstoff. Ausnahmen sind dabei die normgerechte Oxidationsstabilität, die nur durch entsprechende Additive sichergestellt werden kann, und das begrenzte Kaltfließverhalten, infolge des Schmelzpunktes von Methyloleats bei -20 °C. Hinsichtlich der Verwendung als Referenzflüssigkeit für Biodiesel bei der Prüfung der Beständigkeit von Abdichtungsmitteln für LAU-Anlagen ist die Bezugsmög-

lichkeit von Methyloleat in technischer Form (70%ig) über den Chemikalienhandel zu einem Preis von ca. 40 €/Liter interessant.

Daneben werden in [42] folgende Fettsäureester mit kürzerer Kettenlänge als Ergänzung bzw. Alternative zum Methyloleat diskutiert und bewertet:

- Methylpalmitoleat (Methylester der Palmitolsäure, C 16:1),
Vorteil: günstiges Kälteverhalten aufgrund des Schmelzpunktes von -34 °C,
Nachteile: hoher Preis, sehr geringer Anteil in den gebräuchlichen Pflanzenölen;
- Methyldecanoat, Ethyldecanoat (Methyl-, Ethylester der Decansäure, C 10:0),
Vorteil: geringe NO_x-Emission,
Nachteile: hoher Verbrauch, vergleichsweise niedriger Heizwert, enthalten "nur" in Kokos- und Palmkernfett sowie Ziegenmilch.

Ester der Myristoleinsäure (C 14:1), der Laurinsäure (C 12:0), der Octansäure (C 8:0) und der Ricinolsäure (C 18:1 mit Hydroxygruppe) wurden ebenfalls in [42] betrachtet, aber nicht als Kandidaten für eine optimierte Biodieselzusammensetzung empfohlen.

Neben verschiedenen Methylestern werden in [42] auch Ethylester und iso-Propylester von Pflanzenölen betrachtet. Besondere Bedeutung wird den Ethylestern zugemessen, da deren Schmelzpunkt in der Regel niedriger ist als bei den Methylestern und damit das Kaltfließverhalten des Biodiesels günstig beeinflusst. Ethylester sind z. B. in Brasilien aufgrund der Rohstoffsituation (Bioethanol aus Zuckerrohr) Hauptbestandteile von Biodiesel. Hinsichtlich der Verwendung von Ethylestern in einer Prüfflüssigkeit ist aber zu beachten, dass Ölsäureester, die mit anderen Alkoholen als Methanol hergestellt werden, z. B. Ethyloleat, ein geringeres Lösevermögen (KB-Wert) als Methyloleat aufweisen (vgl. Bild 2.9). Dies spricht gegen die Verwendung in einer Prüfflüssigkeit.

Hinsichtlich der Zusammensetzung einer Prüfflüssigkeit für Kunststoffe, die Biodiesel repräsentiert, ist abzuleiten, dass Methyloleat als Hauptbestandteil enthalten sein sollte. Weitere Komponenten ergeben sich aus den Anforderungen der DIN EN 14214 bzw. bei der Verwendung als Heizöl auch aus DIN EN 14213. Methyllinolenat (Methylester der Linolensäure, C 18:3) kann gemäß DIN EN 14214 bis 12 M.-% im Biodiesel enthalten sein. Weitere zu berücksichtigende Komponenten sind nach DIN EN 14214: Methanol, Tri-, Di- und Monoglyceride, Glycerin und Wasser.

Für das Lösevermögen (KB-Wert) von Methyllinolenat (ME der Linolensäure, C 18:3) liegen keine Angaben vor. Es dürfte aber ebenso wie das von Methyllinoleat (ME der Linolsäure, C 18:2) größer sein als das Lösevermögen von Methyloleat (vgl. Bild 2.8). Aufgrund der geringen Oxidationsstabilität (vgl. Tabelle 2.3) und des hohen Preises sind Methyllinoleat (ca. 13 € pro 1 g, 99 %) und Methyllinolenat (ca. 245 € pro 50 ml, techn. 70 -80 %) als Bestandteile einer Prüfflüssigkeit eher nicht in Betracht zu ziehen.

Methyldecanoat (ca. 120 € pro 1 kg, 99 %) könnte ausgehend von den Überlegungen in [42] und unter Berücksichtigung des Lösevermögens (KB-Wert von ca. 95 nach Bild 2.8) zur Verstärkung der Quellwirkung einer Prüfflüssigkeit mit der Hauptkomponente Methyloleat eingesetzt werden. Methylpalmitoleat dürfte aufgrund des hohen Preises ausscheiden (ca. 210 € pro 1 g, 99 %).

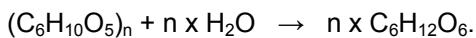
Die vergleichsweise hohen Preise resultieren daraus, dass die aufgeführten Fettsäuremethylester mit hoher Reinheit als Bezugssubstanzen für die Gaschromatographie angeboten werden.

2.3 Bioethanol

Für die Herstellung von Bioethanol werden nachwachsende Rohstoffe verwendet. In Deutschland dienen dafür zurzeit Getreide, vorrangig Weizen sowie in geringerem Umfang auch Triticale und Roggen. Ein weiterer bedeutender Rohstoff sind Zuckerrüben. Daneben werden in großem Umfang von den weltweit größten Erzeugern von Bioethanol in Brasilien Zuckerrohr und in den USA Mais verwendet. Die kommerzielle Verarbeitung lignozellulosehaltiger Rohstoffe (Gras, Stroh, Holz) befindet sich in der Anfangsphase eines großtechnischen Einsatzes [1, 43].

Der Herstellungsprozess von Bioethanol gliedert sich in die folgenden Teilschritte: Rohstoffaufbereitung bzw. Zuckeraufschluss, Fermentation des aufgeschlossenen Zuckers, Destillation und Rektifikation, Entwässerung, Reststoffaufarbeitung, Lagerung und Transport der Produkte.

Stärkehaltige Rohstoffe, wie z. B. Getreide, erfordern eine wesentlich aufwändigere Rohstoffaufbereitung als zuckerhaltige Rohstoffe, wie z. B. Zuckerrüben. Bei Getreide muss zunächst die im Korn enthaltene Stärke enzymatisch bei erhöhter Temperatur in Glucose umgewandelt werden, was sich in folgender Gleichung darstellen lässt:

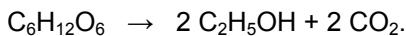


Dagegen liegt der Zucker in der Rübenmelasse als Disaccharid in flüssiger Form und nahezu vollständig gelöst vor, so dass keine weiteren Aufbereitungsschritte erforderlich sind und die Umsetzung zu Glucose wie folgt zu beschreiben ist:



Werden lignozellulosehaltige Rohstoffe verarbeitet, so sind zur Aufspaltung der Zellulose entsprechende zusätzliche Verfahren erforderlich (Säurehydrolyse oder enzymatischer Aufschluss).

Bei der Fermentation entsteht entsprechend der folgenden Gleichung aus der Glucose durch Zugabe von Hefe Ethanol und Kohlendioxid:



Da Ethanol als Zusatz zum Ottokraftstoff wasserfrei sein muss, schließt sich an die Rektifikation und Destillation die Entwässerung an. Mittels Destillation lässt sich Ethanol nur bis zum azeotropen Punkt entwässern (95,6 Vol.-% Ethanol), d. h., die restlichen 4,4 % Wasser müssen durch einen weiteren Verfahrensschritt entfernt werden (z. B. Molekularsiebverfahren).

Anforderungen an Ethanol als Kraftstoffkomponente sind in der DIN EN 15376 festgelegt (vgl. Anlage 2). Daraus geht hinsichtlich der Zusammensetzung hervor, dass der Ethanolgehalt, einschließlich höherer gesättigter Alkohole, mindestens 98,7 M.-% betragen muss. Methanol darf bis 1 M.-% und Wasser bis 0,3 M.-% enthalten sein. Der Säuregehalt, angegeben als Essigsäure, darf maximal 0,007 M.-% betragen. Nach [44] liegt der Volumenanteil des Ethanols im Bioethanol, das als Kraftstoffkomponente in der EU hergestellt wird, bei ≥ 99,7 %. Dementsprechend können für diese Kraftstoffkomponente die Kennwerte von Ethanol zugrunde gelegt werden.

Eine Unterscheidung zwischen Bioethanol und Syntheseethanol (Herstellung auf der Basis fossiler Rohstoffe durch Hydratisierung von Ethen) kann durch eine Altersbestimmung erfolgen, bei der der Zerfall des radioaktiven Kohlenstoff-Isotops C-14 gemessen wird (Methode Nr. 13 nach [47]).

3 Grundlagen für die Untersuchungen - Auswertung der Literatur

3.1 Methoden zur Erarbeitung von Prüfflüssigkeiten

Um die Beständigkeit von Abdichtungsmitteln für Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Flüssigkeiten (LAU-Anlagen) zu beurteilen, werden sogenannte Prüfflüssigkeiten verwendet. Eine solche Prüfflüssigkeit gilt als repräsentativ für eine Mediengruppe und stellt in der Regel den aggressivsten Vertreter dieser Mediengruppe dar. Listen mit Mediengruppen und den entsprechenden Prüfflüssigkeiten sind Bestandteil von Zulassungsgrundsätzen des DIBt für Beschichtungssysteme und für Kunststoffbahnen in LAU-Anlagen. Diese Verfahrensweise ermöglicht es, mit einer überschaubaren Anzahl von Prüfungen die Beständigkeit eines Abdichtungsmittels für ein breites Spektrum von wassergefährdender Flüssigkeiten nachzuweisen. Demgegenüber ist der Aufwand für Prüfungen mit spezifischen Flüssigkeiten deutlich größer und die praktische Anwendung der Abdichtungsmittel auf die Flüssigkeiten beschränkt, für die entsprechende Nachweise vorliegen.

So wird zum Beispiel für die Beurteilung der Beständigkeit von Kunststoffen gegenüber Dieselkraftstoff und Heizöl EL entsprechend der Zulassungsgrundsätze des DIBt die Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817 eingesetzt (vgl. Anlage 5). Die heute gebräuchliche Zusammensetzung dieser Prüfflüssigkeit F (vormalige Bezeichnung: A 20/NP II) geht auf Arbeiten von Sickfeld zurück, der seine Ergebnisse 1973 veröffentlichte [7, 8]. Die Vorgehensweise bestand darin, dass eine Auswahl repräsentativer Polymerwerkstoffproben (Beschichtungstoffe, Auskleidungen, Werkstoffe für Kunststofftanks) in verschiedene handelsübliche Heizöle EL eingelagert wurden und zunächst der aggressivste Vertreter dieser Heizöle EL ermittelt wurde. In diese Untersuchungen war auch das bis dahin gebräuchliche Prüfgemisch einbezogen worden. Weiterhin erfolgten Einlagerungen der Polymerwerkstoffproben in verschiedene Mischungen potenzieller Prüfflüssigkeiten mit definierter chemischer Zusammensetzung.

Als zentrale Kennwerte wurden die Masseänderung während der Einlagerungen und die Härte der Werkstoffproben vor und nach der Einlagerung erfasst. Hinsichtlich der Kombination dieser Untersuchungsmethoden wird in [8] darauf hingewiesen, dass Aussagen allein auf der Basis von Masseänderungen oder allein auf der Basis von Härteuntersuchungen zu Fehlurteilen führen können.

Anhand der so gewonnenen Untersuchungsergebnisse zeigte sich, welche Prüfflüssigkeit mit definierter chemischer Zusammensetzung der Wirkung des aggressivsten Heizöls EL entsprach, wobei im Einzelnen sowohl kleinere als auch größere Veränderungen auftraten. Bei der abschließend festgelegten Zusammensetzung des zukünftigen Prüfgemisches wurde "ein vertretbares, realistisches Maß an Verschärfung" [7] der Quellwirkung berücksichtigt. Vergleicht man die in [7] dargestellten Zahlenwerte, so bewirkte die Prüfflüssigkeit eine Verschärfung des Quellens, d. h. der Masseänderung, die werkstoffabhängig zwischen 0 und 100 %, im Mittel ca. 50 % (relativ), über der lag, die mit dem damals aggressivsten Vertreter der handelsüblichen Heizöle EL erzielt wurde.

Die seit 1991 bei Beständigkeitsprüfungen mit Polymerwerkstoffen für LAU-Anlagen einzusetzende Prüfflüssigkeit für die Mediengruppe Ottokraftstoffe entstand ebenfalls auf der Grundlage vergleichender Quellversuche, ergänzt durch Härtemessungen an den Werkstoffproben vor und nach der Einlagerung [9, 10, 11]. Erforderlich wurden diese Untersuchungen, da mit einer EG-Richtlinie (85/536/EWG) vom 5. Dezember 1985 der Zusatz von sauerstoffhaltigen Ersatz-Kraftstoffkomponenten in bestimmten Höchstmengen geregelt wurde. Ziel dieser EG-Richtlinie war es, Rohöl einzusparen. Dies sollte mit der Zugabe folgender Alkohole erreicht werden: Methanol bis 3 Vol.-%, Ethanol bis 5 Vol.-% und tert. Butanol bis 7 Vol.-%. Tert. Butanol dient in Kraftstoffen mit Methanolanteil als Lösevermittler, um Phasentrennungen bei Anwesenheit von Wasser zu vermeiden.

Zunächst wurden aus handelsüblichen Ottokraftstoffen (Super und Super Plus) die aggressivsten Vertreter anhand von chemischen Analysen und von Quellversuchen ausgewählt und verschiedenen Mischungen potenzieller Prüfflüssigkeiten mit definierter chemischer Zusammensetzung gegenübergestellt. Die Quellwirkung der abschließend festgelegten Prüfflüssigkeit bewirkte auch in diesem Fall eine Verschärfung des Quellens, d. h. Massänderungen, die gegenüber den ausgewählten handelsüblichen Ottokraftstoffen überschlägig etwa doppelt so hoch waren (Verschärfung um bis zu 100 %). Die Quellwirkung des aggressivsten Superkraftstoffs mit 5,2 Vol.-% Methanol (zulässig: 3 Vol.-%) wurde mit der Prüfflüssigkeit nicht erreicht.

In diesen Untersuchungen stellte Sickfeld [9, 10, 11] synergistische Effekte zwischen Alkoholen und Aromaten (Toluol) fest, d. h. die Wirkung der Kombination der Einzelkomponenten war stärker als die Summe der Einzelwirkungen dieser Flüssigkeiten. Aufgrund des starken Quellens von Methanol in niedriger Konzentration war der synergistische Effekt deutlicher bei Ethanol und Isopropanol festzustellen, die für sich allein nicht so starkes Quellen verursachen. Besonders ausgeprägt war die Synergie bei einer Beschichtung mit geringer Quellbeständigkeit. Die Kombination von Methanol und tert. Butanol führt dagegen zu einer starken Reduzierung der Quellwirkung des Methanols, so dass der Anteil des tert. Butanols in der Prüfflüssigkeit auf 2 Vol.-% festgelegt wurde, wobei die höchstzulässige Dosierung nach den damals geltenden technischen Regeln für Ottokraftstoffe (DIN 51607 und 85/536/EWG) einen Volumenannteil von 7 % zugelassen hätte. Auch die Zugabe von Methyltertiärbutylether (MTBE) reduziert die Quellwirkung von Methanol erheblich, so dass die Integration von MTBE in die Prüfflüssigkeit als nicht gerechtfertigt angesehen wurde.

Hinsichtlich der Versuchstechnik ist aus [11] Folgendes abzuleiten: Es wurden komplette Beschichtungssysteme mit Grund-, Zwischen- und Deckschicht, teilweise auch mit Glasgewebe verstärkt, auf Faserzementplatten aufgetragen. Während der vollständigen Einlagerung dieser beschichteten Prüfplatten drang die Flüssigkeit auch in die quellfähigere Zwischenschicht (rissüberbrückend) ein und bewirkte ein verändertes bzw. beschleunigtes Quellen des Gesamtsystems. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Einlagerung von kompletten Beschichtungssystemen zu versuchstechnischen Problemen führen kann und eher ungünstig ist. Entweder sollte nur die chemikalienbeständige Deckschicht untersucht werden (Einlagerung freier Filme) oder der komplette Beschichtungsaufbau wird praxisgerecht beansprucht, d. h. durch Einwirkung der Prüfflüssigkeit auf die Oberfläche, entsprechend der Zulassungsgrundsätze des DIBt.

Im Ergebnis der Versuche von Sickfeld [9, 10, 11] wurde 1991 die heute eingesetzte Prüfflüssigkeit für Ottokraftstoffe, PF 1, in die Zulassungsgrundsätze für Beschichtungen und Kunststoffbahnen für Auffangwannen aufgenommen. Zuvor kamen folgende Prüfflüssigkeiten für Ottokraftstoffe zum Einsatz, was sich aus den Unterlagen des zuständigen Sachverständigenausschusses (SVA) "Beschichtungen und Kunststoffbahnen" des Deutschen Instituts für Bautechnik, DIBt, ermitteln lässt:

ab 1972: 60 Vol.-% Isooctan,
20 Vol.-% Toluol,
15 Vol.-% Xylol,
5 Vol.-% Benzol;

1988 bis 1991: 50 Vol.-% Toluol,
45 Vol.-% Isooctan,
3 Vol.-% Methanol,
2 Vol.-% tert.-Butanol;

ab 1991: 47,5 Vol.-% Toluol,
30,4 Vol.-% Isooctan,
17,1 Vol.-% n-Heptan,
3 Vol.-% Methanol,
2 Vol.-% tert. Butanol.

Innenbeschichtungen für Kraftstofftanks wurden entsprechend der TRbF 401 bis 2002 mit zwei Flüssigkeiten geprüft, die nachfolgend aufgeführt sind. Im Jahr 2002 wurde die TRbF 401 aufgehoben. Bereits 1989 lag der Vorschlag von Sickfeld [10] für eine neue Prüfflüssigkeit vor. Dieser Vorschlag wurde im Jahr 2000 in die überarbeiteten Zulassungsgrundsätze des DIBt für Innenbeschichtung von Stahlbehältern aufgenommen, die bis dahin nur für nichtbrennbare wassergefährdende Flüssigkeiten galten. Hinzuweisen ist auf eine Besonderheit bei der Prüfung von Innenbeschichtungen: Die Prüfflüssigkeit wird im gleichen Volumenanteil mit Deionat unterschichtet (Simulation der Sumpfphase).

Prüfflüssigkeiten für Innenbeschichtungen von Tanks gemäß TRbF 401 (gültig bis 2002):

FAM-Prüfflüssigkeit DIN 51604-A	DIN ISO 1817 Prüfflüssigkeit C (ASTM D 471 Ref. Fuel C, DIN ISO 1817 PF C)
50 Vol.-% Toluol,	50 Vol.-% Isooctan,
30 Vol.-% Isooctan,	50 Vol.-% Toluol;
15 Vol.-% Diisobutylbenzen,	
2 Vol.-% Ethanol;	

Vorschlag von Sickfeld [10] aus dem Jahr 1989, umgesetzt in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt für Innenbeschichtung von Stahlbehältern im Jahr 2000:

47,5 Vol.-% Toluol,
30,4 Vol.-% Isooctan,
17,1 Vol.-% n-Heptan,
3 Vol.-% Methanol,
2 Vol.-% tert. Butanol.

3.2 Zusammensetzung von Biokraftstoffen und mögliche Referenzflüssigkeiten

3.2.1 Anfragen an Verbände und Forschungseinrichtungen

Mit einem Schreiben wurden die in der Tabelle 3.1 aufgeführten Verbände und Forschungseinrichtungen in Deutschland um Unterstützung bei der Auswahl von Bezugsquellen für Biodiesel und Bioethanol gebeten. Hintergrund war die Feststellung im Rahmen der Beantragung des Forschungsprojektes, dass in Deutschland weit über 50 Anlagen Biokraftstoffe produzieren (vgl. Anlage 6). Die Einbeziehung sämtlicher deutscher Produzenten in die Untersuchungen war folglich nicht möglich. Es musste eine sinnvolle Auswahl getroffen werden. Dementsprechend enthielt das Schreiben folgende zwei Fragen:

1. Besteht die Möglichkeit, eine aktuelle Zusammenstellung der Biodiesel- und Bioethanolproduzenten in Deutschland mit entsprechenden Kontaktdaten für den Bezug von Proben und die zugehörigen Analysen zu erhalten?

2. Können Sie auf der Grundlage einer ggf. Ihnen vorliegenden Datenbank eine Empfehlung hinsichtlich der Biodiesel- und Bioethanolproduzenten geben, die als repräsentative Vertreter für diese Stoffgruppen anzusehen sind und in unsere Untersuchungen einbezogen werden sollten?

Die ausführliche Antwort der UFOP und der AGQM sowie des VDB, deren Mitglied UFOP ist, enthält die Anlage 1. Daraus sind Hinweise auf die zu beachtenden Normen und für mögliche Zusammensetzungen von Prüfflüssigkeiten zu entnehmen.

Der BEE verwies auf den VDB, dessen Antwort das Schreiben der UFOP darstellt.

BBE und FNR antworteten nicht. Hinzuweisen ist dabei auf die umfassende Internetpräsenz der FNR, die zahlreiche Informationen zu Biokraftstoffen und somit auch zum Teil Antworten auf die gestellten Fragen bietet [1, 2, 4, 22].

Einen Schwerpunkt der Arbeit des Instituts für Ökologische und Nachhaltige Chemie der TU Braunschweig bildet die Erforschung neuartiger Methoden zur Biokraftstoffgewinnung. Empfehlungen für Biokraftstoffe der "übernächsten" Generation konnten aufgrund des frühen Stadiums der Grundlagenforschung derzeit nicht ausgesprochen werden. Für derzeit existierende Biokraftstoffkonzepte, welche sich in unterschiedlichen Phasen der Entwicklung befinden, wurden Biodiesel, d. h. Fettsäuremethylester unterschiedlicher pflanzlicher Herkunft und damit chemischer Zusammensetzung, sowie Bioethanol, Biometanol und Biobutanol als relevant eingestuft. Dabei sollten nicht nur die Reinsubstanzen sondern auch "Blends", d. h. Mischungen mit konventionellem Kraftstoff unterschiedlicher Konzentration, untersucht und eine im Zuge des biologischen Abbaus der Kraftstoffe einsetzende Versauerung berücksichtigt werden.

Das Deutsche Biomasseforschungszentrum DBFZ empfahl neben den in den Zulassungsgrundsätzen aufgeführten Herstellern von Biodiesel, ADM Oelmühle Hamburg AG, Werk Leer, und Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH, auch die Produkte der ecoMotion GmbH (Werk Malchin: Biodiesel aus tierischen Fetten, Werk Sternberg: Rapsbasis) und der VERBIO Vereinigte BioEnergie AG (Biodiesel und Bioethanol) einzubeziehen. Ethanolhaltiger Kraftstoff E85 sollte von einer Tankstelle bezogen werden, die im Internet gelistet ist (vgl. Anlage 6).

Tabelle 3.1: Adressen der angefragten Verbände und Forschungseinrichtungen

Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V., AGQM Claire-Waldhoff-Straße 7 10117 Berlin	Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., UFOP Claire-Waldhoff-Str. 7 10117 Berlin
Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V., VDB Am Weidendamm 1 A 10117 Berlin	Bundesverband Erneuerbare Energie e.V., BEE Reinhardtstr. 18 10117 Berlin
Bundesverband BioEnergie e.V., BBE Godesberger Allee 142-148 53175 Bonn	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., FNR Hofplatz 1 18276 Gützkow
Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, DBFZ Bereich "Bioraffinerien" Torgauer Str. 116 04347 Leipzig	Institut für Ökologische und Nachhaltige Chemie Abteilung Nachhaltige Chemie und Energieforschung Technische Universität Braunschweig Hagenring 30 38106 Braunschweig

3.2.2 Normen, Richtlinien, Zulassungsgrundsätze

Die Beschaffenheit von Kraft- und Brennstoffen wird in Deutschland durch die 10. BImSchV vom 08.12.2010 [12] geregelt. Darin sind folgende Normen aufgeführt, aus denen die zulässigen Bestandteile und Eigenschaften hervorgehen:

- Ottokraftstoff DIN EN 228:2008-11 (bis E5) und E DIN 51626-1:2010-11 (E5 und E10),
- Dieselkraftstoff DIN EN 590:2010-05 (bis B7),
- Biodiesel DIN EN 14214:2010-04 (B100),
- Ethanolkraftstoff DIN 51625:2008-08 (E85).

Diese Normen können als Grundlage für die Zusammensetzung von entsprechenden Prüfflüssigkeiten herangezogen werden. In der Anlage 2 sind diese normativen Anforderungen an die Kraftstoffe auszugsweise zusammengestellt.

DIN EN 228 verweist hinsichtlich der Zusammensetzung des beizumischenden Ethanols auf DIN EN 15376, die ebenfalls in der Anlage 2 als Auszug enthalten ist.

Neben der nationalen DIN 51625 für E85 liegt auch eine europäische Norm vor. In der Anlage 2 ist ein Auszug aus der EN 15293 (CEN/TS 15293) integriert.

Anforderungen an Heizöl auf der Basis von Fettsäuremethylester sind in der DIN EN 14213 festgelegt (vgl. Anlage 2). DIN SPEC 51603-6 behandelt Mischungen aus Heizöl EL und Komponenten biogener Herkunft, insbesondere Fettsäuremethylestern (FAME). Nach Information der UFOP besteht zurzeit die Vermutung, dass man sich bei Heizöl auf eine Beimischung von bis zu 20 Vol.-% FAME beschränken und die Anforderungen für diese Beimischung (FAME) aus der DIN EN 14214 übernehmen wird (vgl. Anlage 1). Dementsprechend scheint aus heutiger Sicht keine separate Betrachtung von Prüfflüssigkeiten für Heizöle nach DIN SPEC 51603-6 erforderlich zu sein (Heizöl DIN 51603-6 EL A, Heizöl DIN 51603-6 EL A Bio 5 bis A Bio 100).

Auf europäischer Ebene sind in der Richtlinie 2009/30/EG vom 23. April 2009 [13] Vorgaben für die Zusammensetzung von Otto- und Dieselkraftstoffen enthalten. Die entsprechenden Tabellen enthält die Anlage 3. Für Ottokraftstoff ist ein Anteil von 10 Vol.-% Ethanol (E10) und für Dieselkraftstoff von 7 Vol.-% Fettsäuremethylester (B7) vorgesehen. Weiterhin enthält diese Richtlinie ein Normungsmandat für B10.

In der Anlage 4 sind die Anforderungen an Kraftstoffkomponenten bzw. Kraftstoffe mit Biokomponenten in den USA zusammengestellt. Für Biodiesel (B100) gilt ASTM D 6751, für Gemische aus Dieselkraftstoff mit bis zu 20 % Biodiesel (B6 - B20) ASTM D 7467 und für Ethanol als Kraftstoffkomponente ASTM D 4806 sowie für Ethanolkraftstoff (E75 - E85) ASTM 5798.

Resultierend aus der Richtlinie 2003/30/EG vom 8. Mai 2003 und der 10. BImSchV vom 24.06.2004 wurden im Jahr 2004 Prüfflüssigkeiten (PF) für Dieselkraftstoff mit Biodieselanteilen und für Ottokraftstoff mit Bioethanol in die Zulassungsgrundsätze des DIBt aufgenommen.

Für Dieselkraftstoff mit Biodieselanteilen waren dies die Mediengruppe 3a für Gemische mit maximal 5 Vol.-% und die Mediengruppe 3b für Gemische mit maximal 20 Vol.-% Biodiesel (vgl. dazu auch Anlage 7). Zu diesem Zeitpunkt war bereits seit 2002 eine Mediengruppe für Biodiesel (PF 7b) Bestandteil der Zulassungsgrundsätze. Die Prüfflüssigkeit dieser Mediengruppe PF 7b, Rapsölfettsäuremethylester (RME), kann alternativ von zwei Herstellern in Deutschland bezogen werden. Zur Herstellung der Prüf-

flüssigkeiten für die Mediengruppen PF 3a und 3b wird die Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817 mit RME entsprechend der Mediengruppe PF 7b gemischt.

2004 wurde die Mediengruppe PF 1a für Ottokraftstoffe mit bis zu 20 Vol.-% Bioethanol geschaffen. Als Prüfflüssigkeit dient hierbei die FAM-Prüfflüssigkeit DIN 51604-B, bestehend aus 84,5 Vol.-% FAM-Prüfflüssigkeit DIN 51604-A mit 15 Vol.-% Methanol und 0,5 Vol.-% Wasser. Die FAM-Prüfflüssigkeit DIN 51604-C wurde aufgrund des hohen Methanolgehaltes von 58 Vol.-% nicht in Betracht gezogen. Diese dient als Prüfflüssigkeit für eine methanolhaltige Unterphase von alkoholhaltigen Ottokraftstoffen, die bei einer Phasentrennung infolge von Feuchtigkeit und/oder Lagerung bei tiefen Temperaturen entstehen kann.

Systematische Untersuchungen zur Überprüfung dieser Ergänzungen in den Listen der Prüfflüssigkeiten (PF 1a, 3a, 3b, 7b) in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt erfolgten bisher nicht.

In der DIN ISO 1817 sind weitere standardisierte Referenzflüssigkeiten für Kraftstoffe mit Alkoholen enthalten. Neben der FAM-Prüfflüssigkeit DIN 51604-B, die in DIN ISO 1817 als Prüfflüssigkeit 2 geführt wird, sind dies die Prüfflüssigkeiten 1, 3 und 4 (vgl. Anlage 5, Tabelle 1b). Zu beachten ist, dass die Prüfflüssigkeit 1 der FAM-Prüfflüssigkeit DIN 51604-A entspricht und die Prüfflüssigkeiten 3 und 4 auf der Prüfflüssigkeit C nach DIN ISO 1817 basieren (vgl. Anlage 5, Tabelle 1a). Die Prüfflüssigkeit C, bestehend aus 50 Vol.-% Toluol und 50 Vol.-% Isooctan, ist auch als Standard (reference fuel) für Ottokraftstoff nach SAE J 1681 bzw. ASTM D 471 bekannt. Somit enthalten die Prüfflüssigkeiten 3 und 4 nach DIN ISO 1817 eine andere Basis für den Anteil an Ottokraftstoff ohne sauerstoffhaltige Verbindungen. Weder die Prüfflüssigkeit 1 (FAM-Prüfflüssigkeit DIN 51604-A) noch die Prüfflüssigkeit C wurden für die Prüfung von Beschichtungen und Kunststoffbahnen nach den Zulassungsgrundsätzen des DIBt bisher eingesetzt (vgl. dazu Abschnitt 3.1). Dementsprechend wurden die Prüfflüssigkeiten 1, 3 und 4 nach DIN ISO 1817 nicht in die vorliegenden Untersuchungen einbezogen.

Auf der Grundlage von SAE J1681 sind folgende Komponenten zur Herstellung von Biokraftstoff-Prüfflüssigkeiten zu verwenden:

- synthetisches Ethanol als Ethanolkomponente für Ottokraftstoffe, in einer Zusammensetzung gemäß Anhang C zu SAE J1681, der z. B. mit dem ASTM-Referenzkraftstoff C für die Motorenprüfung (50 Vol.-% Toluol + 50 Vol.-% Isooctan, jeweils p.a. Qualität) gemischt werden kann (vgl. Anlage 5, Tabellen 2 und 3).
- Rapsmethylester und Sojamethylester als repräsentative Pflanzenölmethylester (Biodiesel) nach Anhang C zu SAE J1681, entsprechend der Rohstoffbasis in den USA (vgl. Anlage 5, Tabellen 4 und 5).

Als Bezugsquelle wird für alle in SAE J1681 (vgl. Anlage 5, Tabellen 2 - 5) angegebenen Stoffe der Chemikalien- und Laborhandel benannt.

Aus der Literatur ergeben sich weitere Hinweise auf mögliche Zusammensetzungen für Prüfflüssigkeiten. So verwendete Scholz [14] in seinen Untersuchungen zum Korrosionsverhalten von metallischen Werkstoffen und Beschichtungen in Kraftstoffen folgende Prüfkraftstoffe für Motoren (vgl. Anlage 5, Tabellen 6 und 7):

- CEC RF-08-A-85, gemischt mit wasserfreiem Ethanol, zur Herstellung von Ottokraftstoff-Prüfflüssigkeiten mit 5 Vol.-% bzw. 10 Vol.-% Ethanol (E5, E10) und

- CEC RF-06-03, gemischt mit Rapsölmethylester (RME) und Sojamethylester (SME) der Ölmühle Connemann, Leer, zur Herstellung von Dieselkraftstoff-Prüfflüssigkeiten mit 5 Vol.-% bzw. 20 Vol.-% Biodieselanteil.

Für Untersuchungen zur Beständigkeit von PE mit verschiedenen Stabilisatoren [15] wurde als Prüfflüssigkeit für Biodiesel folgendes Gemisch eingesetzt: Rapsölmethylester (Connediesel ME 6020) mit Zugabe von 0,3 ml/l Glycerin, 5 ml/l Ölsäure und 2,7 ml/l Wasser. Die Lagerungstemperatur betrug 90 °C.

Weitere Hinweise zur Zusammensetzung von Prüfflüssigkeiten finden sich im Abschnitt 2.2 für Biodiesel und im Abschnitt 2.3 für Bioethanol. In diesen Abschnitten des vorliegenden Berichtes ist die ausgewertete Literatur zu den eingesetzten Rohstoffen, den Herstellungsverfahren und den Eigenschaften von Biodiesel und Bioethanol zusammengestellt.

3.3 Untersuchungen zur Beständigkeit von Kunststoffen gegenüber Biokraftstoffen

Die einschlägige Grundlagenliteratur zur Beständigkeit von Kunststoffen [5, 6] bietet praktisch keine Informationen zur Wirkung von Fettsäuremethylestern bzw. Biodiesel oder Mischungen dieser Stoffe mit Dieselkraftstoff. Ebenso sind keine Informationen zur Wirkung von Ottokraftstoffen mit einem Ethanolannteil ab 5 % verfügbar.

Connemann [24] weist 1994 darauf hin, dass nicht alle bis dahin verwendeten Elastomere bei üblicher Betriebstemperatur hinreichend oder gar voll beständig gegen Biodiesel sind. Im praktischen Betrieb ("viele tausende Fahrzeuge mit Biodiesel") wurden damals nur wenige Probleme bekannt, die auf eine mangelnde Beständigkeit gegenüber Biodiesel zurückzuführen wären.

In einer umfassenden Studie zum Einsatz von Biokraftstoffen [3] wird 2002 zur Beständigkeit von Elastomeren Folgendes ausgeführt: Fettsäuremethylester besitzen andere Lösungseigenschaften als Kraftstoffe aus Kohlenwasserstoffen auf fossiler Basis (Dieselkraftstoff) und Mischungen verhalten sich nicht immer linear. Insbesondere Natur- und Butylgummiarten sind empfindlich. Bei Nitrilkautschuk war die Wirkung unterschiedlich. Neben Proben aus Nitrilkautschuk, die quollen und erweichten, wurden andere auch härter und spröder. Fluorkautschuke werden als beständig gegenüber Biodiesel eingestuft. Kommen Elastomere mit alkoholhaltigen Kraftstoffen in Kontakt, so quellen manche stark auf. Der Angriff wird dabei auf Peroxide zurückgeführt, die infolge der Oxidation der Alkohole zu Carbonsäuren gebildet werden.

Ziel umfassender Untersuchungen, die 2009 veröffentlicht wurden [17], war es, Aussagen zur Beständigkeit von verschiedenen Kunststoffen gegenüber von Mischungen aus Heizöl EL mit biogenen Komponenten zu erhalten. Dieses Ziel resultierte aus der Feststellung, dass verfügbare Beständigkeitstabellen sowie die CAMPUS-Datenbank keine bzw. nur sehr geringe Informationen zu Wechselwirkungen zwischen Kunststoffen und Kraft- bzw. Brennstoffen mit biogenen Komponenten enthalten. Insbesondere waren auch nur wenige Informationen über die Beständigkeit der in Ölheizanlagen verbauten sicherheitstechnisch relevanten Kunststoffe verfügbar. Dementsprechend erfolgten entsprechende Untersuchungen mit Einlagerungen von Kunststoffproben über 24 Monate. Als Untersuchungsmethoden kamen zur Anwendung: Masseänderung, TGA, DSC, IR, Zugversuche, Härte, Schlagzähigkeit, Mikroskopie. Folgende Kunststoffe wurden untersucht: PA, PE, CA, NBR, FKM, PVC, GFK, EP, PUR, NBR-H, NBR-X, POM.

Die Zusammensetzungen der sieben eingesetzten Flüssigkeiten gliederte sich wie folgt: 100 % Heizöl EL Standard, 90 % Heizöl EL Standard + 10 % Sojaöl, 100 % Sojaöl, 100 % Heizöl EL schwefelarm, 95 %

Heizöl EL schwefelarm + 5 % Fettsäuremethylester (FAME), 80 % Heizöl EL schwefelarm + 20 % FAME, 100 % FAME. Hinweise zur Zusammensetzung des verwendeten FAME sind in [17] nicht enthalten.

Für die Kunststoffe EP, PUR, PE und PVC wurden die im Folgenden grob umrissenen Ergebnisse erzielt: EP-Harze (drei Typen) nahmen keine bzw. nur sehr geringe Mengen der Flüssigkeiten auf. Bei zwei Typen stieg die Härte an, wobei an einem Typ auch Risse auftraten. Bei PUR, das ebenfalls mit drei Typen in die Untersuchungen einbezogen war, zeigten sich geringe Massenzunahmen, die Härte nahm deutlich ab und an der Oberfläche traten Schäden auf. PE nahm bis zu 6,5 Masse-% Heizöl EL und bis zu 4 Masse-% FAME aber kein Sojaöl auf, die Härte sank entsprechend der beobachteten Quellung und der E-Modul stieg an. PVC zeigte eine Masseabnahme, was auf das Herauslösen von Bestandteilen hinweist, die Härte stieg innerhalb der ersten Wochen der Einlagerung an und blieb danach konstant. Aus dem Anstieg der Bruchspannung und dem Absinken der Bruchdehnung wird eine Versprödung des PVC abgeleitet.

Ergebnisse von Untersuchungen an Kunststoffen, die in Leichflüssigkeitsabscheidern zum Einsatz kommen, sind in [18] dargestellt. Insgesamt wurden sieben verschiedene Kunststoffdichtungen (u. a. NBR, PTFE, FKM, CSM) und zwei EP-Beschichtungen einbezogen. Die Einlagerung erfolgte zunächst über 1.000 Stunden und wurde danach bis zu einem Jahr fortgesetzt.

Folgende Flüssigkeiten fanden Verwendung: 100 % Heizöl EL, 5 Vol.-% Biodiesel (Rapsölmethylester, RME) + 95 Vol.-% Heizöl EL, 20 Vol.-% RME + 80 Vol.-% Heizöl EL, 60 Vol.-% RME + 40 Vol.-% Heizöl EL, 100 % RME. Hinsichtlich des verwendeten Heizöls EL wird im Bericht auf DIN ISO 8217 ("Marinediesel") verwiesen, was nach DIN EN 858-1, Abs. 8.1.4.1, vorgeschrieben ist, aber nach DIN 1999-101 ausgeschlossen und dort durch Heizöl EL nach DIN 51603-1 bzw. Diesel nach DIN EN 590 ersetzt wird. Alle aufgeführten Kraftstoffmischungen wurden in entsprechenden Becken jeweils mit Wasser unterschichtet (Abscheider), und zwar im Verhältnis 9 Teile Wasser und 1 Teil Kraftstoffgemisch. Folglich war jeweils nur ein schmaler Streifen der Proben unmittelbar dem jeweiligen Kraftstoffgemisch ausgesetzt. Der pH-Wert der wässrigen Phase unter 100 % Heizöl EL sowie den Mischungen mit 5 und 20 Vol.-% RME lag bei ca. 6,5. In der wässrigen Phase unter der Mischung mit 60 Vol.-% RME wurden pH-Werte im Bereich von 3,5 bis 4 und unter 100 % RME zwischen 3,4 bis 4 gemessen, was auf eine erhebliche Säurebeanspruchung bei Mischungen mit hohem Biodieselanteil, die mit Wasser im Kontakt stehen, hinweist.

Bei den EP-Beschichtungen, die jeweils auf Beton und Stahlblech aufgetragen waren, zeigte sich bei allen Flüssigkeiten tendenziell eine geringfügige Verringerung der Härte, und zwar unabhängig vom Anteil an Biodiesel (RME). Nach der Einlagerung entstanden bei einer Beschichtung auf Stahlblech Blasen.

Die Dichtungen unterlagen zum Teil erheblichen Veränderungen. Die Masse und das Volumen nahm zu und die Härte nahm ab. Die größten Veränderungen bewirkte häufig der reine Biodiesel (100 % RME). Als beständig gegen Biodiesel wurden PTFE, NBR und FKM eingestuft, CSM dagegen als unbeständig.

Neben der Frage der Beständigkeit von Kunststoffen gegenüber Biodiesel wird auch die gezielte Anwendung von Biodiesel bei der Herstellung von Kunststoffen diskutiert. In [16] sind Ergebnisse von Untersuchungen zum Einsatz bei der PVC-Streich- und Kalanderbeschichtung dargestellt. Biodiesel (RME) diente hierbei als teilweiser Ersatzstoff für Weichmacher auf der Basis von Phthalsäureestern bzw. Chlorparaffinen. Es wird eingeschätzt, dass ein anteiliger Ersatz herkömmlicher Weichmacher durch RME bis zu einem Anteil von 30 % möglich ist. Die so hergestellten PVC-Bahnen erfüllten im Wesentlichen die Anforderungen hinsichtlich der Verarbeitung und der Qualität der Endprodukte.

4 Untersuchungen

4.1 Konzeption

Die in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt festgelegten Prüfflüssigkeiten für Biokraftstoffe bzw. Kraftstoffe mit Biokomponenten (PF 1, 1a, 3a, 3b und 7b) wurden bisher keiner kritischen Bewertung unterzogen. Weder wurde ihre Wirkung auf verschiedene Kunststoffe eingehender untersucht noch die gewählten Zusammensetzungen systematisch überprüft. Weiterhin fehlen auch Untersuchungen, in denen diese Prüfflüssigkeiten mit entsprechenden Handelsprodukten verglichen wurden, z. B. nach der im Abschnitt 3.1 beschriebenen Systematik. Die getroffenen Entscheidungen zur Aufnahme von Prüfflüssigkeiten für Biokraftstoffe bzw. Kraftstoffe mit Biokomponenten in die Zulassungsgrundsätze des DIBt basierten praktisch ausschließlich auf den in den Jahren 2002 bzw. 2004 vorhandenen Erfahrungen der Mitglieder des Sachverständigenausschusses (SVA) "Beschichtungen und Kunststoffbahnen" (vgl. Abschnitt 3.2.2).

Um den Erfahrungshintergrund für die vorhandenen Prüfflüssigkeiten für Biokraftstoffe bzw. Kraftstoffe mit Biokomponenten zu erweitern und Ansätze für die Beurteilung neuer Biokraftstoffsorten zu schaffen, wurde das Vorhaben in mehrere Forschungsabschnitte gegliedert. Im Einzelnen waren folgende Aufgaben zu bearbeiten:

- Aufstellen der relevanten Biokraftstoffe, möglicher Varietäten und der daraus hergestellten Kraftstoffgemische, einschließlich gültiger Spezifikationen, sowie Erstellung eines Prüfplanes mit den Gruppen der zu untersuchenden Kraftstoffprüfflüssigkeiten, der Prüfmethoden und der zu bewertenden Kriterien;
- Auswahl von zwei Beschichtungssystemen (EP, PUR) und zwei Kunststoffbahnen (PE-HD, PVC-P) in Abstimmung mit dem DIBt, Abteilung II Referat 6, sowie dem beratenden Sachverständigenausschuss "Beschichtungen und Kunststoffbahnen";
- Charakterisierung der ausgewählten Biokraftstoffe;
- Einlagerung (Quellversuche) von zwei Beschichtungssystemen (jeweils 132 Einzelproben) in jeweils 43 Flüssigkeiten (Biokraftstoffe und Gemische mit Biokraftstoffen, vorhandene Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze des DIBt und potenzielle Prüfflüssigkeiten);
- Auswahl und Einengung der Prüfflüssigkeiten für die weiteren Versuche;
- Beständigkeitsprüfungen unter einem Überdruck von 1 bar an zwei Beschichtungssystemen (EP, PUR) gemäß den Zulassungsgrundsätzen des DIBt [5] mit jeweils 20 Flüssigkeiten (jeweils 40 Druckversuche);
- Einlagerung (Quellversuche) von zwei Kunststoffbahnen (jeweils 54 Einzelproben) in jeweils 18 Flüssigkeiten;
- Auswertung, Gegenüberstellung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die Zulassungspraxis.

Eine wesentliche Aufgabe innerhalb des Vorhabens bestand darin, die zu untersuchenden Flüssigkeiten auszuwählen. Diese Auswahl erfolgte unter der Zielstellung, anhand der Versuchsergebnisse, Antworten auf folgende Fragen herausarbeiten zu können:

1. Eignen sich die bereits in den Zulassungsgrundsätzen verankerten Prüfflüssigkeiten für Biokraftstoffe, um die Wirkung (Quellen, Härteänderung) der am Markt verfügbaren Biokraftstoffe oder Mischungen von Biokraftstoffen mit Diesel- oder Ottokraftstoff auf Kunststoffe zu bewerten?

Hinsichtlich der hier verwendeten Begriffe ist darauf hinzuweisen, dass mit Diesel- oder Ottokraftstoff stets herkömmliche Kraftstoffe auf der Basis fossiler Rohstoffe (Erdöle) bezeichnet werden.

2. Können Prüfflüssigkeiten von Mediengruppen, die herkömmliche Kraftstoffe, Kohlenwasserstoffe, Alkohole oder Ester und Ketone repräsentieren, auch für die Beurteilung der Wirkung von Biokraftstoffen oder Mischungen von Biokraftstoffen mit Diesel- oder Ottokraftstoff auf Kunststoffe dienen?
3. Unterscheidet sich die Wirkung von Biokraftstoffen verschiedener Hersteller hinsichtlich der Wirkung auf Kunststoffe?
4. Welchen Einfluss haben jahreszeitlich bedingte Unterschiede in der Zusammensetzung der Biokraftstoffe hinsichtlich der Wirkung auf Kunststoffe?
5. Unterscheiden sich Proben von einem Hersteller, die von verschiedenen Abfüllstellen stammen?

Denkbar sind in diesem Zusammenhang Verunreinigungen mit anderen Kraftstoffen im Tankfahrzeug oder an der Tankstelle und Alterungsprozesse. Dementsprechend wurden für je einen Biodiesel und einen E85 neben den Proben vom jeweiligen Hersteller auch Proben von einer Tankstelle untersucht.

6. Verändert sich die Wirkung des Biodiesels auf Kunststoffe infolge der Alterung?

Um dieser Frage nachzugehen, wurde eine Versuchsserie konzipiert, in der ein "normal" gealterter Biodiesel, zwei künstlich gealterte Biodiesel und vier künstlich gealterte Mischungen von Biodiesel mit Diesel (5 und 20 Vol.-% Biodieselanteil) einbezogen waren.

7. Welche Möglichkeiten oder Ansätze bestehen, um Prüfflüssigkeiten zu formulieren, die die Wirkung der Biokraftstoffe und der Mischungen von Biokraftstoffen mit Diesel- oder Ottokraftstoff korrekt abbilden?

Grundlagen für die Anpassung, Änderung oder Erweiterung der Liste der Prüfflüssigkeiten sind die gesetzlichen Regelungen in der 10. BlmSchV vom 8. Dezember 2010 [12] in Verbindung mit der EU-Richtlinie 2009/30/EG [13] sowie Erkenntnisse aus entsprechenden Untersuchungen und Festlegungen in Regelwerken (vgl. Abschnitt 3). Ein anderer wesentlicher Aspekt ist, dass chemisch eindeutig definierte Flüssigkeiten zur Zubereitung der Prüfflüssigkeiten eingesetzt werden sollten. Werden Handelsprodukte bestimmter Hersteller verwendet, so unterliegen diese dennoch Schwankungen in der Zusammensetzung. Diese Schwankungen können aus Folgendem resultieren: der Wahl des Herstellers (Biodiesel kann aus zwei Werken bezogen werden), der bezogenen Charge (Rohstoffbasis), der jahreszeitlich verschiedenen Zusammensetzung (Sommer- oder Winterware) und der Lagerungsdauer sowie den Lagerungsbedingungen (Alterung, Verunreinigung, Wasseraufnahme).

Eine weitere Aufgabe bestand in der Auswahl von repräsentativen Kunststoffen, die für den Gewässerschutz zugelassen sind. In Abstimmung mit dem DIBt, Abteilung II Referat 6, wurden zwei Beschichtungssysteme und zwei Dichtungsbahnen (Kunststoffbahnen), jeweils mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) für den Einsatz in Auffangwannen von LAU-Anlagen, für die Untersuchungen festgelegt.

Dieser Auswahl lag der Gedanke zugrunde, dass anhand von Werkstoffen mit deutlich verschiedener Beständigkeit gegenüber wassergefährdenden Flüssigkeiten das Wirkungsspektrum der zu untersuchenden Kraftstoffgemische und der entsprechender Prüfflüssigkeiten sichtbar wird. Die Beständigkeit der ausgewählten Produkte sollte in etwa das Leistungsspektrum der zugelassenen Beschichtungssysteme und Kunststoffbahnen für den Einsatz in LAU-Anlagen abgrenzen. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass nicht die Prüfung der Beständigkeit der ausgewählten Werkstoffe gegenüber von Biokraftstoffen das Ziel der vorliegenden Arbeit war, sondern die Verifizierung entsprechender Referenzflüssigkeiten. Dementsprechend wurden auch Einlagerungs- und Druckversuche mit Flüssigkeiten durchgeführt, für die bekannt war, dass einzelne der einbezogenen Kunststoffe unbeständig sind. Entsprechend des o. g. Ziels wurde damit überprüft, ob die Wirkung der vorhandenen oder potenziellen Prüfflüssigkeiten der der Handels- bzw. Kraftstoffproben entsprach.

4.2 Prüfflüssigkeiten und Kraftstoffproben

4.2.1 Zusammensetzung und Herkunft

Den Ausgangspunkt für die Untersuchungen bildete die Liste der Prüfflüssigkeiten (PF) in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt. Ausgewählt wurden die Prüfflüssigkeiten der Mediengruppen, die für herkömmliche Kraftstoffe, Kohlenwasserstoffe, Alkohole und Ester sowie für Kraftstoffe mit Biokomponenten und für Biodiesel einzusetzen sind. Eine Zusammenstellung der neun in die Untersuchungen einbezogenen Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze enthält Anlage 7, Tabelle 1.

Neben diesen Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze wurden Biokraftstoffproben verschiedener Hersteller (vgl. Anlage 6, Tabellen 1 und 2), Biokraftstoffproben von Tankstellen (vgl. Anlage 6, Tabelle 3), Diesel- und Ottokraftstoffproben und potenziell neue Prüfflüssigkeiten in die Untersuchungen einbezogen. Eine komplette Übersicht dieser Flüssigkeiten enthält Anlage 7, Tabellen 2 und 3. Bei der Auswahl der Proben von Herstellern wurden die im Abschnitt 3.2.1 zusammengefassten Hinweise, die sich aus den Anfragen an Verbände und Forschungseinrichtungen ergaben, berücksichtigt. Tankstellen wurden im Raum Karlsruhe/Rastatt/Pforzheim so ausgewählt, dass der an der Tankstelle angebotene Kraftstoff von unterschiedlichen Herstellern stammte.

In der Anlage 7, Tabelle 2, sind die ausgewählten **Biodiesel und Gemische mit Biodiesel** enthalten. Angaben zur Zusammensetzung und zu den Kennwerten der Biodiesel sind in der Anlage 7, Tabellen 4 bis 13, zusammengestellt.

Sämtliche Biodiesel und Gemische mit Biodiesel, die in der Anlage 7, Tabelle 2, zusammengestellt sind, wurden für die Einlagerungen der Beschichtungssysteme (EP, PUR) bei Atmosphärendruck eingesetzt. Für die Einlagerungen der Proben von Kunststoffbahnen (PE-HD, PVC-P) in die Flüssigkeiten bei Atmosphärendruck und die Druckversuche (Überdruck 1 bar) an beschichteten Grundkörpern (EP, PUR) wurden die in der Anlage 7 rot markierten Prüfflüssigkeiten und Kraftstoffproben verwendet. Im Überblick gliedern sich die 23 ausgewählten Biodiesel und Gemische mit Biodiesel wie folgt:

- 8 Biodiesel von 6 Produzenten und 2 Tankstellen,
- 1 Biodiesel, der aus einer älteren Charge stammte und im Labor über 1,5 Jahre lagerte,
- 2 Gemische mit 5 Vol.-% Biodiesel (PF 3a),
- 2 Gemische mit 20 Vol.-% Biodiesel (PF 3b),
- 2 Diesel B7 von Tankstellen,
- 2 künstlich gealterte Biodiesel (PF 7b),

- 2 künstlich gealterte Gemische mit 5 Vol.-% Biodiesel (PF 3a),
- 2 künstlich gealterte Gemische mit 20 Vol.-% Biodiesel (PF 3b),
- 2 mögliche Zusammensetzungen für eine neue Prüfflüssigkeit PF B100, basierend auf den Vorgaben in DIN EN 14214:2010-04.

Zur Herstellung der Prüfflüssigkeiten 3a, 3b und 7b der Zulassungsgrundsätze des DIBt muss Rapsölfettsäuremethylester (RME) von einem der zwei benannten Hersteller verwendet werden. Proben beider Hersteller wurden in die Untersuchungen einbezogen, und zwar RME (Sommerqualität) gemäß EN 14214 von den Firmen ADM Oelmühle Hamburg AG, Werk Leer, 26789 Leer, Sägemühlenstrasse 45, und Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH, 39126 Magdeburg, Am Hansehafen 8.

Die auf den Vorgaben der DIN EN 14214 und DIN EN 590 (vgl. Anlage 2) basierende Zusammensetzung für eine potenzielle Prüfflüssigkeit PF B100 enthält Tabelle 4.1. Bestandteil der Untersuchungen war auch der als Basisflüssigkeit für PF B100 dienende Ölsäuremethylester (Methyloleat) in unstabilisierter Form.

Um gealterten Biodiesel für die Untersuchungen bereit zu stellen, wurde eine ältere Biodieselcharge eingesetzt (Alter: 1,5 Jahre, Lagerung im halbvollen 10 l Kunststoffkanister bei 23 °C) und zwei frische Proben künstlich gealtert (Biodiesel aus den Werken Leer und Magdeburg). Die künstliche Alterung der Prüfflüssigkeiten 3a, 3b und 7b erfolgte durch folgendes Verfahren: offene Bechergläser mit den Flüssigkeiten (3a L und M, 3b L und M, 7b L und M) lagerten 12 Wochen bei 55 °C im Wärmeschrank und danach weitere 6 Wochen bei 23 °C unter Einwirkung von Tageslicht im Laborraum. Während dieser Zeit wurden die Flüssigkeiten gerührt. Den Zustand der Flüssigkeiten nach dieser Prozedur zeigt Bild 4.1. Bei beiden Flüssigkeiten mit 20 Vol.-% Biodiesel (3b L und M) setzte während der 12 Wochen bei 55 °C eine Trübung ein, die sich in den folgenden 6 Wochen bei 23 °C verstärkte. Im Anschluss an die 18-wöchige Alterung begann die Einlagerung der Beschichtungsproben.

Tabelle 4.1: Potenzielle Prüfflüssigkeiten für Biodiesel

Zeichen	Bezugsquelle	Rohstoff, Spezifikation
PF B100 pur	Sigma-Aldrich Chemie GmbH	Ölsäuremethylester, techn. 70 %, ohne Zusatz von BHT, Katalog Nr. 268038, Preis ca. 40 € pro 1 Liter
PF B100	Sigma-Aldrich Chemie GmbH Carl Roth GmbH + Co. KG	1. Zugabe von BHT zum Ölsäuremethylester, techn. 70 %, sofort nach der Lieferung, vgl. DIN EN 590, Abs. 5.3: 1000 mg Butylhydroxytoluol (2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol) auf 1 kg Ölsäuremethylester, techn. 70 % 2. Mischung von Komponenten basierend auf DIN EN 14214, Tab.1: 98,3 Masse-% stabilisierter (BHT) Ölsäuremethylester, techn. 70 % 0,2 Masse-% Methanol, 99,9 % 1,2 Masse-% Ölsäure, 90 % 0,25 Masse-% Glycerin, 99 % 0,05 Masse-% Wasser



Bild 4.1: Künstlich gealterte Flüssigkeiten (3a M, 3b M, 7b M) nach 12 Wochen bei 55 °C und 6 Wochen bei 23 °C unter Einwirkung von Tageslicht, erkennbar ist die ausgeprägte Trübung bei 3b M, die ebenso bei 3b L auftrat (hier nicht dargestellt)

Die Trübung bei den beiden PF 3b ist auf polymere Bestandteile des gealterten Biodiesels zurückzuführen (vgl. Abschnitt 2.2.3), die in Dieselkraftstoff bzw. hier in der Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817 unlöslich sind. Im reinen Biodiesel (PF 7b) sind diese Alterungsprodukte gelöst, vgl. dazu [38]. Dementsprechend wiesen die gealterten Proben der PF 7b keine Trübung auf. In der PF 3a ist der Biodieselanteil mit 5 Vol.-% offenbar zu gering, um eine mit bloßem Auge wahrnehmbare Trübung zu bewirken.

Die für die Untersuchungen eingesetzten **Bioethanolproben und Gemische von Bioethanol mit Ottokraftstoff** enthält Anlage 7, Tabelle 3. Angaben zur Zusammensetzung und zu den Kennwerten sind in der Anlage 7, Tabellen 14 bis 19, zusammengestellt.

Sämtliche Bioethanolproben und Gemische von Bioethanol mit Ottokraftstoff, die in der Anlage 7, Tabelle 3, zusammengestellt sind, wurden für die Einlagerungen der Beschichtungssysteme (EP, PUR) bei Atmosphärendruck eingesetzt. Für die Einlagerungen der Proben von Kunststoffbahnen (PE-HD, PVC-P) in Flüssigkeiten bei Atmosphärendruck und die Druckversuche (Überdruck 1 bar) an beschichteten Grundkörpern (EP, PUR) wurden die in der Anlage 7 rot markierten Prüfflüssigkeiten und Kraftstoffproben verwendet. Insgesamt waren folgende 11 Flüssigkeiten einbezogen:

- 2 Bioethanolproben von Herstellern,
- Ethanol, ≥ 99,8 %,
- 3 Ethanolkraftstoffe E85 von 2 Tankstellen und einem Hersteller,
- 1 Super E5 von der Tankstelle,
- 4 mögliche Zusammensetzungen für neue Prüfflüssigkeiten,
PF E100, basierend auf der Vorgabe in DIN EN 15376,
PF E85 Sommer und PF E85 Winter, basierend auf den Vorgaben in DIN 51625,
PF E10, basierend auf den Vorgaben in DIN 51626-1.

Eine Zusammenstellung der potenziellen Prüfflüssigkeiten für Bioethanol als Beimischung (PF E100), Ethanolkraftstoff (PF E85) und Superkraftstoff E10 (PF E10), die auf den Vorgaben in den Normen DIN EN 15376, DIN 51625 und E DIN 51626-1 basieren, enthält Tabelle 4.2. Bei der PF E85 wurden die Grenzwerte der Zusammensetzungen für die Klasse A (Sommer) und die Klasse B (Winter) nach DIN 51625, Tabelle 2, einbezogen. Die maßgebenden Anforderungen zur Zusammensetzung der Kraftstoffe aus den genannten Normen enthält Anlage 2.

Als Prüfflüssigkeit für die Mediengruppe PF 1a (Ottokraftstoff mit bis zu 20 Vol.-% Bioethanol) dient die FAM Prüfflüssigkeit DIN 51604-B, bestehend aus 84,5 Vol.-% FAM-Prüfflüssigkeit DIN 51604-A mit 15 Vol.-% Methanol und 0,5 Vol.-% Wasser. Diese wird in der DIN ISO 1817 als Prüfflüssigkeit 2 geführt. Grundsätzlich kann auf die Prüfflüssigkeiten 1, 3 und 4 (vgl. Anlage 5, Tabelle 1b) der DIN ISO 1817 bei der Auswahl von Referenzflüssigkeiten für Kraftstoffe mit Alkoholanteilen zurückgegriffen werden. Im vorliegenden Fall wurde aber der Ansatz verfolgt, die gut dokumentierte Entwicklung der Zusammensetzung der PF 1 der Zulassungsgrundsätze zu nutzen, und diese mit entsprechenden Ethanolanteilen zu mischen (vgl. Abschnitt 3.1).

Tabelle 4.2: Potenzielle Prüfflüssigkeiten für Bioethanol und Gemische aus Bioethanol und Ottokraftstoff

Zeichen	Bezugsquelle	Rohstoff, Spezifikation
PF E100	Carl Roth GmbH + Co. KG	Komponenten basierend auf DIN EN 15376, Tab.1: 98,7 Masse-% Ethanol, ≥ 99,8 % 1,0 Masse-% Methanol, 99,9 % 0,007 Masse-% Essigsäure, 100 % 0,293 Masse-% Wasser
PF E85S	Carl Roth GmbH + Co. KG	Komponenten basierend auf DIN 51625, Tab. 2 (Sommer): 86 Vol.-% PF E100 14 Vol.-% PF 1 gem. ZG DIBt (PF 1: vgl. Anlage 7, Tabelle 1)
PF E85W	Carl Roth GmbH + Co. KG	Komponenten basierend auf DIN 51625, Tab. 2 (Winter): 70 Vol.-% PF E100 30 Vol.-% PF 1 gem. ZG DIBt (PF 1: vgl. Anlage 7, Tabelle 1)
PF E10	Carl Roth GmbH + Co. KG	Komponenten basierend auf DIN 51626-1, Tab. 1: 10 Vol.-% PF E100 90 Vol.-% PF 1 gem. ZG DIBt (PF 1: vgl. Anlage 7, Tabelle 1)

4.2.2 Charakterisierung, Kennwerte und Analysen

Zur Charakterisierung der Flüssigkeiten wurden folgende Kennwerte bei 20 °C bestimmt:

- Dichte (Aräometer),
- dynamische Viskosität (Kugelfallviskosimeter),
- Oberflächenspannung (Stalagmometer nach TRAUBE).

In der nachfolgenden Tabelle 4.3 sind die ermittelten Kennwerte zusammengestellt. Die Angaben für Methanol (PF 5a) und Ethanol stammen aus dem Tabellenwerk Landolt-Börnstein [48].

Tabelle 4.3: Dichte, dynamische Viskosität und Oberflächenspannung der untersuchten Flüssigkeiten (Doppelbestimmungen), Erklärung der Zeichen (erste Spalte) und der Zusammensetzungen in Anlage 7, Tabellen 1 bis 3

Zeichen	Dichte [g/ml]	dynamische Viskosität [mPa s]	Oberflächenspannung [mN/m]
PF 1	0,7765	0,514	n.b.
PF 1a	0,7855	0,602	n.b.
PF 3	0,8165	2,546	27,48
PF 3a L	0,8170	2,632	27,30
PF 3a M	0,8170	2,646	27,32
PF 3b L	0,8275	2,931	27,65
PF 3b M	0,8280	2,949	27,28
PF 4	0,880	0,675	28,5
PF 5	0,799	1,175	n.b.
PF 5a	0,790	0,58	22,6
PF 5b	0,799	1,754	n.b.
PF 7	0,846	0,528	n.b.
PF 7a	1,107	2,297	n.b.
PF 7b M	0,8775	5,921	28,95
PF 7b M-09	0,8790	6,798	28,98
PF 7b L	0,8770	5,878	28,12
BD-2	0,8775	6,821	29,34
BD-5	0,8770	6,232	29,07
BD-7	0,8775	6,614	28,72
EM-RME	0,8785	5,467	28,56
EM-FME	0,8715	5,156	28,78
C-RME	0,8780	6,502	29,62
PF B100 pur	0,8740	6,394	29,29
PF B100	0,8730	6,500	29,31
N-E100	0,7850	1,245	21,78
V-E100	0,7850	1,226	21,82
Ethanol	0,79	1,20	22,3
E85-1	0,7759	1,058	21,89
E85-6	0,7750	1,077	21,90
E85-8	0,7796	1,146	21,84
PF E100	0,7880	1,240	22,03
PF E85S	0,7850	1,111	21,90
PF E85W	0,7825	0,973	21,55
PF E10	0,7745	0,547	24,62

Für die Kraftstoffproben der verschiedenen Hersteller wurden Analysenzertifikate angefordert. Darin sind die Kennwerte und Eigenschaften der Proben den Anforderungen der jeweiligen Kraftstoffnorm gegenübergestellt. Die übersandten Unterlagen enthält Anlage 7, Tabellen 4 bis 22.

Die Zusammensetzung der Bioethanolproben (Nedalco und Verbio) und des Methyloleats, techn. 70 %, das für die Herstellung einer potenziellen Prüfflüssigkeit für Biodiesel diente, wurde mittels Gaschromatographie und Massenselektivdetektion (GC-MSD) bestimmt. Für die Analyse der Bioethanolproben diente das Verfahren nach DIN EN 15721 und für die Bestimmung der Art und Anteile der Fettsäureester des Methyloleats das Verfahren nach DIN EN 14103. Die Ergebnisse sind in der Anlage 7, Tabellen 23 (Bioethanolproben) und 24 (Methyloleat, techn. 70 %) dargestellt.

Des Weiteren wurden an folgenden Kraftstoffen IR-Spektren (ATR, Reflexionselement Diamant) aufgenommen:

- Biodiesel,
- Gemischen aus Dieselkraftstoff bzw. der Prüfflüssigkeit F nach ISO 1817 und Biodiesel,
- Ottokraftstoffe bzw. entsprechenden Prüfflüssigkeiten,
- Gemischen mit Bioethanol.

Die IR-Spektren sind in der Anlage 7, Bilder 1 bis 3, dargestellt.

Die Thermogravimetrie (TG, DTG) an zwei Biodieseln (EM-RME und EM-FME) mit unterschiedlicher Rohstoffbasis (Rapsöl, Tierfett) lieferte keine Ergebnisse (vgl. Anlage 7, Bild 4), die zur Differenzierung von Biodieseln genutzt werden können. Die gewonnenen Ergebnisse stimmen mit den Angaben aus der Literatur überein (vgl. Abschnitt 2.2.2).

4.3 Ausgewählte Beschichtungen und Kunststoffbahnen, Probenherstellung

Anhand der ausgewählten Beschichtungen auf der Basis von Epoxidharz (EP) und Polyurethan (PUR), die sich in der Beständigkeit gegenüber wassergefährdenden Flüssigkeiten deutlich unterscheiden, sollte das Wirkungsspektrum der zu untersuchenden Kraftstoffgemische und der Prüfflüssigkeiten sichtbar werden. Das Produkt auf der Basis von Epoxidharz ist in der Beanspruchungsstufe "hoch" nach DWA A 786 gegenüber nahezu allen Mediengruppen der Zulassungsgrundsätze für Beschichtungssysteme für Beton in LAU-Anlagen des DIBt einsetzbar. Dies sind im Einzelnen: 1, 1a, 2, 3, 3a, 3b, 4, 4a, 4b, 4c, 5, 5a, 5b, 6, (6a nein), 6b, 7, 7a, 7b, 8, (8a nein), 9, (9a nein), 10, 11, 12, 13, 14, (15 nein) und 15a. Bei dem Produkt auf der Basis von Polyurethan sind in der Zulassung (abZ) folgende Mediengruppen aufgeführt: 3, 3a, 3b, 4, 4a, 4c, 5, 5b, 7b, 8, 9, 10, 11, 12, 14. Hinsichtlich der Beständigkeit grenzen damit die ausgewählten Produkte in etwa das Leistungsspektrum der zugelassenen Beschichtungssysteme für den Einsatz in Auffangwannen von LAU-Anlagen ab. Von den Beschichtungssystemen wurde jeweils nur die Deckschicht, die für den Kontakt mit wassergefährdenden Flüssigkeiten bestimmt ist, für die Untersuchungen eingesetzt.

Die Auswahl der Kunststoffbahnen erfolgte ebenfalls unter dem Gesichtspunkt, dass deutliche Unterschiede in der Beständigkeit der Kunststoffe bestehen. Für die Bahn auf der Basis von PE-HD umfasst die Zulassung (abZ) sämtliche Mediengruppen der Zulassungsgrundsätze für Dichtungsbahnen in LAU-Anlagen des DIBt in der Beanspruchungsstufe "hoch" nach DWA A 786. Entsprechend der Zulassung ist die Bahn auf der Basis PVC-P für die folgenden Mediengruppen verwendbar: 3, 3a, 3b, 4c, 8, 10, 12.

Aus den Beschichtungskomponenten (Harz, Härter) wurden im Labor Proben mit einem Durchmesser von 60 mm und einer Dicke von ca. 2,1 mm hergestellt. Zur Fertigung dieser Probengeometrie dienten Formen aus Silikonkautschuk, wodurch auf ein Trennmittel verzichtet werden konnte (vgl. Bild 4.2). Um eine gleichmäßige Probengeometrie sicherzustellen, war die in die Form eingewogene flüssige Beschichtungsmasse stets einheitlich (EP: $9,00 \pm 0,20$ g, $\rho = 1,48$ g/cm³; PUR: $7,00 \pm 0,20$ g, $\rho = 1,11$ g/cm³). Nach dem Füllen der Formen wurden diese 2 Minuten unter Vakuum (Wasserstrahlpumpe) gelagert, um Lufteinschlüsse aus dem Beschichtungsfilm zu entfernen. Nach einer Härtungsphase von ca. 24 Stunden bei 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte wurden die Proben aus den Formen entnommen und wie folgt bis zum Beginn der Flüssigkeitsbeanspruchung (Quellversuche) gelagert: 6 Tage bei 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte,

7 Tage bei 40 °C und anschließend 7 Tage bei 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte (insgesamt 21 Tage). Diese Lagerung entspricht der Verfahrensweise zur Probenherstellung in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt.

Härtemessungen im Anschluss an die Lagerung über 21 Tage ergaben für die unbeanspruchte Beschichtung auf Basis EP eine Shore D-Härte von 80 und die unbeanspruchte Beschichtung auf Basis PUR eine Shore D-Härte von 49. Dichtebestimmungen an den gehärteten Proben ergaben für die Beschichtung auf Basis EP einen Mittelwert von 1,488 g/cm³ ($s = 0,032 \text{ g/cm}^3$) und für die Beschichtung auf Basis PUR einen Mittelwert von 1,127 g/cm³ ($s = 0,004 \text{ g/cm}^3$).

Für die Druckversuche wurden die Beschichtungen auf Faserzementplatten mit den Abmessungen von 300 mm x 200 mm x 6 mm aufgetragen, wobei die Beschichtungsdicke einheitlich ca. 2,8 mm betrug. Die Beschichtungsmasse je Faserzementplatte war auch hierbei stets einheitlich (EP: $250,00 \pm 1,00 \text{ g}$, $\rho = 1,48 \text{ g/cm}^3$; PUR: $190,00 \pm 1,00 \text{ g}$, $\rho = 1,11 \text{ g/cm}^3$). Bis zum Beginn der Druckversuche lagerten die Proben entsprechend der Zulassungsgrundsätze des DIBt für Beschichtungssysteme, Abschnitt 4.3, wiederum wie folgt: 7 Tage bei 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte, 7 Tage bei 40 °C und anschließend 7 Tage bei 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte.

Härtemessungen an diesen Prüfkörpern (beschichtete Faserzementplatten) im Anschluss an die Lagerung über 21 Tage ergaben für die unbeanspruchte Beschichtung auf Basis EP eine Shore D-Härte von 86 und die unbeanspruchte Beschichtung auf Basis PUR eine Shore D-Härte von 56.

Aus den glatten Kunststoffbahnen (Dicke 2 mm) wurden Proben mit einem Durchmesser von 60 mm ausgestanzt. Bis zum Beginn der Flüssigkeitsbeanspruchung (Quellversuche) wurden diese bei 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchte gelagert.

Die Shore D-Härte der unbeanspruchten Kunststoffbahn auf der Basis von PE-HD betrug 56 und die Dichte 0,943 g/cm³ ($s = 0,003 \text{ g/cm}^3$).

Bei der unbeanspruchten Kunststoffbahn auf der Basis von PVC-P wurde die Shore A-Härte mit 81 bestimmt. Die Dichte betrug 1,307 g/cm³ ($s = 0,002 \text{ g/cm}^3$).



Bild 4.2:
Herstellung der Proben aus den Beschichtungsstoffen

im Vordergrund:
Lagerung der gefüllten Formen nach der Herstellung (abgedeckt) auf einem Abgleichtisch (exakt waagerechte Ausrichtung) bis zum Alter von ca. 24 Stunden, um eine gleichmäßige Schichtdicke sicherzustellen

im Hintergrund:
Exsikkator mit Proben nach der Vakuumlagerung (Entlüftung)

4.4 Einlagerung von Beschichtungen und Kunststoffbahnen

4.4.1 Durchführung

Die Einlagerung aller Proben (EP, PUR, PE-HD, PVC-P) erfolgte auf der Grundlage der DIN ISO 1817, Abschnitt 3.1, in Glasschalen auf Abstandshaltern aus Glas unter Atmosphärendruck. Das Volumen der Flüssigkeit betrug das 19-fache des Volumens der jeweils drei Proben (Vorgabe in DIN ISO 1817: mindestens 15faches Probenvolumen). Die Einlagerung in die Flüssigkeiten erstreckte sich einheitlich über 28 Tage bei 23 °C. Im Anschluss daran lagerten die Proben 28 Tage bei 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte (Rücktrocknung). Den Arbeitsplatz für die Durchführung der Versuche zeigt Bild 4.3 und die Probenlageung Bild 4.4.



Bild 4.3: Arbeitsplatz für die Einlagerung im Klimaraum bei 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte,
Bildmitte: Digestorium für Flüssigkeiten mit hoher Verdunstungsrate

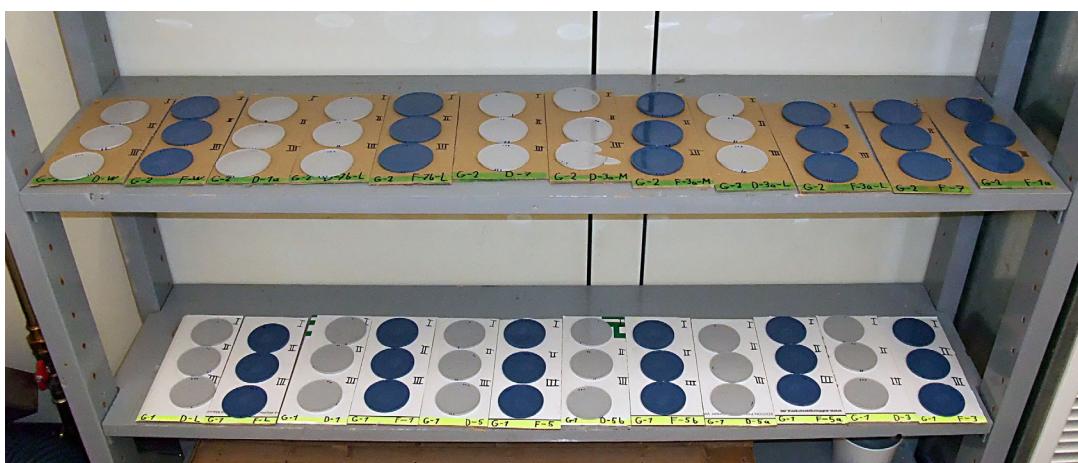


Bild 4.4: Proben nach der Einlagerung im Klima 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte (Rücktrocknung)

Während der Einlagerung und der Rücktrocknung wurden die Masse und das Volumen entsprechend DIN ISO 1817:2008-08, Abschnitte 7.1, 7.2, 7.3 bestimmt. Härtemessungen (Shore A und D mit einer Messdauer von 3 s) erfolgten nach DIN 53505 im Anschluss an die Einlagerung, d. h. während der Lagerung bei 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte (Rücktrocknung). Bei den Messungen wurden die drei Proben entsprechend DIN 53505, Abschnitt 6.1, geschichtet, um die Anforderung hinsichtlich der Dicke der Probekörper nach dieser Norm sicherzustellen.

Die gewählten Kriterien orientieren sich an dem Bewertungssystem, das für Beschichtungssysteme im Rahmen von Zulassungsverfahren angewandt wird, und das in der Tabelle 4.4 dargestellt ist. Beurteilt wird dabei die Beständigkeit anhand zulässiger Änderungen von Kennwerten im Anschluss an die Beanspruchung mit der Prüfflüssigkeit. Ausreichende Beständigkeit ist gegeben, wenn sich das Beschichtungssystem infolge der Einwirkung der Flüssigkeit nicht an- oder auflöst und der unbeanspruchte Zustand nach maximal 7 Tagen Lagerung bei 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte (Rücktrocknung) nahezu wieder erreicht wird. Im Rahmen des Untersuchungsprogramms wurde der Beobachtungszeitraum nach der Beanspruchung mit den Flüssigkeiten auf 28 Tage ausgedehnt, um insbesondere die Wirkung von Flüssigkeiten mit geringer Verdunstungsrate, wie Biodiesel und entsprechende Gemische, aufzuzeigen.

Tabelle 4.4: Kriterien zur Beurteilung der Eigenschaften von Beschichtungssystemen nach Lagerung, Medienbeaufschlagung und Rekonditionierung, Auszug aus den Zulassungsgrundsätzen des DIBt für Beschichtungssysteme

Beurteilungskriterien	1. nach Mindesthärtungszeit (optional)	2. nach Lagerung über 6 Monate	3. nach Lagerung über 2 Jahre
Charakterisierung	Erscheinungsbild		
Glanz	visuell zu beschreiben		
Farbe	visuell zu beschreiben ggf. nach Farbtabelle		
Haftung	visuell zu beschreiben		
Eigenschaften	zulässige Abweichungen****		
Prüfungen	nach 1 Stunde	nach 24 Stunden	nach 7 Tagen
Haftfestigkeit***	– 50%	– 25%	– 15%
Härte**	– 50%	– 25%	– 10%
Eindruckwiderstand**	– 50%	– 25%	– 10%
Dickenänderung	± 50%	± 25%	± 10%
Blasengrad (m/g)*	2/2*	1/1*	0/0
Rissbildung	keine	keine	keine

* beständig soweit die Dichtheit gewährleistet ist

: befahrbare Beschichtungssysteme dürfen keine Blasenbildung aufweisen!

** alternativ Härte oder Eindruckwiderstand in Abhängigkeit des Beschichtungssystems

*** Prüfung soweit ein Einfluss vermutet wird und diese möglich ist

**** maximal zulässige Abweichungen nach maximal zulässiger Rücktrocknungsdauer (Rekonditionierung) von 7 Tagen, soweit dies nicht bereits vorher eingehalten bzw. erreicht werden (direkt nach Beaufschlagung (1 Stunde) oder 24 Stunden)

4.4.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Einlagerungen von Beschichtungen auf der Basis von EP und PUR sind in der Anlage 8 zusammengefasst. Durchgeführt wurden diese Einlagerungen im Jahr 2010. Dargestellt sind in der Anlage 8 die Mittelwerte der Masse-, Volumen- und Härteänderungen der Prüfserien mit jeweils drei Proben in Übersichten für Flüssigkeiten, anhand derer ein Vergleich der Ergebnisse ermöglicht werden soll. Gegliedert wurden die Darstellungen in die nachfolgend aufgeführten Gruppen von vergleichbaren Flüssigkeiten:

- Anlage 8, Bild 1: Biodiesel (7b M, 7b M-09, 7b L, EM-RME, EM-FME, BD-2, BD-5, BD-7, C-RME), gealterter Biodiesel (7b M alt, 7b L alt) und potenzielle Prüfflüssigkeiten für Biodiesel (PF B100 pur, PF B100);
- Anlage 8, Bild 2: Prüfflüssigkeiten PF 7 und PF 7a, Ester und Ketone; die Ergebnisse wurden aufgrund des höheren Quellens als bei Biodiesel und der damit erforderlichen Skalierung der Ordinate getrennt dargestellt;
- Anlage 8, Bild 3: Gemische aus Dieselkraftstoff und Biodiesel (3a L, 3a M, 3b L, 3b M, Shell B7, Aral B7), gealterte Gemische aus Dieselkraftstoff und Biodiesel (3a L alt, 3a M alt, 3b L alt, 3b M alt) und Prüfflüssigkeit PF 3;
- Anlage 8, Bild 4: Bioethanol (N-E100, V-E100), Ethanol, Prüfflüssigkeiten PF 5, PF 5a, PF 5b und eine potenzielle Prüfflüssigkeit für Bioethanol PF E100;
- Anlage 8, Bild 5: Gemische aus Ottokraftstoff und Bioethanol (E85-1 Sommer, E85-6 Sommer, E85-8 Sommer, Shell E5), Prüfflüssigkeiten PF 1, PF 1a, PF 4 und potenzielle Prüfflüssigkeiten für Ethanolkraftstoff (PF E85 W, PF E85 S) sowie ein Gemisch aus Ottokraftstoff mit 10 % Bioethanol (PF E10).

Erläuterungen zu den verwendeten Abkürzungen bei den Bezeichnungen der Flüssigkeiten sind der Anlage 7, Tabellen 1 bis 3, zu entnehmen.

Der in den folgenden Grafiken und der Anlage 8 jeweils dargestellte Zeitraum bis zum Alter von 77 Tagen gliedert sich bei den Beschichtungen wie folgt:

- 0 bis 21. Tag: Härtung (7 Tage 23 °C, 50 % r. F., 7 Tage 40 °C, 7 Tage 23 °C, 50 % r. L.),
- 22. bis 49. Tag: 28 Tage Einlagerung in die Flüssigkeit,
- 50. bis 77. Tag: 28 Tage Rücktrocknung bei 23 °C, 50 % r. F.

Exemplarisch für die Darstellungen in der Anlage 8 zeigen die Bilder 4.5 und 4.6 die Masse- und die Härteänderungen der Beschichtung auf der Basis PUR für die Gruppe Biodiesel und die Bilder 4.7 und 4.8 die Masse- und die Härteänderungen der Beschichtung auf der Basis EP für die Gruppe der Gemische aus Ottokraftstoff und Bioethanol (Mittelwerte der Serien mit drei Proben).

Sämtliche Einzelwerte der Masse-, Volumen- und Härteänderungen aller Proben sind getrennt nach Prüfflüssigkeiten, einschließlich der Referenzserien in Luft (23 °C, 50 % rel. Feuchte) und Wasser (23 °C), in der Anlage 11 für die EP-Beschichtung und in der Anlage 12 für die PUR-Beschichtung zusammengestellt (je Beschichtung: 4 Ergebnisdarstellungen x 43 Flüssigkeiten sowie Vergleichslagerungen in Wasser und Luft = 180 Grafiken).

Proben, in denen sich infolge der Einwirkung von Flüssigkeiten Risse entwickelten, zeigen die Bilder 4.9 und 4.10.

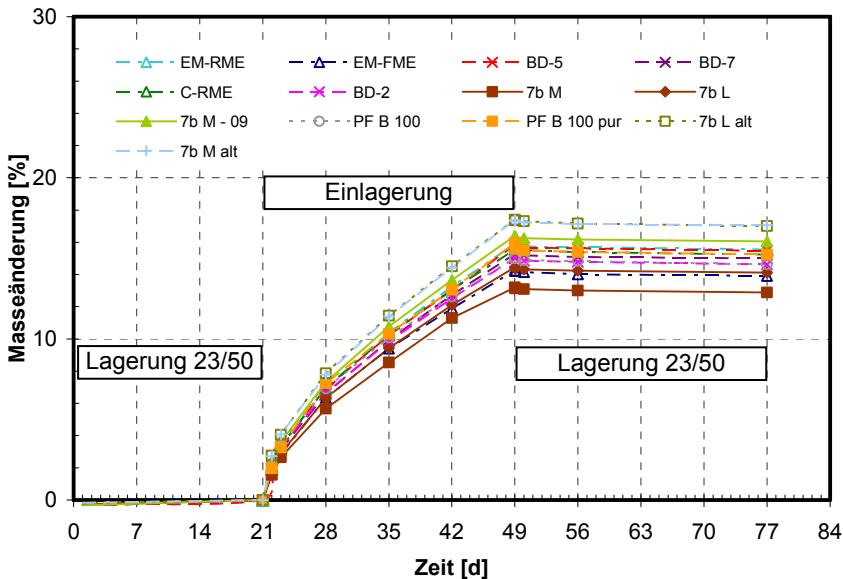


Bild 4.5: Masseänderung vor, während und nach den Einlagerungen der PUR-Beschichtung in Biodiesel (7b M, 7b M-09, 7b L, EM-RME, EM-FME, BD-2, BD-5, BD-7, C-RME), gealterten Biodiesel (7b M alt, 7b L alt) und zwei potenzielle Prüfflüssigkeiten für Biodiesel (PF B100 pur, PF B100)

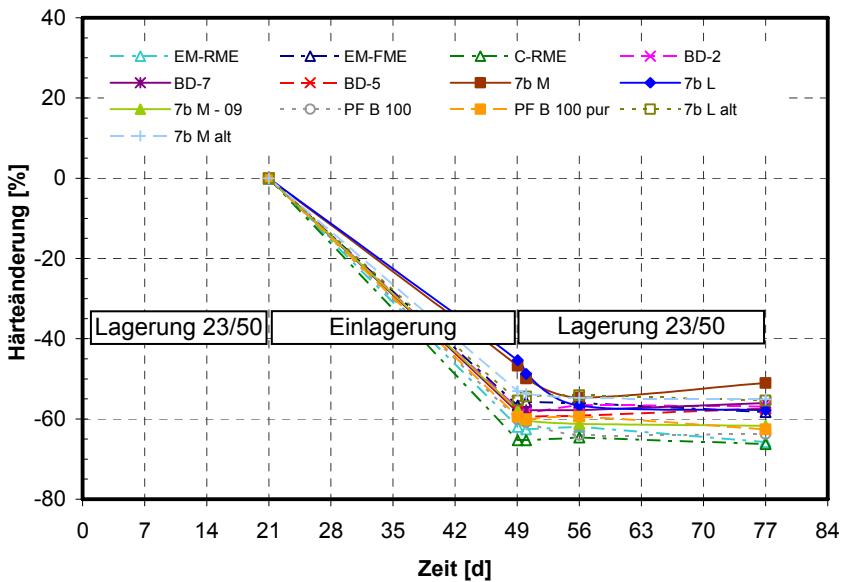


Bild 4.6: Härteänderung (Shore D) im Anschluss an die Einlagerungen der PUR-Beschichtung in Biodiesel (7b M, 7b M-09, 7b L, EM-RME, EM-FME, BD-2, BD-5, BD-7, C-RME), gealterten Biodiesel (7b M alt, 7b L alt) und zwei potenzielle Prüfflüssigkeiten für Biodiesel (PF B100 pur, PF B100)

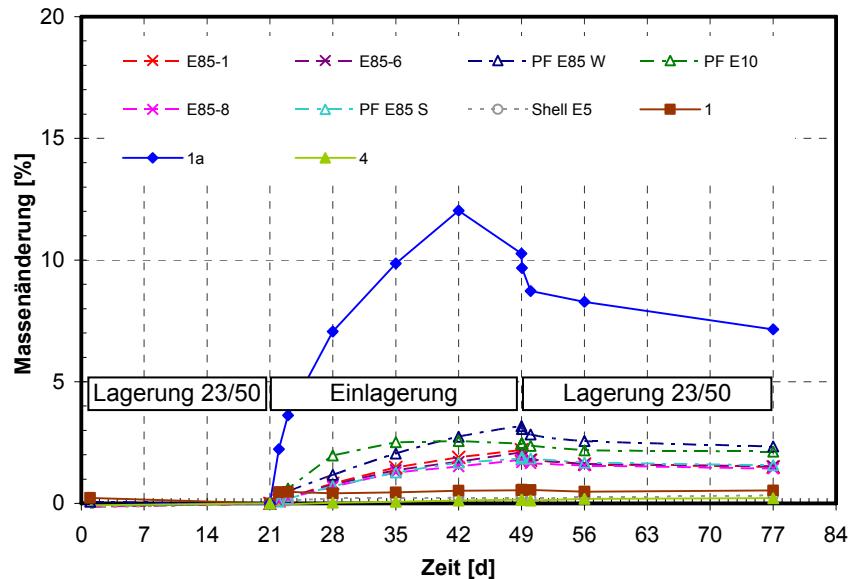


Bild 4.7: Masseänderung vor, während und nach den Einlagerungen der EP-Beschichtung in Gemische aus Ottokraftstoff und Bioethanol (E85-1 Sommer, E85-6 Sommer, E85-8 Sommer, Shell E5), Prüfflüssigkeiten PF 1, PF 1a, PF 4 sowie potenzielle Prüfflüssigkeiten für Ethanolkraftstoff (PF E85 W, PF E85 S) und ein Gemisch aus Ottokraftstoff mit 10 % Bioethanol (PF E10)

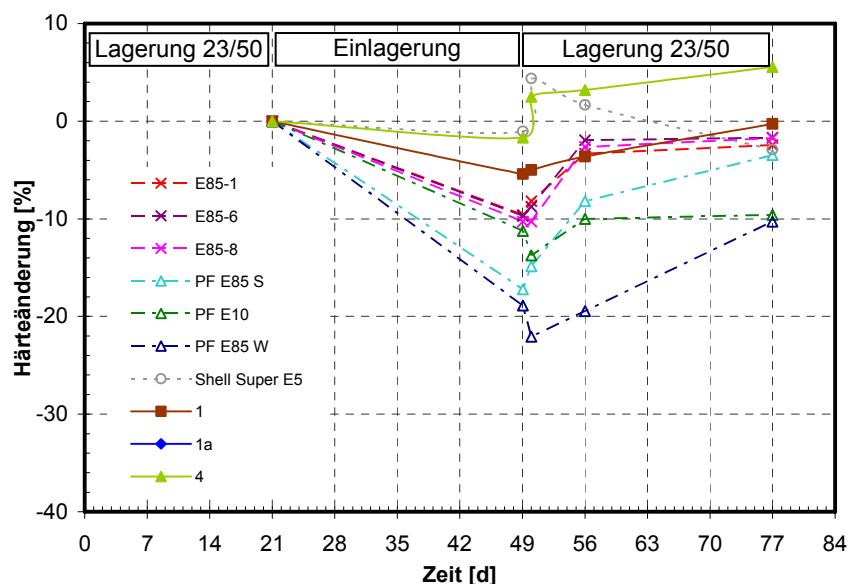
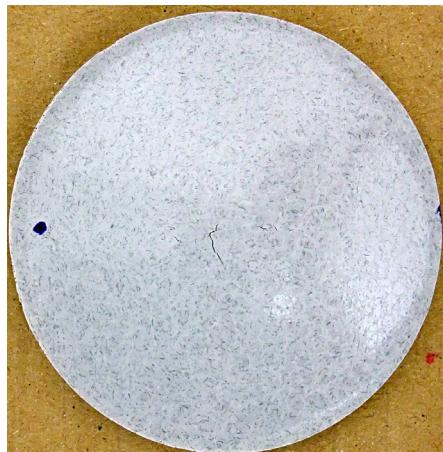


Bild 4.8: Härteänderung (Shore D) im Anschluss an die Einlagerungen der EP-Beschichtung in Gemische aus Ottokraftstoff und Bioethanol (E85-1 Sommer, E85-6 Sommer, E85-8 Sommer, Shell E5), Prüfflüssigkeiten PF 1, PF 1a, PF 4 sowie potenzielle Prüfflüssigkeiten für Ethanolkraftstoff (PF E85 W, PF E85 S) und ein Gemisch aus Ottokraftstoff mit 10 % Bioethanol (PF E10)



PF 1a



PF 5a

Bild 4.9: Rissentwicklungen infolge der Einlagerungen der EP-Beschichtung in die Prüfflüssigkeiten 1a und 5a der Zulassungsgrundsätze des DIBt

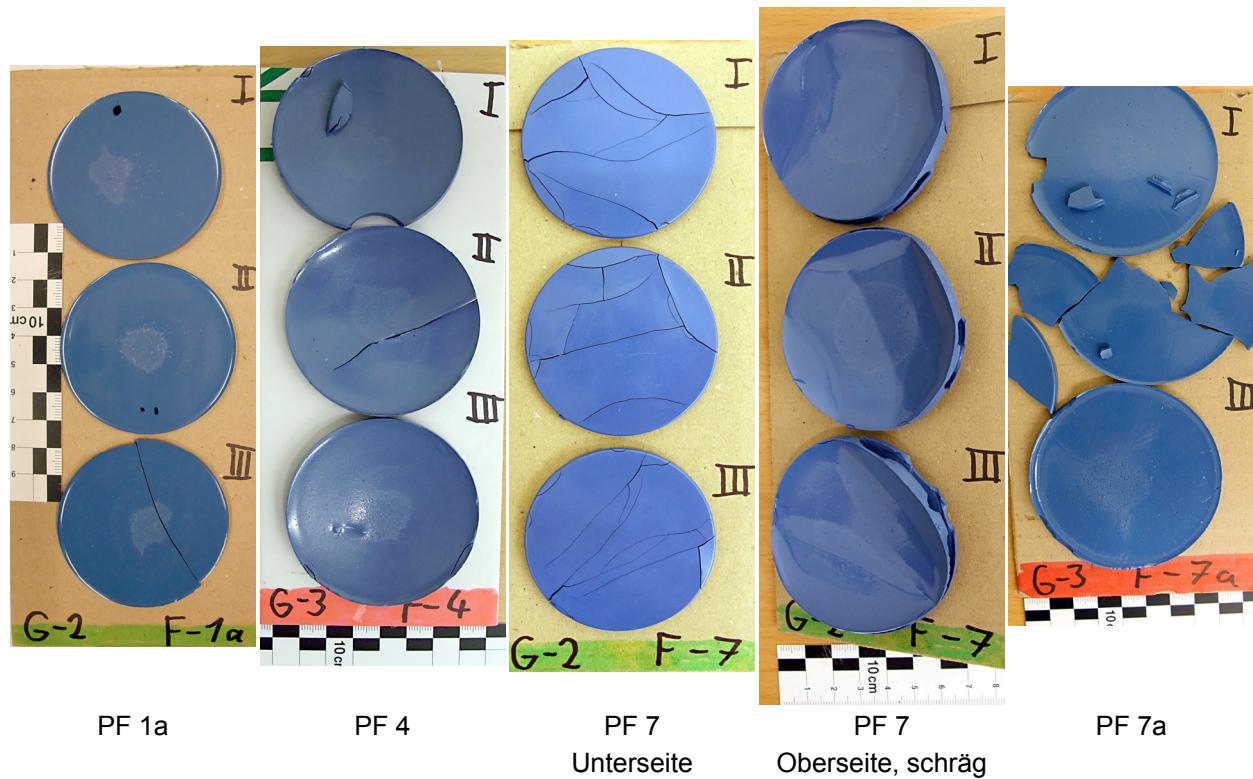


Bild 4.10: Rissentwicklungen infolge der Einlagerungen der PUR-Beschichtung in die Prüfflüssigkeiten 1, 4, 7 und 7a der Zulassungsgrundsätze des DIBt

Die Ergebnisse sämtlicher Einlagerungen der Kunststoffbahnen aus PE-HD und PVC-P sind in der Anlage 9 zusammengefasst. Diese Untersuchungen erfolgten im Jahr 2011 mit einer reduzierten Anzahl von Flüssigkeiten. Grundlage für die Reduzierung der Flüssigkeiten waren die Ergebnisse, die bei den Einlagerungen der Beschichtungen gewonnen wurden. So zeigte sich z. B. bei den untersuchten Biodieselproben, dass nur geringe Unterschiede in der Wirkung festzustellen waren. Des Weiteren wurde auf einige Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze des DIBt verzichtet, da hier keine neuen Erkenntnisse zu erwarten waren. Weiterhin wurden die potenziellen Prüfflüssigkeiten auf PF B100 und PF E85 W eingegrenzt.

Dargestellt sind in der Anlage 9 wiederum die Mittelwerte der Masse-, Volumen- und Härteänderungen der Prüfserien mit jeweils drei Proben in Übersichten für Flüssigkeiten, anhand derer ein Vergleich der Ergebnisse ermöglicht werden soll. Zusammengefasst wurden in den Darstellungen nachfolgend aufgeführte Gruppen von vergleichbaren Flüssigkeiten:

- Anlage 9, Bild 1: Biodiesel (7b M, 7b L, BD-2) und eine potenzielle Prüfflüssigkeit für Biodiesel (PF B100);
- Anlage 9, Bild 2: Gemische aus Dieselkraftstoff und Biodiesel (3a L, 3a M, 3b L, 3b M) und Prüfflüssigkeit PF 3;
- Anlage 9, Bild 3: Bioethanol (N-E100, V-E100), Ethanol und eine potenzielle Prüfflüssigkeit für Bioethanol PF E100;
- Anlage 9, Bild 4: Gemisch aus Ottokraftstoff und Bioethanol (E85-6 Winter), Prüfflüssigkeiten PF 1 und PF 1a, potenzielle Prüfflüssigkeiten für Ethanolkraftstoff (PF E85 W) und Gemische aus Ottokraftstoff mit 10 % Bioethanol (PF E10).

Erläuterungen zu den verwendeten Abkürzungen bei den Bezeichnungen der Flüssigkeiten sind der Anlage 7, Tabellen 1 bis 3, zu entnehmen.

Der in den folgenden Grafiken und der Anlage 9 jeweils dargestellte Zeitraum bis zum 56. Tag gliedert sich bei den Kunststoffbahnen wie folgt:

- ohne Darstellung: Lagerung bei 23 °C, 50 % r. F.,
- 0 bis 28. Tag: 28 Tage Einlagerung in die Flüssigkeit,
- 29. bis 56. Tag: 28 Tage Rücktrocknung bei 23 °C, 50 % r. F.

Exemplarisch für die Darstellungen in der Anlage 9 zeigen die Bilder 4.11 und 4.12 die Masse- und die Härteänderungen der Kunststoffbahn aus PVC-P für die Gruppe der Biodiesel und die Bilder 4.13 und 4.14 die Masse- und die Härteänderungen der Kunststoffbahn aus PE-HD für die Gruppe der Gemische aus Ottokraftstoff und Bioethanol (Mittelwerte der Prüfserien).

Sämtliche Einzelwerte der Masse-, Volumen- und Härteänderungen aller Proben sind getrennt nach Prüfflüssigkeiten in der Anlage 13 für die Kunststoffbahn aus PE-HD und in der Anlage 14 für die Kunststoffbahn aus PVC-P zusammengestellt (je Kunststoffbahn: 4 Ergebnisdarstellungen x 18 Flüssigkeiten = 72 Grafiken).

Rissbildungen infolge der Einlagerungen traten bei den Kunststoffbahnen nicht auf.

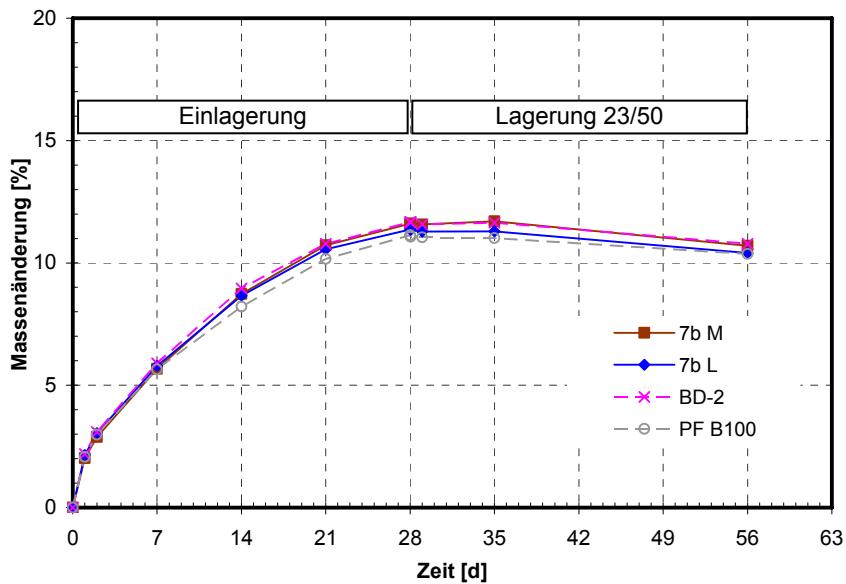


Bild 4.11: Masseänderung während und nach den Einlagerungen der Kunststoffbahn aus PVC-P in Biodiesel (7b M, 7b L, BD-2) und eine potenzielle Prüfflüssigkeit für Biodiesel (PF B100)

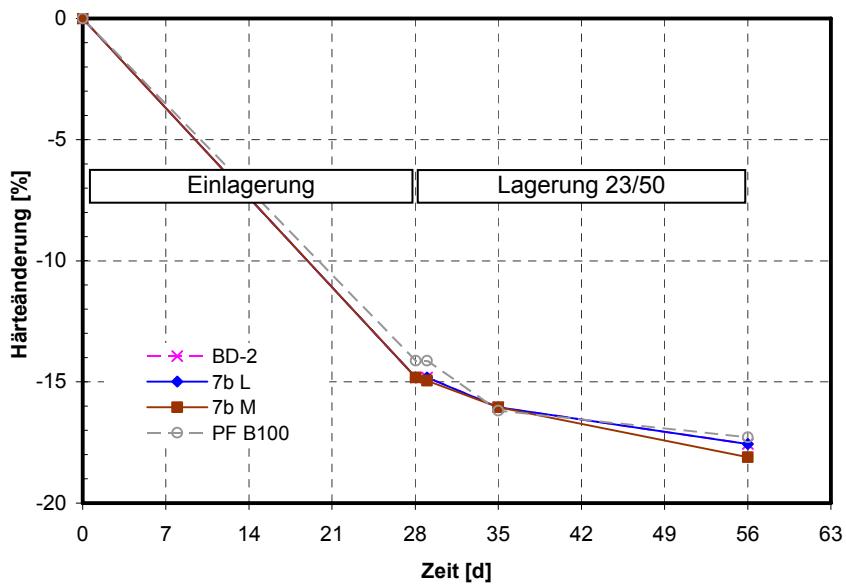


Bild 4.12: Härteänderung (Shore A) nach den Einlagerungen der Kunststoffbahn aus PVC-P in Biodiesel (7b M, 7b L, BD-2) und eine potenzielle Prüfflüssigkeit für Biodiesel (PF B100)

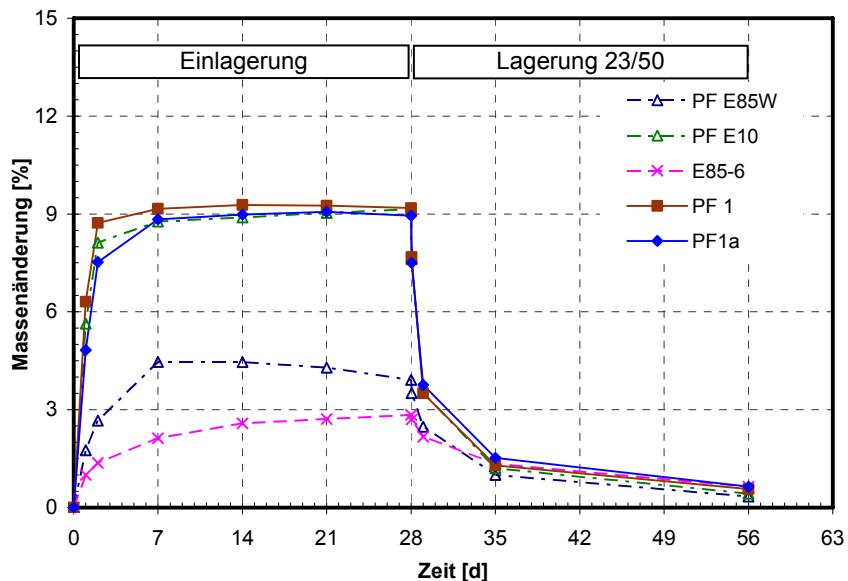


Bild 4.13: Masseänderung während und nach den Einlagerungen der Kunststoffbahn aus PE-HD in ein Gemisch aus Ottokraftstoff und Bioethanol (E85-6 Winter), die Prüfflüssigkeiten PF 1 und PF 1a sowie eine potenzielle Prüfflüssigkeit für Ethanolkraftstoff (PF E85 W) und ein Gemisch aus Ottokraftstoff mit 10 % Bioethanol (PF E10)

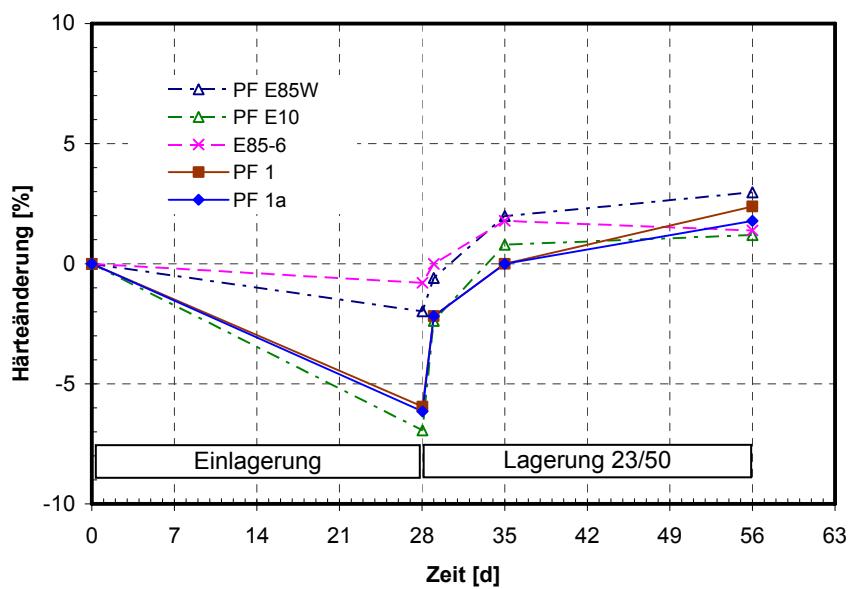


Bild 4.14: Härteänderung (Shore D) nach den Einlagerungen der Kunststoffbahn aus PE-HD in ein Gemisch aus Ottokraftstoff und Bioethanol (E85-6 Winter), die Prüfflüssigkeiten PF 1 und PF 1a sowie in eine potenzielle Prüfflüssigkeit für Ethanolkraftstoff (PF E85 W) und ein Gemisch aus Ottokraftstoff mit 10 % Bioethanol (PF E10)

4.5 Druckversuche an Beschichtungen

4.5.1 Durchführung

Die Versuche erfolgten entsprechend Abschnitt 4.3 der Zulassungsgrundsätze für Beschichtungssysteme in LAU-Anlagen des DIBt. Dazu wurden bei jeder Prüfplatte zwei Zylinder mit 10 cm Innendurchmesser auf die Oberfläche der Beschichtung gespannt und mit den Flüssigkeiten gefüllt (vgl. Bild 4.15). Auf die Flüssigkeit wurde ein Überdruck von 1 bar mit Pressluft aufgebracht, der über ein Druckminderventil geregelt und konstant gehalten wurde. Unter diesem Druck wirkten die Flüssigkeiten 28 Tage auf die Beschichtungen bei 23 °C ein (vgl. Bild 4.16). Im Anschluss daran lagerten die Proben 28 Tage bei 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte (Rücktrocknung). Diese Untersuchungen erfolgten im Jahr 2011 mit Flüssigkeiten gemäß der Anlage 7, Tabellen 1 bis 3 (rote Markierungen).



Bild 4.15:
Befüllen der Druckzylinder mit den Flüssigkeiten
für die Versuche unter Überdruck (1,0 bar)



Bild 4.16:
Versuchsstand für die
Beanspruchung von
Beschichtungen mit
Flüssigkeiten unter Überdruck
(1,0 bar)

4.5.2 Ergebnisse

Aufgrund der verwendeten Prüfkörper (beschichtete Faserzementplatten) und der einseitigen Beanspruchung der Beschichtung in einem Druckzylinder weichen die durchgeführten Messungen von der Vorgehensweise bei den Einlagerungen (Abschnitt 4.4) etwas ab. Sie orientieren sich an den Festlegungen in den Zulassungsgrundsätzen für Beschichtungssysteme des DIBt (vgl. Tabelle 4.4 im Abschnitt 4.4.1) und werden im Folgenden erläutert.

Auf einem beschichteten Grundkörper waren stets zwei Druckzylinder mit derselben Flüssigkeit aufgespannt (vgl. Bilder 4.15 und 4.16). Untersucht wurden insgesamt 20 verschiedene Flüssigkeiten (vgl. Anlage 7, Tabellen 1 bis 3), wofür jeweils 20 mit EP bzw. PUR beschichtete Grundkörper eingesetzt wurden. Da die Druckköpfe während der 28-tägigen Versuchsdauer nicht abgenommen wurden, liegen keine Zwischenwerte für die Masse- und die Dickenänderung während der Druckversuche vor. Bei den Einlagerungen wurden stets Zwischenwerte (Masse- und Volumenänderung) bestimmt.

Aufgrund des Versuchsaufbaus mit zwei Druckköpfen wurde die ermittelte Massenänderung der Prüfkörper auf die gesamte Prüffläche (Innenraum der zwei Zylinder mit einem Durchmesser von jeweils 100 mm) bezogen und in [g/m²] dargestellt. Um einen Vergleich der Ergebnisse der Druckversuche mit den Ergebnissen der Einlagerungen herstellen zu können, wurde die Masseänderung auch auf die Masse der Beschichtung (m) innerhalb der zwei Prüfflächen bezogen. Hierbei wurde nicht die gesamte Beschichtungsdicke, sondern nur eine Dicke (d) von 1 mm zugrunde gelegt ($m = 2 \cdot \Pi \cdot r^2 \cdot d \cdot \rho$, ρ nach Abs. 4.3). Dies entspricht etwa der halben Schichtdicke der vollständig eingelagerten Proben der Beschichtungsstoffe mit einer Dicke von ca. 2,1 mm (vgl. Abschnitt 4.3).

Die Dickenmessungen erfolgten an einer definierten Stelle in der Mitte jeder Prüffläche mit einem Messstifter nach DIN EN 1849-2 (Durchmesser 10 mm, Anpressdruck 20 kPa). Um auch hier einen Vergleich mit den Ergebnissen der Einlagerungen herstellen zu können, wurden die gemittelten Dickenänderungen der beiden Prüfflächen auf eine Beschichtungsdicke von 1 mm bezogen (Änderung der Beschichtungsdicke um 0,10 mm = 10 %). Damit kann die Dickenänderung bezogen auf 1 mm Schichtdicke mit der Volumenänderung der vollständig eingelagerten Proben der Beschichtungsstoffe verglichen werden.

Die Änderung der Härte der Beschichtungen wurde an beiden Prüfflächen nach DIN 53505 während der Rücktrocknung gemessen (Messdauer 3 s). Die Darstellung unterscheidet sich nicht von der, die bei den eingelagerten Proben gewählt wurde.

Sämtliche Ergebnisse der Druckversuche mit Beschichtungen auf der Basis von EP und PUR sind in der Anlage 10 zusammengefasst dargestellt. Dort ist Folgendes dargestellt: die prüfflächenbezogenen Masseänderungen in [g/m²] und die Masseänderungen der Beschichtungen in den Druckköpfen in [%], wobei als Bezugsbasis die Masse der Prüfflächen mit einer Dicke von 1 mm diente. Weiterhin enthält Anlage 10 die gemittelten Dickenänderungen, bezogen auf eine Beschichtungsdicke von 1 mm, und die Härteänderungen, jeweils für beide Prüfflächen (zwei Druckköpfe). Um den Vergleich der Ergebnisse zu ermöglichen, wurden in den Darstellungen die nachfolgend aufgeführten Gruppen von vergleichbaren Flüssigkeiten zusammengefasst:

- Anlage 10, Bild 1: Biodiesel (7b M, 7b L, BD-2, BD-7 und eine potenzielle Prüfflüssigkeit für Biodiesel (PF B100);
- Anlage 10, Bild 2: Gemische aus Dieselkraftstoff und Biodiesel (3a L, 3a M, 3b L, 3b M) sowie die Prüfflüssigkeit PF 3;

- Anlage 10, Bild 3: Bioethanol (N-E100, V-E100), Ethanol und eine potenzielle Prüfflüssigkeit für Bioethanol PF E100;
- Anlage 10, Bild 4: Gemische aus Ottokraftstoff und Bioethanol (E85-6 Winter, E85-8 Winter), die Prüfflüssigkeiten PF 1 und PF 1a sowie jeweils eine potenzielle Prüfflüssigkeit für Ethanolkraftstoff (PF E85 W) und für Gemische aus Ottokraftstoff mit 10 % Bioethanol (PF E10).

Erläuterungen zu den verwendeten Abkürzungen bei den Bezeichnungen der Flüssigkeiten sind der Anlage 7, Tabellen 1 bis 3, zu entnehmen.

Der in den folgenden Grafiken und der Anlage 10 jeweils dargestellte Zeitraum bis zum Alter von 77 Tagen gliedert sich bei den Beschichtungen wie folgt:

- 0 bis 21. Tag: Härtung (7 Tage 23 °C, 50 % r. F., 7 Tage 40 °C, 7 Tage 23 °C, 50 % r. F.),
- 22. bis 49. Tag: 28 Tage Druckversuch bei 1 bar Überdruck mit der Flüssigkeit,
- 50. bis 77. Tag: 28 Tage Rücktrocknung bei 23 °C, 50 % r. F.

Exemplarisch für die Darstellungen in der Anlage 10 zeigen die Bilder 4.17 und 4.18 die Masseänderungen und das Bild 4.19 die Härteänderungen der Beschichtung auf der Basis PUR für die Gruppe der Biodiesel und die Bilder 4.20 und 4.21 die Masseänderungen und das Bild 4.22 die Härteänderungen der Beschichtung auf der Basis EP für die Gruppe der Gemische aus Ottokraftstoff und Bioethanol.

Auf eine separate Darstellung von Einzelwerten der Dicken- und Härtemessungen an den Prüfkörpern für die Druckversuche wurde verzichtet.

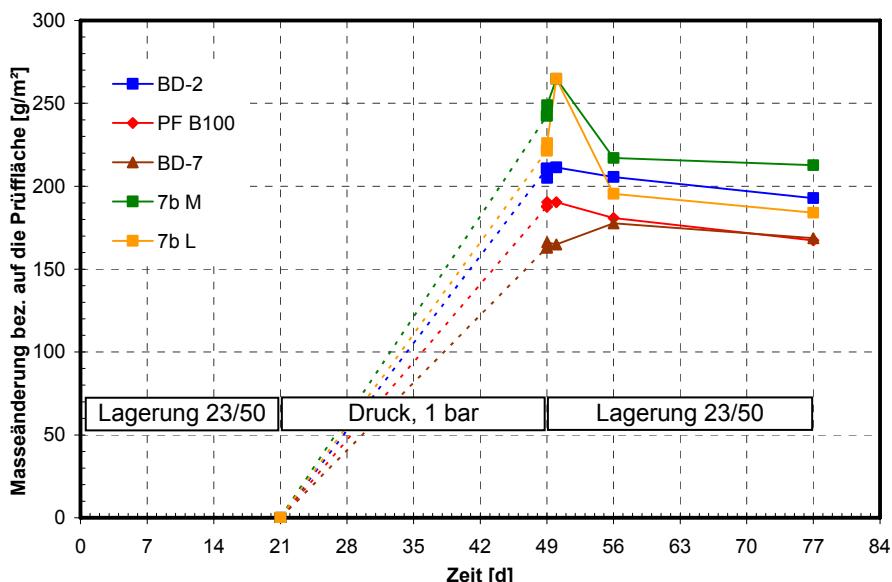


Bild 4.17: Flächenbezogene Masseänderung der PUR-Beschichtung nach den Druckversuchen mit Biodieseln (7b M, 7b L, BD-2, BD-7) und einer potenziellen Prüfflüssigkeit für Biodiesel (PF B100)

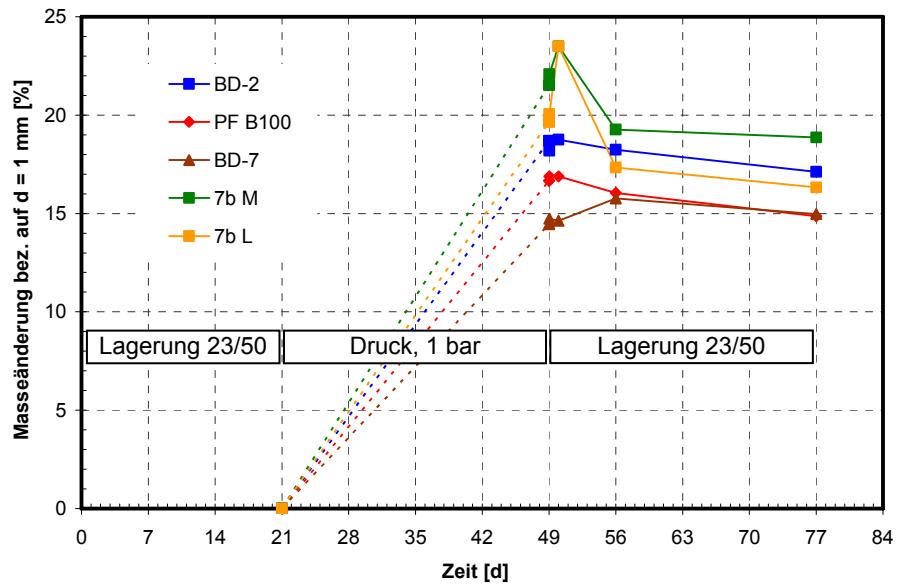


Bild 4.18: Masseänderung der PUR-Beschichtung nach den Druckversuchen mit Biodieseln (7b M, 7b L, BD-2, BD-7) und einer potenziellen Prüfflüssigkeit für Biodiesel (PF B100)
 Bezugsbasis: Masse der Prüfflächen mit einer Dicke von 1 mm

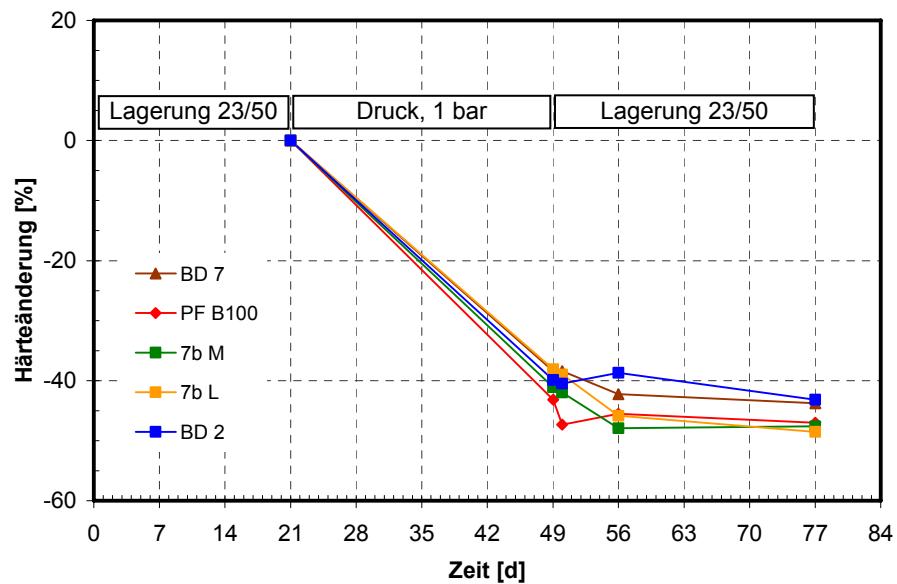


Bild 4.19: Härteänderung der PUR-Beschichtung nach den Druckversuchen mit Biodieseln (7b M, 7b L, BD-2, BD-7) und einer potenziellen Prüfflüssigkeit für Biodiesel (PF B100)

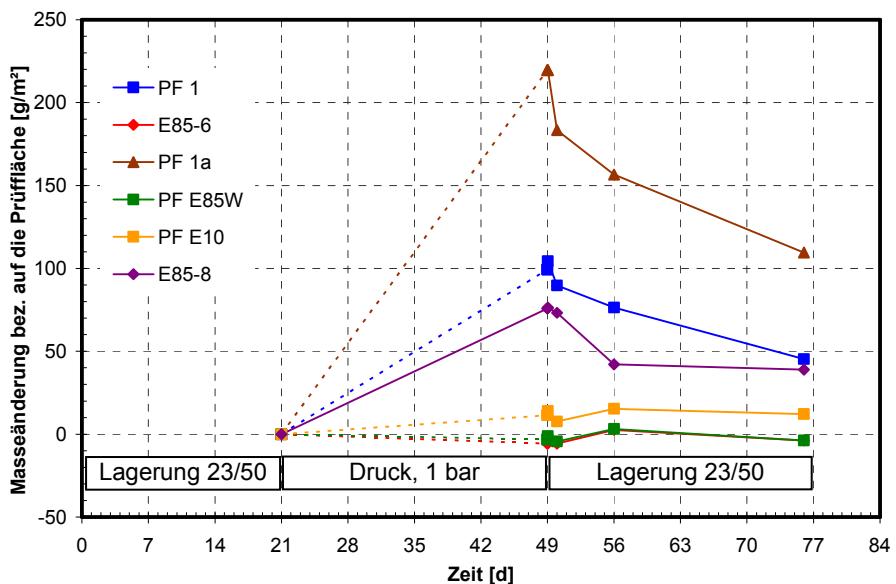


Bild 4.20: Flächenbezogene Masseänderung der EP-Beschichtung nach den Druckversuchen mit Gemischen aus Ottokraftstoff und Bioethanol (E85-6 Winter, E85-8 Winter), den Prüfflüssigkeiten PF 1 und PF 1a sowie jeweils einer potenziellen Prüfflüssigkeit für Ethanolkraftstoff (PF E85 W) und für Gemische aus Ottokraftstoff mit 10 % Bioethanol (PF E10)

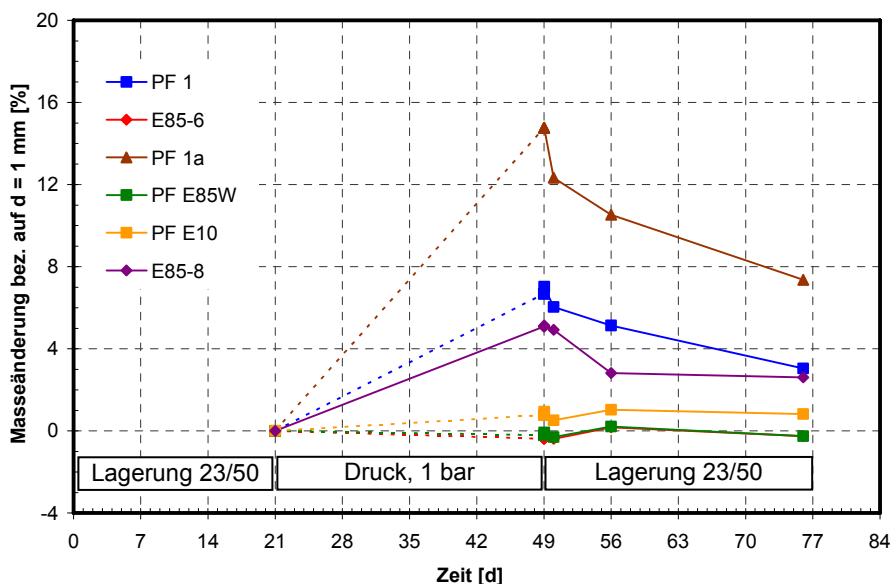


Bild 4.21: Masseänderung der EP-Beschichtung nach den Druckversuchen mit Gemischen aus Ottokraftstoff und Bioethanol (E85-6 Winter, E85-8 Winter), den Prüfflüssigkeiten PF 1 und PF 1a sowie potenziellen Prüfflüssigkeiten für Ethanolkraftstoff (PF E85 W) und für Gemische aus Ottokraftstoff mit 10 % Bioethanol (PF E10)

Bezugsbasis: Masse der Prüfflächen mit einer Dicke von 1 mm

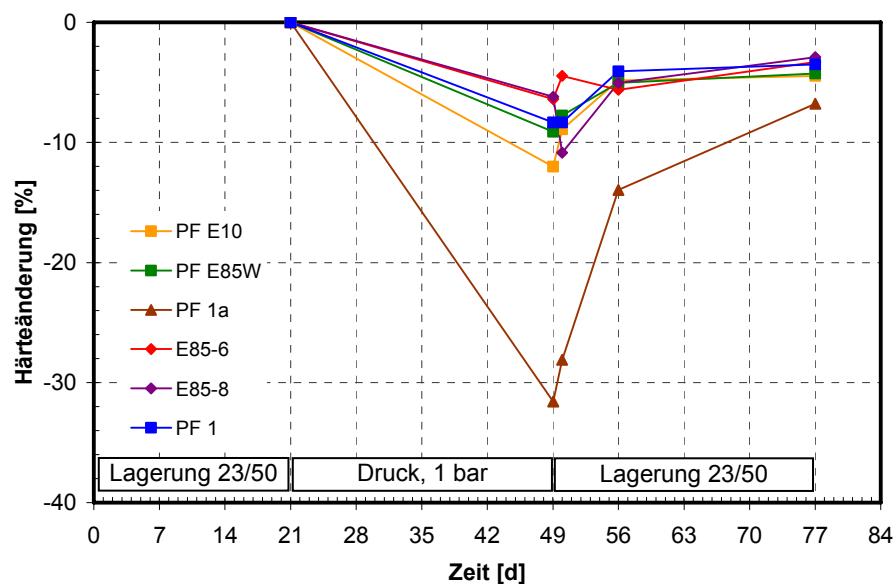


Bild 4.22: Härteänderung der EP-Beschichtung nach den Druckversuchen mit Gemischen aus Ottokraftstoff und Bioethanol (E85-6 Winter, E85-8 Winter), den Prüfflüssigkeiten PF 1 und PF 1a sowie potenziellen Prüfflüssigkeiten für Ethanolkraftstoff (PF E85 W) und für Gemische aus Ottokraftstoff mit 10 % Bioethanol (PF E10)

5 Folgerungen für die Auswahl von Prüfflüssigkeiten

5.1 Vorbemerkungen

Als Grundlage für die Auswertung der Versuche dienen die im Abschnitt 4.1 formulierten Fragestellungen. In den folgenden Abschnitten 5.2 bis 5.5 sind die aus den Versuchen mit den vier Gruppen vergleichbarer Flüssigkeiten resultierenden Antworten in Tabellen zusammengefasst. Der Nummerierung in diesen Tabellen sind die nachfolgenden Fragen zugeordnet, mit denen die Wirkung der untersuchten Biokraftstoffe und der Mischungen von Biokraftstoffen mit Diesel- oder Ottokraftstoff auf Kunststoffe bewertet werden soll.

1. Eignen sich die bereits in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt verankerten Prüfflüssigkeiten für Biokraftstoffe, um die Wirkung (Quellen und Härteänderung von Kunststoffen) der untersuchten Biokraftstoffe oder der Mischungen von Biokraftstoffen mit Diesel- oder Ottokraftstoff zu bewerten?
2. Können Prüfflüssigkeiten von Mediengruppen der Zulassungsgrundsätze des DIBt, die herkömmliche Kraftstoffe, Kohlenwasserstoffe, Alkohole oder Ester und Ketone repräsentieren, auch für die Beurteilung der Wirkung von Biokraftstoffen oder Mischungen von Biokraftstoffen mit Diesel- oder Ottokraftstoffen dienen?
3. Unterscheidet sich die Wirkung von Biokraftstoffen verschiedener Hersteller?
4. Welchen Einfluss haben jahreszeitlich bedingte Unterschiede in der Zusammensetzung der Biokraftstoffe?
5. Unterscheiden sich Proben von einem Hersteller, die von verschiedenen Abfüllstellen stammen?
6. Verändert sich die Wirkung des Biokraftstoffs infolge einer Alterung?
7. Welche Möglichkeiten oder Ansätze bestehen, um Prüfflüssigkeiten zu formulieren, die die Wirkung der Biokraftstoffe und der Mischungen von Biokraftstoffen mit Diesel- oder Ottokraftstoff korrekt abbilden?

Hinsichtlich des Aufbaus der Tabellen in den folgenden Abschnitten ist zu beachten, dass nur ausgewählte Kennwerte aufgeführt sind. Die ersten vier Zeilen der Tabelle enthalten die Spannweite (Minimum ... Maximum) der Masse- und Härteänderungen der vier untersuchten Kunststoffarten (EP, PUR, PE-HD, PVC-P) für sämtliche Flüssigkeiten einer Gruppe nach der Beanspruchung über 28 Tage (Δm_B , ΔH_B) und der Rücktrocknung bei 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte über 28 Tage (Δm_R , ΔH_R). Die Beanspruchung umfasste eine 28-tägige Lagerung der Kunststoffproben in den Flüssigkeiten bei Atmosphärendruck (Einlagerungen) und Druckversuche (EP, PUR), bei denen die Flüssigkeiten mit 1 bar Überdruck über 28 Tage einwirkten.

Den Nummern der Fragen in den Tabellen sind die Kurzzeichen der Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze des DIBt bzw. der untersuchten Flüssigkeiten vorangestellt, auf die die Fragestellung bezogen ist. Für diese Flüssigkeiten findet man in der Tabelle die Masse- und Härteänderung der Kunststoffart nach der Beanspruchung (Δm_B , ΔH_B). Diese sollen zur Einordnung in die oben aufgeführte Spannweite dienen und die Antwort auf die Frage bzw. die Bewertung verdeutlichen bzw. belegen.

Auf die Angabe der Volumen- und Dickenänderungen wurde in den Tabellen verzichtet, da im Vergleich mit den Masse- und Härteänderungen keine gegenläufigen Tendenzen festgestellt wurden, und um die

Übersichtlichkeit zu wahren. Um ggf. das Verhalten der Kunststoffe bei permanenter Flüssigkeitsbeanspruchung einzuschätzen, kann anhand der Masseänderung nach der Einlagerung folgende Einteilung orientierend herangezogen werden: < 3 % beständig, 3 bis 8 % bedingt beständig, > 8 % unbeständig.

5.2 Biodiesel

In die Untersuchungen wurden insgesamt 11 Biodieselproben von acht Herstellern einbezogen. Bezeichnungen und Angaben zur Zusammensetzung der Biodieselproben sind in der Anlage 7, Tabelle 2, zusammengestellt.

Die ausgewählten Proben gliederten sich wie folgt: Zwei Hersteller (ADM Oelmühle Hamburg AG, Werk Leer, und Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH) sind als Bezugsquellen in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt vorgegeben. Vier weitere Produzenten und zwei Proben von Tankstellen resultierten aus der Literaturauswertung (Abschnitt 2.2) und den u. a. im Rahmen einer Anfrage an Verbände und Institute eingeholten Informationen (Abschnitt 3.2).

Weitere Untersuchungen erfolgten im Hinblick auf die Frage, inwieweit Veränderungen des Biodiesels infolge längerer Lagerung (Alterung) dessen Wirkung verändern. Hierfür dienten Proben des Werkes Leer und Magdeburg, die künstlich gealtert wurden (vgl. Abschnitt 4.2.1), und eine ältere Probe des Werkes Magdeburg (Alter ca. 1,5 Jahre).

Anhand der Angaben in der Anlage 7, Tabellen 2 und 4 bis 13, ist die Spannweite der Zusammensetzungen der Biodiesel erkennbar. Kriterien, die die Spannweite verdeutlichen können, sind beispielsweise der Anteil an Linolensäuremethylester (C 18:3) bzw. die Iodzahl. Beide Kennwerte sind ein Maß für den Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Biodiesel. Sie werden durch die Rohstoffzusammensetzung bei der Biodieselherstellung bestimmt und sind nach DIN EN 14214 auf 12 M.-% bzw. 120 g Iod/100 g begrenzt. Die Spanne lag bei den untersuchten Proben in folgenden Bereichen: 0,88 M.-% (C 18:3) bzw. 49 g Iod/100 g für EM-FME (Tierfettbasis) bis 10,3 M.-% (C 18:3) bzw. 116 g Iod/100 g für EM-RME (Rapsölbasis).

Die Auswertung der Untersuchungen basiert auf dem im Abschnitt 5.1 zusammengestellten Fragenkatalog, der in der Tabelle 5.1 beantwortet wird. Grundlage sind die Zusammenstellungen sämtlicher Ergebnisse, die in der Anlage 8, Bilder 1 und 2, sowie in der Anlage 9 und 10, jeweils im Bild 1, enthalten sind (Einzelwerte enthalten die Anlagen 11 - 14). Für die Bezeichnungen der Flüssigkeiten werden Kurzzeichen verwendet, die in der Anlage 7, Tabellen 1 und 2, erklärt sind.

Anhand der Ergebnisse ist zu erkennen, dass die Wirkung der Prüfflüssigkeiten für Biodiesel gemäß der Zulassungsgrundsätze des DIBt (PF 7b), die von zwei vorgegebenen Herstellern (ADM Oelmühle Hamburg AG, Werk Leer, und Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH) zu beziehen sind, im Spektrum der untersuchten Proben von Herstellern und Tankstellen liegt. Dies betrifft die Veränderungen der Kunststoffe sowohl während der Beanspruchung als auch bei der Rücktrocknung. Dementsprechend können diese Biodiesel als repräsentativ angesehen werden. Eine etwas erhöhte Beanspruchung bzw. Verschärfung der Quellwirkung (vgl. Abschnitt 3.1), die für eine Prüfflüssigkeit typisch wäre, um mit Sicherheit die Wirkung aller am Markt verfügbaren Biodiesel abzudecken, ist aber nicht gegeben.

Versuche mit weiteren Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze des DIBt (PF 3, 7, 7a) ergaben, dass deren Wirkung von der der Biodiesel zum Teil erheblich abweicht. Die untersuchten Varianten stellen somit keine Alternativen dar.

Tabelle 5.1: Bewertung der Untersuchungen mit Biodieseln, Fragen siehe Abschnitt 5.1

Zahlenwerte: Masse- (Δm_B , Δm_R) und Härteänderungen (ΔH_B , ΔH_R) nach der Beanspruchung über 28 Tage und nach Rücktrocknung über 28 Tage, Zahlenangaben in [%]

	EP	PUR	PE-HD	PVC-P
Δm_B (Min. ... Max.)	+ 0,1 ... + 0,3 - 0,3 ... + 5,0 (1 bar)	+ 13,2 ... + 17,4 + 14,5 ... + 21,5 (1 bar)	+ 2,3 ... + 2,5	+ 11,1 ... + 11,7
Δm_R (Min. ... Max.)	+ 0,2 ... + 0,4 - 1,8 ... + 1,1 (1 bar)	+ 12,9 ... + 17,1 + 14,9 ... + 18,9 (1 bar)	+ 2,3 ... + 2,7	+ 10,4 ... + 10,8
ΔH_B (Min. ... Max.)	- 8 ... + 2 - 2 ... + 1 (1 bar)	- 45 ... - 65 - 38 ... - 43 (1 bar)	- 1 ... - 2	- 14 ... - 15
ΔH_R (Min. ... Max.)	- 12 ... + 3 - 3 ... + 1 (1 bar)	- 51 ... - 66 - 43 ... - 49 (1 bar)	0	- 17 ... - 18
Frage 1: 7b M ¹⁾	7b Magdeburg und PF 7b Leer liegen im Spektrum der untersuchten Biodiesel.			
7b M ¹⁾	+ 0,2 / - 3 + 4,5 / 0 (1 bar)	+ 13,2 / - 47 + 21,5 / - 41 (1 bar)	+ 2,4 / - 2	+ 11,6 / - 15
7b L ¹⁾	+ 0,2 / + 1 + 5,0 / - 1 (1 bar)	+ 14,5 / - 45 + 19,7 / - 38 (1 bar)	+ 2,3 / - 1	+ 11,4 / - 15
Frage 2: PF 3 ¹⁾	PF 3, PF 7 und PF 7a sind ungeeignet. Masse- und Härteänderungen weichen bei PF 3 von den Biodieseln ab (PUR geringer, PE-HD und PVC-P höher). Rücktrocknung findet bei PF 3 statt, bei Biodiesel nicht. PF 7 und 7a bewirken höhere Masseänderungen (EP, PUR) und Rissbildung (PUR).			
PF 3 ¹⁾	+ 0,2 / + 2 + 5,2 / 0 (1 bar)	+ 11,3 / - 31 + 18,7 / - 29	+ 8,0 / - 7	+ 17,3 / - 26
PF 7 ¹⁾	+ 1,8 / - 9	1 d: + 66,0 / Risse	-	-
PF 7a ¹⁾	+ 1,5 / 0	7 d: + 110,0 / Risse	-	-
Frage 3: C-RME	Der Unterschied zwischen den einbezogenen Herstellern ist gering.			
C-RME	+ 0,2 / + 2	+ 15,5 / - 65	-	-
EM-RME	+ 0,2 / - 8	+ 15,9 / - 62	-	-
EM-FME	+ 0,2 / - 3	+ 14,3 / - 57	-	-
BD-2	+ 0,2 / + 1 + 1,9 / - 1 (1 bar)	+ 15,0 / - 57 + 18,7 / - 40 (1 bar)	+ 2,4 / - 1	+ 11,7 / - 15
BD-5	+ 0,2 / + 2	+ 15,8 / - 58	-	-
BD-7	- 0,3 / + 2 + 5,2 / - 2 (1 bar)	+ 15,3 / - 58 + 14,5 / - 38 (1 bar)	-	-
Frage 4:	Ein jahreszeitlich bedingter Unterschied ist anhand der Versuchsergebnisse nicht erkennbar.			
Frage 5:	Nein (vgl. C-RME und BD-2)			
Frage 6: 7b M alt ¹⁾	Gealterter Biodiesel, insbesondere künstlich gealterter B., führt zu höheren Masseänderungen als frische Proben bei PUR. Dies sollte bei der Formulierung einer Prüfflüssigkeit berücksichtigt werden.			
7b M alt ¹⁾	+ 0,2 / + 1	+ 17,4 / - 53	-	-
7b L alt ¹⁾	+ 0,2 / 0	+ 17,4 / - 55	-	-
7b M-09 ¹⁾	+ 0,2 / - 2	+ 16,4 / - 58	-	-
Frage 7: PF B100 pur ¹⁾	Die Formulierung ist auf der Basis von Methyloleat und den Vorgaben der DIN EN 14214 möglich. Ergänzende Untersuchungen sind erforderlich.			
PF B100 pur ¹⁾	+ 0,1 / - 8	+ 15,9 / - 59	-	-
PF B100 ¹⁾	+ 0,2 / + 2 + 1,8 / + 1 (1 bar)	+ 15,0 / - 60 + 16,7 / - 43	+ 2,6 / - 2	+ 11,1 / - 14

¹⁾ angegeben ist hier nur die Masse- und Härteänderung nach der Beanspruchung über 28 Tage Δm_B / ΔH_B

Infolge von Alterungsprozessen verstärkt sich die Quellwirkung von Biodiesel. Belegt werden kann dieser Effekt mit den vorliegenden Ergebnissen der Einlagerungen von PUR. Aus dieser Beobachtung ergibt sich die Frage, inwieweit die Alterung des Biodiesels bei der Festlegung einer Prüfflüssigkeit zu berücksichtigen ist und ggf. für die Verstärkung der Quellwirkung genutzt werden kann. Bei EP wird dieser Effekt nicht deutlich, aufgrund dessen sehr hoher Beständigkeit.

Hinsichtlich der Formulierung einer neuen Prüfflüssigkeit zeigte sich, dass mit Ölsäuremethylester (Methyloleat, C 18:1) die Wirkung von Biodiesel auf die untersuchten Kunststoffe abgebildet werden kann. Ein entsprechender Vorschlag für eine potenzielle PF B100, der sich an den Vorgaben der DIN EN 14214 (Zusammensetzung) und der DIN EN 590 (Stabilisierung mit BHT) orientierte, war Bestandteil der Untersuchungen mit allen einbezogenen Kunststoffen. Die Ergebnisse der Literatursichtung, die zu dieser Auswahl beitrugen, sind in den Abschnitten 2.2 und 3.2 dargestellt. Eine Analyse der Zusammensetzung (GC-MSD) des verwendeten Methyoleats (techn., 70 %) enthält Anlage 7, Tabelle 24. Daraus ist zu entnehmen, dass neben Methyloleat (C 18:1) zu 78 M.-% auch Methylester folgender Fettsäuren mit Anteilen > 1 M.-% enthalten sind: C 12:0, C 14:0, C16:0, C 16:1, C 18:0, C 18:2.

Eine Referenzflüssigkeit für Biodiesel (Fettsäuremethylester) sollte aber nicht nur die Wirkung abbilden, sondern eine etwas verschärzte Quellwirkung aufweisen. Hierfür könnte das Fettsäureprofil des Biodiesels mit der stärksten Quellwirkung nachgestellt werden. Dafür wäre Methyloleat insbesondere mit den Methylestern der Palmitinsäure (C 16:0), der Linolsäure (C 18:2) und der Linolensäure (C18:3) gezielt zu kombinieren. Gegen diesen Ansatz spricht, dass dafür der Einsatz von kostenintensiven Substanzen erforderlich wäre, da diese nur in hoher Reinheit angeboten werden (GC-Referenz). Weiterhin lassen die Angaben in der ausgewerteten Literatur und die durchgeföhrten Untersuchungen nicht den Schluss zu, welches Fettsäureprofil zur stärksten Quellwirkung führt. Vielversprechender erscheint der im Abschnitt 2.2.4 aufgezeigte Ansatz, die Quellwirkung von Methyloleat bzw. der vorgeschlagenen PF B100 durch Decansäuremethylester zu verstärken, wofür systematische Untersuchungen durchzuführen wären.

Auffällig ist bei allen untersuchten Kunststoffen, dass im Anschluss an die Beanspruchung mit Biodiesel keine Rückrocknung im Zeitraum von 28 Tagen unter den gewählten Klimabedingungen (23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte) stattfindet. Die Masse und die Erweichung (Abnahme der Härte) der Proben bleibt im Anschluss an die Einlagerung nahezu konstant. Damit wirkt Biodiesel praktisch wie ein Weichmacher. Auch diese Wirkung zeigt sich bei der Verwendung der vorgeschlagenen PF B100.

5.3 Gemische aus Dieselkraftstoff mit Biodiesel

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt definierten Gemische mit 5 Vol.-% und 20 Vol.-% Biodiesel (PF 3a und PF 3b). Für deren Herstellung diente die Prüfflüssigkeit PF 3 als Basis (Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817), die mit Biodiesel der Hersteller, die in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt als Bezugsquellen vorgegeben sind (ADM Oelmühle Hamburg AG, Werk Leer, und Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH), gemischt wurde. Als Vergleich waren zwei Handelsprodukte von Tankstellen einbezogen. Um den Einfluss der Alterung des Biodiesels einschätzen zu können, wurden die Gemische der Zulassungsgrundsätze (PF 3a und PF 3 b) einer künstlichen Alterung unterzogen.

Die Auswertung der Untersuchungen basiert auf dem im Abschnitt 5.1 zusammengestellten Fragenkatalog, der in der Tabelle 5.2 beantwortet wird. Grundlage sind die Zusammenstellungen sämtlicher Ergebnisse, die in der Anlage 8, Bild 3, sowie in der Anlage 9 und 10, jeweils Bild 2, enthalten sind (Einzelwerte, Anlagen 11 - 14). Bezeichnet sind die Flüssigkeiten mit Kurzzeichen gem. Anlage 7, Tabellen 1 und 2.

Tabelle 5.2: Bewertung der Untersuchungen mit Gemischen aus Dieselkraftstoff und Biodiesel, Fragen siehe Abschnitt 5.1, Zahlenwerte: Masse- (Δm_B , Δm_R) und Härteänderungen (ΔH_B , ΔH_R) nach der Beanspruchung über 28 Tage und nach Rücktrocknung über 28 Tage, Zahlenangaben in [%]

	EP	PUR	PE-HD	PVC-P
Δm_B (Min. ... Max.)	+ 0,1 ... + 0,3 + 1,1 ... + 5,2 (1 bar)	+ 3,1 ... + 16,9 + 13,3 ... + 18,6 (1 bar)	+ 7,3 ... + 8,0	+ 14,0 ... + 17,3
Δm_R (Min. ... Max.)	+ 0,2 ... + 0,3 - 0,1 ... + 2,4 (1 bar)	+ 1,7 ... + 11,4 + 7,6 ... + 9,7 (1 bar)	+ 3,0 ... + 3,9	+ 8,3 ... + 9,4
ΔH_B (Min. ... Max.)	- 10 ... + 3 0 ... + 2 (1 bar)	- 11 ... - 62 - 29 ... - 35 (1 bar)	- 6 ... - 7	- 21 ... - 36
ΔH_R (Min. ... Max.)	- 8 ... + 5 + 1 ... + 2 (1 bar)	- 46 ... + 6 - 22 ... - 31 (1 bar)	- 2 ... 0	- 18 ... - 21
Frage 1:	Masse- und Härteänderungen durch PF 3a und 3b (Magdeburg und Leer) liegen bei PUR bis zu 4-fach über den Proben von Tankstellen (Shell und Aral B7). Die hohe Beständigkeit von EP erlaubt keine Differenzierung. PF 3a ist zukünftig nicht mehr erforderlich. PE-HD, PVC-P: Bei einem Biodieselanteil von 20 Vol.-% sind die Werte geringer als bei 5 Vol.-%.			
3a M ¹⁾	+ 0,2 / 0 + 2,5 / 0 (1 bar)	+ 11,6 / - 32 + 14,6 / - 35 (1 bar)	+ 7,9 / - 7	+ 16,4 / - 25
3a L ¹⁾	+ 0,2 / - 2 + 1,1 / + 2 (1 bar)	+ 11,7 / - 33 + 15,1 / - 30 (1 bar)	+ 7,8 / - 7	+ 16,5 / - 25
3b M ¹⁾	+ 0,2 / - 1 + 3,0 / + 1 (1 bar)	+ 11,2 / - 42 + 15,4 / - 35 (1 bar)	+ 7,3 / - 6	+ 14,0 / - 21
3b L ¹⁾	+ 0,1 / - 3 + 2,8 / + 1 (1 bar)	+ 11,2 / - 37 + 13,3 / - 31 (1 bar)	+ 7,3 / - 6	+ 14,1 / - 21
Frage 2:	EP, PUR: PF 3 deckt die Wirkung der PF 3a (Magdeburg und Leer) ab. PE-HD, PVC-P: PF 3 deckt die Wirkung der PF 3a und 3b (Magdeburg und Leer) ab.			
PF 3 ¹⁾	+ 0,2 / + 2 + 5,2 / 0 (1 bar)	+ 11,3 / - 31 + 18,7 / - 29 (1 bar)	+ 8,0 / - 7	+ 17,3 / - 26
Frage 3:	Der Unterschied zwischen den zwei einbezogenen Herstellern ist gering.			
B7 A	+ 0,2 / + 3	+ 3,1 / - 11	-	-
B7 S	+ 0,1 / + 3	+ 3,1 / - 17	-	-
Frage 4:	Ein jahreszeitlich bedingter Unterschied ist anhand der Versuchsergebnisse nicht erkennbar.			
Frage 5:	Dazu erfolgten bei den Gemischen keine Untersuchungen.			
Frage 6:	Anhand der Ergebnisse für PUR wird deutlich, dass künstlich gealterte Mischungen (PF 3a und 3b) höhere Härte- und Masseänderungen bewirken als frische Proben. Die Werte übersteigen die Quellwirkung der PF 3 (vgl. Frage 2). Dies sollte bei der Formulierung einer neuen Prüfflüssigkeit berücksichtigt werden.			
3a M alt ¹⁾	+ 0,2 / - 10	+ 10,1 / - 44	-	-
3a L alt ¹⁾	+ 0,3 / 0	+ 13,4 / - 62	-	-
3b M alt ¹⁾	+ 0,3 / - 3	+ 16,9 / - 51	-	-
3b L alt ¹⁾	+ 0,2 / - 8	+ 15,8 / - 48	-	-
Frage 7:	Die Formulierung einer neuen Prüfflüssigkeit mit Anteilen von Biodiesel ist auf der Basis von PF 3 und PF B100 (vgl. Abschnitt 5.2) möglich. Die Zusammensetzung der PF B100 ist noch festzulegen.			

¹⁾ angegeben ist hier nur die Masse- und Härteänderung nach der Beanspruchung über 28 Tage Δm_B / ΔH_B

Anhand der Ergebnisse für PUR ist zu erkennen, dass die Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze für Gemische mit Biodiesel (PF 3a und 3b) eine höhere Quellwirkung aufweisen als die untersuchten Handelsprodukte (Diesel B7 von Tankstellen). Zurückzuführen ist dies auf die Quellwirkung der Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817, die zu 95 bzw. 80 Vol.-% in diesen Prüfflüssigkeiten 3a und 3b enthalten ist. Die Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817 wurde 1973 als A20/NPII von Sickfeld [7] formuliert (vgl. auch Abschnitt 3.1) und dabei mit einem ausreichenden "Vorhaltemaß" versehen. EP weist eine sehr hohe Beständigkeit auf, sodass dieser Effekt nicht deutlich wird.

Durch Alterungsprozesse verstärkt sich die Quellwirkung der untersuchten Gemische mit 5 Vol.-% und 20 Vol.-% Biodieselanteil. Dies wurde bereits im Abschnitt 5.2 für Biodiesel festgestellt und gilt folglich auch für Gemische mit Biodiesel. Bei der Formulierung einer Prüfflüssigkeit ist dieser Aspekt zu berücksichtigen. Wie dies realisiert werden kann, muss an dieser Stelle aber unbeantwortet bleiben. Biodiesel im Labor zu altern, scheidet dabei als Lösung aus. Praktikabel sollte es sein, wenn die Quellwirkung von Methyloleat durch kurzkettige Fettsäuremethylester verstärkt wird, z. B. durch Methyldecanoat (Decansäuremethylester).

Im Hinblick auf die Formulierung neuer Prüfflüssigkeiten für Gemische aus Dieselkraftstoff bzw. Heizöl EL und Biodiesel kann aus den Untersuchungen abgeleitet werden, dass Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817 unverändert die Basis bildet. Die bisher eingesetzten Biodiesel sind grundsätzlich als Beimischungen geeignet und können beibehalten werden. Sobald eine neue PF B100 auf der Basis von Methyloleat (vgl. Abschnitt 5.2) verfügbar ist, kann diese als Beimischung verwendet werden. Der Nachweis der Eignung einer solchen Mischung wäre aber in zukünftigen Untersuchungen noch zu erbringen.

Weiterhin ist bei einer Formulierung neuer Prüfflüssigkeiten für Gemische aus Dieselkraftstoff bzw. Heizöl EL und Biodiesel zu prüfen, ob eine Mediengruppe 3a mit 5 Vol.-% Biodieselanteil im Dieselkraftstoff bzw. Heizöl EL beibehalten werden sollte. Entsprechend den aktuellen Vorgaben für die Zusammensetzung von Kraftstoffen in Deutschland [12] und Europa [13] wäre eine Mischung mit 10 Vol.-% Biodiesel erforderlich. Die vorliegenden Versuchsergebnisse legen den Schluss nahe, dass mit der PF 3 und der PF 3b eine sichere Beurteilung der Beständigkeit von Kunststoffen gegenüber Gemischen mit bis zu 20 Vol.-% Biodieselanteil möglich ist.

5.4 Bioethanol

Den Ansatzpunkt für diese Untersuchungen bildeten die drei Prüfflüssigkeiten für die Mediengruppe der Alkohole, die in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt vorgesehen sind (PF 5, PF 5a und PF 5b). Diese wurden zwei Bioethanolproben von Herstellern und Ethanol ($\geq 99,8\%$) sowie eine potenzielle Formulierung für PF E100 gegenübergestellt.

Basis der Auswertung waren wiederum die im Abschnitt 5.1 zusammengestellten Fragestellungen, die in der Tabelle 5.3 für die Gruppe Bioethanol beantwortet sind. Grundlage sind die Zusammenstellungen sämtlicher Ergebnisse in der Anlage 8, Bild 4, sowie Anlage 9 und 10, jeweils Bild 3 (Einzelwerte in den Anlagen 11 - 14). Die Kurzzeichen der Flüssigkeiten sind in der Anlage 7, Tabellen 1 und 3, erklärt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wirkung von Bioethanol nicht durch die existierenden Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze des DIBt, PF 5, 5a oder 5b, abgedeckt wird. PF 5 und 5b erreichen bei EP nicht die Wirkung der Bioethanolproben und die PF 5a schädigt hier zu stark. Auch bei PUR nähert sich die PF 5b nur der Wirkung der Bioethanolproben an.

Untersuchungen mit Ethanol ($\geq 99,8\%$) sowie einer potenziellen Formulierung für eine PF E100 ergaben, dass damit bei Kunststoffbahnen (PE-HD, PVC-P) die Wirkung der Bioethanolproben nachgestellt werden kann. Die Masse- und Härteänderungen von EP und PUR entsprachen dagegen nicht in vollem Umfang denen, die infolge der Einwirkung der Bioethanolproben eintraten. Um einen Ansatz für die Erklärung dieser Beobachtung zu liefern, erfolgten Analysen der Bioethanolproben mittels GC-MSD. Die Ergebnisse dieser Analysen enthält Anlage 7, Tabelle 23.

Tabelle 5.3: Bewertung der Untersuchungen mit Bioethanol, Fragen siehe Abschnitt 5.1,

Zahlenwerte: Masse- (Δm_B , Δm_R) und Härteänderungen (ΔH_B , ΔH_R) nach der Beanspruchung über 28 Tage und nach Rücktrocknung über 28 Tage, Zahlenangaben in [%]

	EP	PUR	PE-HD	PVC-P
Δm_B (Min. ... Max.)	+ 0,6 ... + 8,7 + 0,3 ... + 1,9 (1 bar)	+ 10,6 ... + 16,8 + 34,9 ... + 44,6 (1 bar)	+ 0,2 ... + 0,3	<u>7 d: + 5,9 ... + 6,0²⁾</u> 28 d: + 2,1 ... + 2,3
Δm_R (Min. ... Max.)	+ 0,5 ... + 5,5 + 0,1 ... + 0,4 (1 bar)	+ 0,8 ... + 7,0 + 13,8 ... + 15,1 (1 bar)	+ 0,1 ... + 0,1	- 5,4 ... - 5,6
ΔH_B (Min. ... Max.)	- 8 ... - 18 - 6 ... - 8 (1 bar)	- 69 ... - 78 - 71 ... - 73 (1 bar)	+ 2 ... + 3	- 5 ... - 7
ΔH_R (Min. ... Max.)	- 1 ... - 21 - 2 ... - 5 (1 bar)	- 12 ... - 53 - 47 ... - 51 (1 bar)	+ 3 ... + 4	+ 3 ... + 5
Frage 1:	In den Zulassungsgrundsätzen ist bisher für Bioethanol (E100) keine Prüfflüssigkeit festgelegt.			
Frage 2:	Für Alkohole enthalten die Zulassungsgrundsätze drei Mediengruppen. PF 5 schließt die PF 5b ein. PF 5a schließt die PF 5 und die PF 5b ein. <u>EP:</u> PF 5 und 5b erreichen nicht die Wirkung von Bioethanol. PF 5a ist zu aggressiv. <u>PUR:</u> PF 5 und 5a erreichen nicht die Wirkung von Bioethanol. PF 5b erreicht diese nahezu.			
PF 5 ¹⁾	+ 1,5 / - 8	+ 12,7 / - 71	-	-
PF 5a ¹⁾	+ 8,7 / Risse	+ 10,6 / - 75	-	-
PF 5b ¹⁾	+ 0,6 / - 8	+ 15,7 / - 78	-	-
Frage 3:	Die Wirkung der zwei einbezogenen Produkte ist vergleichbar.			
N-E100 ¹⁾	+ 2,4 / - 15 + 1,9 / - 6 (1 bar)	+ 16,8 / - 78 + 44,6 / - 73 (1 bar)	+ 0,2 / + 3	<u>7 d: + 5,9²⁾</u> 28 d: + 2,2 / - 7
V-E100 ¹⁾	+ 2,4 / - 18 + 1,9 / - 8 (1 bar)	+ 16,3 / - 77 + 39,1 / - 71 (1 bar)	+ 0,3 / + 3	<u>7 d: + 6,0²⁾</u> 28 d: + 2,1 / - 6
Frage 4:	Die Zusammensetzung ist nicht jahreszeitlich verschieden.			
Frage 5:	Hierzu erfolgten keine Untersuchungen.			
Frage 6:	Hierzu erfolgten keine Untersuchungen.			
Frage 7:	<u>EP, PUR:</u> Ethanol und PF E100 erreichen nicht die Wirkung von Bioethanol. <u>PE-HD, PVC-P:</u> Ethanol und PF E100 entsprechen in der Wirkung dem Bioethanol. Eine Prüfflüssigkeit sollte der Zusammensetzung nach DIN 15376, Tab. 1, entsprechen (PF E100).			
E ¹⁾	+ 2,0 / - 13 + 1,6 / - 6 (1 bar)	+ 15,7 / - 69 + 39,5 / - 71 (1 bar)	+ 0,2 / + 2	<u>7 d: + 6,0²⁾</u> 28 d: + 2,3 / - 6
PF E100 ¹⁾	+ 1,5 / - 12 + 0,3 / - 8 (1 bar)	+ 15,8 / - 78 + 34,9 / - 72 (1 bar)	+ 0,3 / + 2	<u>7 d: + 5,9²⁾</u> 28 d: + 2,3 / - 5

¹⁾ Hier ist die Masse- und Härteänderung nach der Beanspruchung über 28 Tage Δm_B / ΔH_B angegeben.

²⁾ Zu beachten ist, dass die Masseänderung bei PUR und PVC-P z. T. bereits vor dem 28. Tag das Maximum erreichte (vgl. Anlagen 8 und 9). Bei PVC-P traten die Maxima häufig nach 7 Tagen auf (unterstrichene Werte).

Aus den Analysen ist erkennbar, dass in den Bioethanolproben neben höheren Alkoholen (C3, C4) mit einem Anteil < 0,1 M.-% auch folgende Stoffe in einem Gesamtanteil < 0,04 M.-% enthalten sind: Essigsäureester (Ethylacetat, 3-Methyl-1-Butanolacetat), Acetaldehyd und Verbindungen aus Alkoholen und Acetaldehyd (1,1-Diethoxyethan, 2,2-Diethoxypropan, 1,1- Diethoxybutan, 1,1- Diethoxypentan). Obwohl der Anteil dieser Begleitstoffe im Bioethanol sehr gering ist, können sie offenbar die Beanspruchung (Quellung) bei Beschichtungsstoffen auf der Basis von EP und PUR etwas verstärken.

Grundsätzlich ist zu empfehlen, für die Prüfung von Beschichtungssystemen eine Prüfflüssigkeit für Bioethanol vorzusehen. Als Basis dienen dafür die Vorgaben in der DIN EN 15376. Eine mögliche Einordnung dieser Prüfflüssigkeit (PF E100) in ein neues System von Prüfflüssigkeiten für Ottokraftstoffe mit Bioethanol und Ethanolkraftstoff zeigt Tabelle 5.5.

5.5 Gemische aus Ottokraftstoff und Bioethanol

Für Gemische aus Ottokraftstoff und Bioethanol enthalten die Zulassungsgrundsätze des DIBt zwei Prüfflüssigkeiten. PF 1, die in den Zulassungsgrundsätzen für Beschichtungssysteme bereits seit 1991 enthalten ist, schließt Gemische aus Ottokraftstoffen mit bis zu 5 Vol.-% Bioethanol ein. Seit 2004 wird die PF 1a als Prüfflüssigkeit für Gemische aus Ottokraftstoff mit bis zu 20 Vol.-% Bioethanol eingesetzt (vgl. Abschnitt 3.2.2). Diesen vorhandenen Prüfflüssigkeiten wurden drei Ethanolkraftstoffproben von Herstellern (E85) und eine E5-Probe gegenübergestellt. E10 war zum Zeitpunkt der Planung der Versuchsserie noch nicht am Markt eingeführt (ab Januar 2011). Damit fehlt in den vorliegenden Untersuchungen eine entsprechende Handelsprobe. Berücksichtigung fand E10 aber in der Zusammenstellung potenzieller Formulierungen für neue Prüfflüssigkeiten. Neben zwei Varianten einer PF E85, die aus den jahreszeitlichen Vorgaben der DIN 51625 für den Sommer (Klasse A) und den Winter (Klasse B) resultieren, war auch eine potenzielle PF E10 Bestandteil der Untersuchungen.

Ausgewertet wurden die Untersuchungen für die Gruppe der Gemische aus Ottokraftstoff und Bioethanol wiederum auf der Basis der im Abschnitt 5.1 zusammengestellten Fragen. Die Antworten für diese Gemische sind in der Tabelle 5.4 zusammengestellt. Sie resultieren aus den Ergebnissen der Untersuchungen, die in der Anlage 8, Bild 5, sowie Anlage 9 und 10, jeweils Bild 4, dargestellt sind (Einzelwerte in den Anlagen 11 - 14). In der Anlage 7, Tabellen 1 und 3, sind die verwendeten Kurzzeichen erklärt.

Die Untersuchungen mit Beschichtungen zeigten, dass die PF 1a bei EP und PUR erwartungsgemäß zu einem deutlich stärkeren Quellen führt als die PF 1. Mit der Prüfflüssigkeit PF 1a wird die Wirkung der Mischungen mit Ottokraftstoff (E5, E10, E85) und auch des Bioethanols abgedeckt. Die PF 1 schließt E5 ein, erreichte aber bei den Einlagerungen nicht die Wirkung der potenziellen Prüfflüssigkeit für Superkraftstoff E10 (PF E10). Deren Wirkung ordnet sich zwischen den Masse- und Härteänderungen ein, die durch die PF 1 und die PF 1a bei EP und PUR entstanden. Bei den Einlagerungen von EP wirkten auch die E85-Handelsproben stärker quellend als die PF 1. Im Druckversuch (1 bar) entstand dagegen durch die Einwirkung der PF 1 eine etwas höhere Masseänderung der EP-Beschichtung als infolge der Einwirkung von E85, PF E85W und PF E10. Bei der PUR-Beschichtung ergaben Einlagerungen und Druckversuche übereinstimmend, dass E85-Handelsproben etwas geringere und PF E85 W vergleichbare Änderungen der Eigenschaften bewirken, wie dies infolge der PF 1 zu beobachten war.

Ein anderes Bild lieferten die Untersuchungen mit den Kunststoffbahnen (PE-HD, PVC-P). Die Wirkungen der PF 1 und der PF 1a unterscheiden sich hier kaum. Mit der potenziellen Prüfflüssigkeit für E10 (PF E10) entstanden Masse- und Härteänderungen, die das Niveau der PF 1 und PF 1a erreichten. Die

Quellwirkung von E85 bzw. PF E85 W war bei PE-HD geringer und bei PVC-P vergleichbar mit diesen Prüfflüssigkeiten (PF 1, PF 1a, PF E10).

Anhand der Untersuchungen mit den Beschichtungen wird deutlich, dass zwischen der Quellwirkung der PF 1 und der PF 1a ein erheblicher Unterschied besteht. Beschichtungen, die gegenüber Mischungen aus Ottokraftstoff und Bioethanol (E85 und E10) möglicherweise eine ausreichende Beständigkeit aufweisen, können mit der PF 1 nicht sicher beurteilt werden und versagen u. U. bei der Prüfung mit der PF 1a. Folglich sollte hier die Möglichkeit eröffnet werden, mit Prüfflüssigkeiten zu arbeiten, die sich zwischen den Wirkungen der PF 1 und der PF 1a einordnen lassen. Diese Lücke kann mit Mischungen aus der Prüfflüssigkeit für Ottokraftstoffe PF 1 und der potenziellen PF E100 (Bioethanol) geschlossen werden.

Untersuchungen mit entsprechenden Modellmischungen für Ethanolkraftstoff E85 nach DIN 51625, Tabelle 2, zeigten für EP und PUR, dass E85 in der Zusammensetzung "Winter" mit 70 Vol.-% PF E100 ein stärkeres Quellen verursachen kann als in der Zusammensetzung "Sommer" mit 86 Vol.-% PF E100. Mit der PF E85 Sommer wird etwa die Wirkung der E85-Handelsproben erreicht. Als potenzielle Prüfflüssigkeit für E85 ist folglich die Variante PF E85 Winter zu empfehlen. Aus dem Vergleich der Modellmischungen für E10 (PF E10) und E85 (PF E85 Winter) resultiert weiterhin, dass die PF E10 eine stärkere Quellwirkung als die PF E85 Winter aufweist. Dies sollte bei der Prüfung von Beschichtungen berücksichtigt werden. Einen entsprechenden Vorschlag für eine mögliche neue Gliederung der Mediengruppe 1 der Zulassungsgrundsätze, mit der eine differenzierte Beurteilung von Beschichtungen ermöglicht werden soll, zeigt Tabelle 5.5.

Um Mischungen aus der Prüfflüssigkeit PF 1 und der potenziellen PF E100 besser beurteilen zu können, wären weitere Untersuchungen erforderlich. Dies betrifft sowohl die Frage, bei welchem Anteil zwischen 5 und 70 Vol.-% Bioethanol (PF E100) die Quellwirkung ein Maximum erreicht, als auch den Vergleich mit Handelsproben (E10). Zu beachten ist hier die synergistische Wirkung von Toluol, das in der PF1 enthalten ist, und Ethanol (vgl. dazu auch Abschnitt 3.1).

Abschließend ist noch auf Folgendes hinzuweisen: Prüfflüssigkeiten für Ottokraftstoffe mit sauerstoffhaltigen Verbindungen sind in der DIN ISO 1817 enthalten (vgl. Anlage 5, Tabellen 1a und 1b). In den Zulassungsgrundsätzen kommt die Prüfflüssigkeit 2 nach DIN ISO 1817 unter der Bezeichnung PF 1a (FAM-Prüfflüssigkeit DIN 51604-B) zum Einsatz und war Bestandteil der vorliegenden Untersuchungen. Darüber hinaus bietet DIN ISO 1817 drei weitere Prüfflüssigkeiten für Ottokraftstoffe mit sauerstoffhaltigen Verbindungen. Diese Varianten wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeiten nicht betrachtet. Bereits bei der Anpassung der Zulassungsgrundsätze des DIBt im Jahr 1991 an die damaligen Veränderungen bei der Zusammensetzung von Ottokraftstoffen (vgl. Abschnitt 3.1) wurde nicht auf die seit 1981 existierende FAM-Prüfflüssigkeit DIN 51604-A (Prüfflüssigkeit 1 nach DIN ISO 1817) zurückgegriffen. Auch die Prüfflüssigkeit C der DIN ISO 1817 (vgl. auch SAE J1681, ASTM D 471), die die Basis der Prüfflüssigkeiten 3 und 4 nach DIN ISO 1817 bildet, wurde nicht in Betracht gezogen. Resultat umfangreicher Untersuchungen [9, 10, 11] war die heute gültige Prüfflüssigkeit PF 1 für Ottokraftstoffe, die in den vorliegenden Untersuchungen als Basis für die Herstellung von Prüfflüssigkeiten für Gemische aus Ottokraftstoff und Bioethanol (E85 und E10) diente.

Tabelle 5.4: Bewertung der Untersuchungen mit Gemischen aus Ottokraftstoff und Bioethanol, Fragen gemäß Abs. 5.1, Zahlenwerte: Masse- (Δm_B , Δm_R) und Härteänderungen (ΔH_B , ΔH_R) nach der Beanspruchung über 28 Tage und nach Rücktrocknung über 28 Tage, Zahlenangaben in [%]

	EP	PUR	PE-HD	PVC-P
Δm_B (Min. ... Max.)	+ 0,2 ... + 10,3 - 0,4 ... + 14,8 (1 bar)	+ 20,1 ... + 60,8 + 58,4 + 201,2 (1 bar)	+ 2,8 ... + 9,2	<u>1 d: + 8,1 ... + 27,1</u> ²⁾ 28 d: - 2,9 ... + 1,9
Δm_R (Min. ... Max.)	+ 0,2 ... + 7,2 - 0,3 ... + 7,4 (1 bar)	+ 0,3 ... + 5,8 + 6,4 ... + 22,5 (1 bar)	+ 0,3 ... + 0,6	- 8,1 ... - 19,8
ΔH_B (Min. ... Max.)	- 1 ... - 19 - 6 ... - 32 (1 bar)	- 72 ... - 81 - 71 ... - 74 (1 bar)	- 1 ... - 7	- 11 ... - 26
ΔH_R (Min. ... Max.)	- 10 ... + 6 - 3 ... - 7 (1 bar)	- 26 ... - 40 - 46 ... - 51 (1 bar)	+ 1 ... + 3	+ 3 ... + 14
Frage 1:	<u>EP</u> : Einlagerungen ergaben eine Wirkung in der Reihenfolge E5 < PF 1 < E85, PF E85 S < PF E10 < PF E85 W; Druckversuche ergaben dagegen, dass PF 1 > E85, PF E10, PF E85 W. <u>PUR</u> : E85, E5, PF E85 W < PF 1 < PF E10. <u>EP</u> und <u>PUR</u> : PF 1a ist zu aggressiv. <u>PE-HD</u> , <u>PVC-P</u> : PF 1 und PF 1a wirken deutlich stärker quellend als E85, vergleichbar mit PF E10.			
PF 1 ¹⁾	+ 0,5 / - 5 + 6,7 / - 8 (1 bar)	+ 33,8 / - 72 + 86,2 / - 71 (1 bar)	+ 9,2 / - 6	<u>1 d: + 26,4</u> ²⁾ 28 d: + 1,9 / - 26
PF 1a ¹⁾	+ 10,3 / Risse + 14,8 / - 32 (1 bar)	+ 58,2 (2 d) / - 76, Riss + 201 / Risse (1 bar)	+ 8,9 / - 6	<u>1 d: + 24,4</u> ²⁾ 28 d: - 2,9 / - 24
Frage 2:	PF 4 ist ungeeignet. Die zu beurteilenden Gemische werden nicht korrekt abgebildet.			
PF 4 ¹⁾	+ 0,2 / - 2	+ 60,8 / Risse	-	-
Frage 3:	<u>EP</u> und <u>PUR</u> : E85-Proben bewirken etwas unterschiedliche Masseänderungen. <u>EP</u> : Masse- und Härteänderung ist bei E85 > E5. <u>PUR</u> : Masseänderung E5 > E85.			
E85-1 ¹⁾	+ 2,2 / - 10	+ 28,1 / - 79	-	-
E85-6 ¹⁾	+ 2,1 / - 10 - 0,4 / - 6 (1 bar)	+ 25,1 / - 79 + 58,4 / - 72 (1 bar)	+ 2,8 / - 1	<u>2 d: + 11,0</u> ²⁾ 28 d: + 1,1 / - 11
E85-8 ¹⁾	+ 1,8 / - 10 + 5,1 / - 6 (1 bar)	+ 23,0 / - 78 + 73,3 / - 74 (1 bar)	-	-
E5 S ¹⁾	+ 0,2 / - 1	+ 32,8 / - 74	-	-
Frage 4:	Jahreszeitliche Unterschiede in der Zusammensetzung sind in der DIN 51625 festgelegt. PF E85 Winter führt zu stärkerem Quellen als PF E85 Sommer. PF E85 S entspricht in etwa E85.			
Frage 5:	Die Masseänderung durch E85-1 (Tankstelle) war etwas höher als bei E85-8 (Werksprobe).			
Frage 6:	Hierzu erfolgten keine Untersuchungen.			
Frage 7:	PF 1a deckt E5, E10 und E85 ab. Die Beanspruchung ist aber bei EP und PUR zu hoch. Empfohlen werden neue Stufen zwischen den vorhandenen PF 1 und PF 1a. <u>EP</u> : PF E10 und PF E85 W könnten als Stufen zwischen PF 1 und PF 1a einbezogen werden. <u>PUR</u> : PF E10 wäre als Zwischenstufe ausreichend, da die Wirkung von PF 85 W ≈ PF 1 entspricht. <u>PE</u> , <u>PVC</u> : PF E85 W wird mit PF 1 abgedeckt und PF E10 ist vergleichbar mit PF 1 bzw. PF 1a. PF E10 schließt stets PF E85 W ein (Ausnahme: Ergebnisse bei der Einlagerung von EP).			
PF E 10 ¹⁾	+ 2,5 / - 11 + 0,8 / - 12 (1 bar)	+ 47,4 / - 81 + 149 / Risse (1 bar)	+ 9,1 / - 7	<u>1 d: + 27,1</u> ²⁾ 28 d: - 1,8 / - 23
PF E85 W ¹⁾	+ 3,2 / - 19 - 0,2 / - 9 (1 bar)	+ 34,8 / - 80 + 77,0 / - 73 (1 bar)	+ 3,9 / - 2	<u>1 d: + 17,8</u> ²⁾ 28 d: - 2,7 / - 13
PF E85S ¹⁾	+ 1,8 / - 17	+ 20,1 / - 79	-	-

¹⁾ Hier ist die Masse- und Härteänderung nach der Beanspruchung über 28 Tage Δm_B / ΔH_B angegeben.

²⁾ Zu beachten ist, dass die Masseänderung bei PUR und PVC-P z. T. bereits vor dem 28. Tag das Maximum erreichte (vgl. Anlagen 8 und 9). Bei PVC-P traten die Maxima häufig nach 1 Tag auf (unterstrichene Werte).

Tabelle 5.5: Vorschlag für die Gestaltung der Mediengruppe 1

PF E100 sollte der Gruppe der Alkohole (PF 5) zugeordnet werden und ist hier nur zur besseren Übersicht eingeordnet.

Prüfflüssigkeit	Mediengruppe	Zusammensetzung der Prüfflüssigkeit
PF 1	Ottokraftstoffe, Super und Normal nach DIN EN 228 mit einem maximalen (Bio) Ethanolgehalt von 5 Vol.-% (nach DIN EN 15376)	47,5 Vol.-% Toluol 30,4 Vol.-% Isooctan (2,2,4 Trimethylpentan) 17,1 Vol.-% n-Heptan 3,0 Vol.-% Methanol 2,0 Vol.-% tert. Butanol
PF E100	(Bio) Ethanol als Blendkomponente in Ottokraftstoff nach DIN EN 15376	Komp. basierend auf DIN EN 15376, Tab.1 98,7 Masse-% Ethanol, ≥ 99,8 % 1,0 Masse-% Methanol, 99,9 % 0,007 Masse-% Essigsäure, 100 % 0,293 Masse-% Wasser
PF E85	Ethanolkraftstoff nach DIN 51625 (E DIN EN 15293) mit einem maximalen (Bio) Ethanolgehalt von 86 Vol.-% (nach DIN EN 15376) (einschl. E100)	Komponenten basierend auf DIN 51625, Tab. 2 (Winter): 70 Vol.-% PF E100 30 Vol.-% PF 1
PF E10	Ottokraftstoffe nach E DIN 51626-1 mit einem maximalen (Bio) Ethanolgehalt von 10 Vol.-% (nach DIN EN 15376) (einschl. 1, E100, E85,)	Komponenten basierend auf DIN 51626-1, Tab. 1 10 Vol.-% PF E100 90 Vol.-% PF 1
PF 1a	Ottokraftstoffe, Super und Normal mit Zusatz von (Bio -) Alkohol nach DIN EN 228, E DIN 51626-1 sowie Ethanolkraftstoff nach DIN 51625 (einschl. 1, E100, E85, E10)	FAM-Prüfflüssigkeit DIN 51604-B mit 84,5 Vol.-% FAM-Prüfflüssigkeit DIN 51604-A 15,0 Vol.-% Methanol 0,5 Vol.% deionisiertes Wasser

5.6 Offene Fragen - Forschungsbedarf

In den Abschnitten 5.2 bis 5.5 wurde mehrfach auf offene Fragen hingewiesen. An dieser Stelle werden diese zusammengefasst und Ansätze für weiterführende Forschungsarbeiten bzw. ergänzende systematische Untersuchungen aufgezeigt. Dies betrifft Folgendes:

1. Eine Referenzflüssigkeit für Biodiesel (Fettsäuremethylester) sollte nicht nur die Wirkung der Handelsprodukte einschließlich gealterter Biodiesel abbilden, sondern eine etwas verschärzte Quellwirkung aufweisen ("Vorhaltemaß"). Vielversprechend erscheint der Ansatz, die Quellwirkung von Methyloleat, das als Hauptkomponente einer Prüfflüssigkeit für Biodiesel in Betracht zu ziehen ist (PF B100), durch Decansäuremethylester zu verstärken.
2. Liegt die Zusammensetzung einer Prüfflüssigkeit für Biodiesel (PF B100) vor, so sollte diese auch für die Herstellung der Prüfflüssigkeiten für Gemische aus Dieselkraftstoff bzw. Heizöl EL und Biodiesel (PF 3a, 3b) dienen. Die Eignung von Mischungen aus PF B100 und der Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817 ist nachzuweisen.
3. Bei Gemischen aus Ottokraftstoff und Bioethanol sollte der Frage nachgegangen werden, bei welchem Mischungsverhältnis von Prüfflüssigkeit PF 1 mit der potenziellen PF E100 die Quellwirkung ein Maximum erreicht. Weiterhin steht bei diesen Gemischen ein Vergleich mit Handelsproben (E10) aus.

6 Zusammenfassung

Bikraftstoffe (Biodiesel, Bioethanol) und Gemische aus herkömmlichen Kraftstoffen mit Biokomponenten, z. B. Ottokraftstoff mit Bioethanol (E5, E10, E85) oder Dieselkraftstoff mit Biodiesel (B7) sind vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) bei der Erteilung allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen für Abdichtungsmittel in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Flüssigkeiten (LAU-Anlagen) zunehmend zu berücksichtigen. Die im Zulassungsverfahren übliche Beurteilung der Beständigkeit eines Abdichtungsmittels gegenüber einer Mediengruppe (Gruppe von Flüssigkeiten mit vergleichbarer chemischer Wirkung auf Abdichtungsmittel) anhand einer Referenzflüssigkeit (aggressivste oder repräsentative Flüssigkeit einer Mediengruppe), ist bei Bikraftstoffen nicht sicher anwendbar. Bereits in die Zulassungsgrundsätze eingeführte Prüfflüssigkeiten (PF) von Mediengruppen, die Bikraftstoffe repräsentieren, wurden bisher weder systematisch mit Handelsprodukten verglichen noch hinsichtlich ihrer Wirkung auf verschiedene Kunststoffe eingehender untersucht. Auch die auf der Basis von Erfahrungen gewählten Zusammensetzungen dieser Prüfflüssigkeiten unterlagen bisher keiner kritischen Bewertung. Bei Prüfungen von Abdichtungsmitteln mit diesen Prüfflüssigkeiten zeigten sich in einzelnen Fällen unterschiedliche und auch widersprüchliche Ergebnisse.

Das Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war es, die genannten Aspekte aufzugreifen und eine Grundlage für die Bewertung der zurzeit eingesetzten Prüfflüssigkeiten für Bikraftstoffe zu schaffen. Darüber hinaus sollten Ansatzpunkte erarbeitet werden, die es gestatten, Zusammensetzungen von Prüfflüssigkeiten zu optimieren und/oder neuen Entwicklungen auf dem Gebiet der Bikraftstoffe (z. B. E10) anzupassen. Weiterhin kann die Präzisierung der Zusammensetzungen der Prüfflüssigkeiten dazu beitragen, die Vergleichs- und Wiederholbarkeit von Prüfergebnissen im Rahmen der Zulassungsverfahren zu verbessern.

Dafür wurden Vergleichsuntersuchungen durchgeführt, in die Handelsproben verschiedener Biodieselhersteller, Dieselkraftstoffe mit Biodieselanteilen, Bioethanolproben und Mischungen mit Ottokraftstoff sowie bestehende Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze des DIBt und potenziell neue Prüfflüssigkeiten einbezogen waren. Neben einer LiteratURAUSWERTUNG zur Zusammensetzung und den Eigenschaften von Biodiesel und Bioethanol (Abschnitt 2) wurden für die eingesetzten Flüssigkeiten ausgewählte Kennwerte bestimmt (Dichte, dyn. Viskosität, Oberflächenspannung, IR-Spektren).

Für die Untersuchungen dienten allgemein bauaufsichtlich zugelassene Abdichtungsmittel für LAU-Anlagen, und zwar zwei Beschichtungssysteme (EP, PUR) und zwei Kunststoffbahnen (PE-HD, PVC-P). Diese Abdichtungen wurden über 28 Tage in die Kraftstoffe bzw. in die entsprechenden Prüfflüssigkeiten eingelagert. Bei den Beschichtungen erfolgten neben den Einlagerungen auch Druckversuche (1 bar) über 28 Tage entsprechend der Zulassungsgrundsätze des DIBt. Bewertungskriterien für die Wirkung der eingesetzten Flüssigkeiten (Aggressivität, Quellwirkung) und das Verhalten nach der Flüssigkeitsbeanspruchung (Rücktrocknung über 28 Tage) waren die Masse-, die Volumen- und die Härteänderung der Kunststoffe.

Der Auswahl der Abdichtungsmittel lag der Gedanke zugrunde, dass anhand von Werkstoffen mit deutlich verschiedener Beständigkeit gegenüber wassergefährdenden Flüssigkeiten das Wirkungsspektrum der zu untersuchenden Kraftstoffgemische und der entsprechenden Prüfflüssigkeiten sichtbar wird. Die Beständigkeit der ausgewählten Produkte sollte in etwa das Leistungsspektrum der zugelassenen Beschichtungssysteme und Kunststoffbahnen für den Einsatz in LAU-Anlagen abgrenzen. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass nicht die Prüfung der Beständigkeit der ausgewählten Werkstoffe gegenüber von Bikraftstoffen das Ziel der vorliegenden Arbeit war, sondern die Verifizierung entsprechender Referenzflüssigkeiten. Dementsprechend gab es auch Versuchskombinationen, bei denen davon auszugehen war, dass einzelne der einbezogenen Kunststoffe gegenüber der Flüssigkeit nicht ausreichend beständig sind.

Entsprechend des o. g. Ziels wurde damit überprüft, ob die Wirkung der vorhandenen oder potenziellen Prüfflüssigkeiten der Handels- bzw. Kraftstoffproben entsprach.

Hinsichtlich der Formulierung von Prüfflüssigkeiten für Biokraftstoffe sind neben den gesetzlichen Regelungen (10. BlmSchV vom 8. Dezember 2010) auch die EU-Richtlinien (z. B. 2009/30/EG), die Vorgaben der Regelwerke (Normen für Kraftstoffe) und Erkenntnisse aus Forschungsarbeiten zu beachten. Auf diese Aspekte wird im Abschnitt 3 eingegangen. Ein wesentlicher Aspekt ist aber auch, dass chemisch eindeutig definierte Flüssigkeiten zur Zubereitung der Prüfflüssigkeiten eingesetzt werden sollten. Werden Handelsprodukte bestimmter Hersteller verwendet, so sind Schwankungen in der Zusammensetzung kaum vermeidbar. Diese können aus Folgendem resultieren: der Wahl des Herstellers, der bezogenen Charge, der jahreszeitlich verschiedenen Zusammensetzung und der Lagerungsdauer sowie den Lagerungsbedingungen.

Die Untersuchungen mit Biodieseln verschiedener Hersteller ergaben, dass sich die entsprechend der Zulassungsgrundsätze zu verwendenden Rapsölmethylester zweier Hersteller (PF 7b) in das Spektrum der Wirkungen der untersuchten Biodieselproben einordnen. Dies betrifft die Veränderungen der Kunststoffe sowohl während der Beanspruchung als auch bei der Rücktrocknung. Dementsprechend kann die zurzeit in den Zulassungsgrundsätzen festgelegte Prüfflüssigkeit für Biodiesel als repräsentativ angesehen werden. Eine etwas erhöhte Beanspruchung bzw. Verschärfung der Quellwirkung, die für eine Prüfflüssigkeit typisch wäre, um mit Sicherheit die Wirkung aller am Markt verfügbaren Biodiesel abzudecken, ist damit aber nicht gegeben.

Nach der Einlagerung in Biodiesel trat bei keinem der untersuchten Kunststoffe eine nennenswerte Rücktrocknung ein, d. h. die Masse und die Erweichung (Abnahme der Härte) blieben über den 4-wöchigen Beobachtungszeitraum bei 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchte nahezu konstant. Damit wirkt Biodiesel in den untersuchten Kunststoffen praktisch wie ein Weichmacher. Weiterhin wurde beobachtet, dass infolge von Alterungsprozessen die Quellwirkung von Biodiesel zunahm.

Als Referenzflüssigkeit zur Prüfung der Beständigkeit von Kunststoffen gegenüber Biodiesel (Fettsäuremethylester) wird, ausgehend von den erzielten Ergebnissen, Ölsäuremethylester (Methyloleat) vorgeschlagen. Charakterisiert wurde der eingesetzte Ölsäuremethylester mittels GC-MSD. Die mit Methyloleat erzielten Ergebnisse lassen dabei den Schluss zu, dass eine detaillierte Nachstellung der Fettsäureanteile von in Deutschland hergestellten Biodieseln nicht zwingend erforderlich ist. Ein Vorschlag für eine entsprechende Prüfflüssigkeit PF B100 orientiert sich an den Vorgaben der DIN EN 14214 und DIN EN 590. In weiterführenden Untersuchungen sollte überprüft werden, inwieweit die Quellwirkung der vorgeschlagenen PF B100 praxisgerecht verstärkt werden kann, um die Wirkung aller am Markt verfügbaren Biodiesel und auch die von gealtertem Biodiesel sicher abzudecken.

Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze, die für die Gemische mit 5 Vol.-% und 20 Vol.-% Biodieselanteil (PF 3a und 3b) eingesetzt werden, weisen eine höhere Quellwirkung auf als die untersuchten Handelsprodukte (Dieselkraftstoff B7 von Tankstellen). Dies kann im Wesentlichen auf die ausreichend bemessene Quellwirkung der Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817 zurückgeführt werden, die Hauptbestandteil der PF 3a bzw. 3b ist. Infolge von Alterungsprozessen des Biodiesels verstärkte sich die Quellwirkung der untersuchten Gemische mit 5 Vol.-% und 20 Vol.-% Biodieselanteil.

Überprüft werden sollte, ob aufgrund der aktuellen Entwicklungen (B7) der Biodieselanteil der Mediengruppe 3a von 5 auf 10 Vol.-% zu erhöhen ist. Denkbar wäre hier auch, die PF 3a zu streichen und entsprechende Gemische mit der PF 3b zu prüfen. Höhere Beimischungen von Biodiesel (über 20 Vol.-%) erfordern neue Prüfgemische.

Im Hinblick auf die Formulierung neuer Prüfflüssigkeiten für Gemische aus Dieselkraftstoff bzw. Heizöl EL und Biodiesel kann aus den Untersuchungen abgeleitet werden, dass die Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817 unverändert als Basis dienen sollte. Die bisher eingesetzten Biodiesel sind grundsätzlich als Beimischungen geeignet und können beibehalten werden. Sobald eine neue PF B100 auf der Basis von Methyloleat verfügbar ist, kann diese als Beimischung verwendet werden. Der Nachweis der Eignung solcher Mischungen wäre aber in zukünftigen Untersuchungen noch zu erbringen.

Untersuchungen zur Wirkung von Bioethanol auf Kunststoffe erfolgten mit entsprechenden Handelsproben, mit Ethanol ($\geq 99,8\%$), mit Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze des DIBt (PF 5, 5a, 5b) und einer potenziellen Prüfflüssigkeit für Bioethanol (PF E100), die auf den Vorgaben in der DIN EN 15376 basiert. Bei den Beschichtungen (EP, PUR) wurde die Wirkung von Bioethanol durch die existierenden Prüfflüssigkeiten PF 5 und 5b nicht erreicht. Die PF 5a schädigte demgegenüber zu stark. Weiterhin war die Wirkung nicht identisch mit der von Ethanol ($\geq 99,8\%$) und der potenziellen PF E100. Bei Kunststoffbahnen (PE-HD, PVC-P) entsprach die Wirkung der Bioethanolproben der von Ethanol ($\geq 99,8\%$) und auch der potenziellen PF E100. Um einen Ansatz für die Erklärung der Beobachtungen bei den Beschichtungen zu liefern, erfolgten Analysen der Bioethanolproben mittels GC-MSD. Anhand dieser Analysen ist zu erkennen, dass in den Bioethanolproben neben höheren Alkoholen auch Essigsäureester und Acetaldehyd sowie entsprechende Verbindungen dieser Stoffe in geringen Anteilen enthalten sind.

Mit dieser potenziellen PF E100 und der in den Zulassungsgrundsätzen festgelegten Prüfflüssigkeit PF 1 ist es möglich, Modellmischungen für Ottokraftstoffe mit Bioethanolanteilen herzustellen, z. B. für E85 und E10. Aus den Untersuchungen mit den Beschichtungen folgt, dass die Spannweite der Wirkungen zwischen der PF 1 und der PF 1a zu groß ist. Beschichtungen, die gegenüber Mischungen mit Ottokraftstoff (E85 und E10) möglicherweise eine ausreichende Beständigkeit aufweisen, können mit der PF 1 nicht sicher beurteilt werden und versagen u. U. bei der Prüfung mit der PF 1a. Folglich sollte hier die Möglichkeit eröffnet werden, mit Prüfflüssigkeiten zu arbeiten, die sich zwischen den Wirkungen der PF 1 und der PF 1a einordnen lassen. Untersuchungen mit entsprechenden Modellmischungen für E85 nach DIN 51625, Tabelle 2, zeigten für EP und PUR, dass E85 in der Zusammensetzung "Winter" ein stärkeres Quellen verursachen kann als in der Zusammensetzung "Sommer". Mit der PF E85 Sommer wird etwa die Wirkung der E85-Handelsproben erreicht. Als potenzielle Prüfflüssigkeit für E85 ist folglich die Variante PF E85 Winter zu empfehlen. Um Mischungen aus der Prüfflüssigkeit PF 1 und der potenziellen PF E100 besser beurteilen zu können, wären weitere Untersuchungen erforderlich. Dies betrifft sowohl die Frage, bei welchem Ethanolanteil die Quellwirkung ein Maximum erreicht, als auch den Vergleich mit Handelsproben (E10).

Ein anderes Bild lieferten die Untersuchungen mit den Kunststoffbahnen (PE-HD, PVC-P). Hier unterschieden sich die Quellwirkungen der PF 1 und der PF 1a kaum von der potenziellen Prüfflüssigkeit für E10 (PF E10). E85 bewirkte bei PVC-P etwa vergleichbare Masse- und Härteänderungen und bei PE-HD geringere. Somit ist bei Kunststoffbahnen keine Notwendigkeit erkennbar, die Prüfflüssigkeiten der Mediengruppe 1 (PF 1 und PF 1a) um Prüfmischungen für E85 und E10 zu ergänzen.

7 Literatur

- [1] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): Biokraftstoffe, Basisdaten Deutschland. Ausgaben 2008, 2009, 2010, 2011
- [2] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): Biokraftstoffe, Eine vergleichende Analyse. Ausgabe 2009
- [3] Schmiedel, H.-P.: Biokraftstoffe - Eigenschaften und Erfahrungen bei der Anwendung. Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK), Forschungsbericht 611, Hamburg, Dezember 2002
- [4] <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php?id=2291&spalte=3> (Standortkarten), 13.09.2010
- [5] Ehrenstein, G. W.; Pongratz, S.: Beständigkeit von Kunststoffen. Bd. 1 und 2, Hanser Verlag, München, 2007
- [6] Doležel, B.: Die Beständigkeit von Kunststoffen und Gummi. Hrsg. von C.-M. Meisenburg, Hanser Verlag, München, 1978
- [7] Sickfeld, J.: Entwicklung eines Prüfheizöls EL auf der Basis definierter Komponenten für die Eignungsprüfung von Polymerwerkstoffen. Materialprüfung, 15. Jg. (1973), Nr. 8, S. 267-272
- [8] Sickfeld, J.: Heizölbeständigkeit von Beschichtungsstoffen, Prüfprobleme. Farbe und Lack, 79. Jg. (1973), Nr. 12, S. 1141-1152
- [9] Sickfeld, J.: Innenbeschichtungen von Benzintanks prüfen. Materialprüfung, 31. Jg. (1989), Nr. 1-2, S. 30-33
- [10] Sickfeld, J.: Einwirken von Kraftstoffkomponenten auf Tankinnenbeschichtungen. Farbe und Lack, 95. Jg. (1989), Nr. 4, S. 239-244
- [11] Sickfeld, J.; Winskowski, J.: Wechselwirkungen zwischen organischen Beschichtungen und Kraftstoffkomponenten. Materialprüfung, 34. Jg. (1992), Nr. 1-2, S. 33-36
- [12] Zehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immisionsschutzgesetzes (Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualität von Kraft- und Brennstoffen - 10. BImSchV) vom 08.12.2010, in Bundesgesetzblatt Jg. 2010 Teil I Nr. 62, S. 1849-1861
- [13] Richtlinie 2009/30/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Spezifikationen für Otto-, Diesel- und Gasölkraftstoffe und die Einführung eines Systems zur Überwachung und Verringerung der Treibhausgasemissionen sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/32/EG des Rates im Hinblick auf die Spezifikation für von Binnenschiffen gebrauchte Kraftstoffe und zur Aufhebung der Richtlinie 93/12/EWG. Amtsblatt der Europäischen Union L 140/88 vom 5.6.2009
- [14] Scholz, M.: Korrosionsverhalten von metallischen Werkstoffen und Beschichtungen in Kraftstoffen. Dissertation Fachbereich Maschinenbau der TU Darmstadt, 2009
- [15] Rohde, W.; Deloux, L.: Europäische Patentschrift EP 1 042 399 B1 Verwendung von durch sterisch gehinderte Amine stabilisierten Ethylenpolymeren zur Herstellung von Kunststoffkörpern für Lagerung/Transport von Pflanzenölestern, Anmeldetag 09.12.1998
- [16] Wehlmann, J.: Use of esterified rapeseed oil plasticizer in plastics processing. Fett/Lipid, Vol. 101 (1999), Nr. 6, S. 249-256
- [17] Marson-Pahle, M.; Ackermann, H.: Werkstoffbeständigkeit von Kunststoffen gegen Heizöl/FAME- und Heizöl/Soyaöl-Mischungen. Institut für Kunststoffverarbeitung, Aachen, und Öl-Wärme-Institut GmbH, Herzogenrath, 2009
- [18] Wetter, C.; Florack, M.; Tiemann, M.; Brügging, E.: Abscheidewirkung von Leichtflüssigkeitsabscheidern bei Zufluss von Biodieselprodukten. Fachhochschule Münster, Fachbereich Energie, Gebäude, Umwelt, Labor für Wasser-, Abwasser- und Umwelttechnik, 2007
- [19] Leitsätze für Speisefette und Speiseöle vom 17.04.1997, geändert am 02.10.2001, in Bundesanzeiger Nr. 239a vom 20.12.1997 und BAnz Nr. 199 vom 24.10.2001
- [20] Wörgetter, M. et al.: Local and Innovative Biodiesel. Final Report FJ-BLT Wieselburg, Report No. 46, March 2006

- [21] Lang, X. et al.: Preparation and characterization of bio-diesels from various bio-oils. *Bioresource Technology*, Vol. 80 (2001), Issue 1, 53-62
- [22] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *Pflanzen für die Industrie*. Ausgabe 2005
- [23] Moser, B. R.: Biodiesel production, properties and feedstocks. *In Vitro Cellular & Development Biology - Plant*, Vol. 45 (2009), No. 3, 229-266
- [24] Connemann, J.: *Biodiesel in Europa 1994*. *Fat Science Technology*, 96. Jg. (1994), S. 536-548
- [25] Gutsche, B.: Technologie der Methylesterherstellung-Anwendung für die Biodieselproduktion. *Fett/Lipid*, 99. Jg. (1997), Nr. 12, 418-427
- [26] Dittmar, T.; Dimmig, T.; Ondruschka, B.; Heyn, B.; Haupt, J.; Lauterbach, M.: Herstellung von Fettsäuremethylestern aus Rapsöl und Altfetten im diskontinuierlichen Betrieb. *Chemie Ingenieur Technik*, 75. Jg. (2003), 595-601, 601-608, 787-791
- [27] Demirbas, A: *Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines*. Springer-Verlag London, 2008
- [28] Knothe, G.; Gerpen, J. V.; Krahl, J.: *The Biodiesel Handbook*. AOCS Press, Urbana, 2005
- [29] Ali, Y.; Hanna, M.A.: Alternative Diesel Fuels from vegetable Oils. *Bioresource Technology*, Vol. 50 (1994), No. 2, 153-163
- [30] Rodrigues, J. de A. et al.: Correlating Chemical Structure and Physical Properties of Vegetable Oil esters. *Journal of the American Oil Chemists' Society JAOCS*, Vol. 83 (2006), No. 4, 353-357
- [31] Allen, C.A.W. et al.: Predicting the Surface tension of Biodiesel Fuels from their Fatty Acid Composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society JAOCS*, Vol. 76 (1999), No. 3, 317-323
- [32] Krahl, J. et al.: Untersuchungen der Emissionen von Biodiesel und neuen Dieselkraftstoffen. Fachtagung BayLfU "Bioenergie-Umweltfreundliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe", 26. Januar 2006, 47-57
- [33] Knothe, G.; Steidley, R.: Fatty Acid Esters as Solvents: Evaluation of the Kauri-Butanol Value. Comparison to Hydrocarbons, Dimethyl Diesters, and Other Oxygenates. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 50 (2011), No. 7, 4177-4182
- [34] Hu, J. et al.: Study on the Solvent Power of a new Green Solvent: Biodiesel. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 43 (2004), No. 24, 7928-7931
- [35] Knothe, G.: Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing technology*, Vol. 86 (2005), No. 10, 1059-1070
- [36] Belitz, H.-D. et al.: *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. Springer, 6. Auflage, 2008
- [37] Baltes, W.: *Lebensmittelchemie*. Springer, 6. Auflage, 2007
- [38] Knothe, G.: Some aspects of biodiesel oxidative stability. *Fuel Processing technology*, Vol. 88 (2007), No. 7, 669-677
- [39] Simkovsky, N.M.; Ecker, A.: Einfluss von Licht und Tocopherolgehalt auf die Oxidationsstabilität von Fettsäuremethylestern. *Fett/Lipid*, Vol. 100 (1998), Nr. 12, 534-538
- [40] Dittmar, T. et al.: Verbesserung der Oxidationsstabilität von Fettsäuremethylestern mit Antioxidantien - Grenzen des Rancimat Tests. *Chemie Ingenieur Technik*, Vol. 76 (2004), Nr. 8, 1167-1170
- [41] Dittmar, T. et al.: Ermittlung des Einflusses von Fettrohstoff und Prozesstechnologie auf die Oxidationsstabilität von Fettsäuremethylestern. *Chemie Ingenieur Technik*, Vol. 76 (2004), Nr. 8, 1170-1179
- [42] Knothe, G.: "Designer" Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties. *Energy & Fuels*, Vol. 22 (2008), No. 2, 1358-1364
- [43] Schmitz, N (Hrsg.): *Bioethanol in Deutschland*. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" Band 21, Landwirtschaftsverlag Münster, 2003
- [44] Spitzer, P. et al.: ph and electrolytic conductivity as parameters to characterize bioethanol. Accreditation and Quality Assurance: *Journal for Quality, Comparability and Reliability in Chemical Measurement*, Vol. 14 (2009), Nr. 12, 671-676
- [45] Renewable Fuel Association: *E 85 Fuel Ethanol, Industry Guidelines, Specifications and Procedures*, RFA Publication # 090301, March 2009

- [46] Demirbas, A: Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non catalytic supercritical methanol transesterification methods. Progress in Energy and Combustion Science. 31. Jg. (2005), 466-487
- [47] Verordnung (EG) Nr. 625/2003 der Kommission vom 2. April 2003 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1623/2000 mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 1493/1999 des Rates über die gemeinsame Marktorganisation für Wein bezüglich der Marktmechanismen
- [48] Landolt-Börnstein: Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. Group IV: Physical Chemistry, Volume 16, Surface Tension of Pure Liquids and Binary Liquid Mixtures, Volume 18, Viscosity of Pure Organic Liquids and Binary Liquid Mixtures, Springer, 1997

8 Normen, Richtlinien, Zulassungsgrundsätze

DIN 1999-101:2009-05	Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten - Teil 101: Zusätzliche Anforderungen an Abscheideranlagen nach DIN EN 858-1, DIN EN 858-2 und DIN 1999-100 für Leichtflüssigkeiten mit Anteilen von Biodiesel bzw. Fett-säure-Methylester (FAME)
DIN 51603-1:2008-08	Flüssige Brennstoffe - Heizöle - Teil 1: Heizöl EL, Mindestanforderungen
DIN SPEC 51603-6:2011-06	Flüssige Brennstoffe - Heizöle - Teil 6: Heizöl EL A, Mindestanforderungen
DIN 51604-1:1982-11	FAM Prüfflüssigkeit für Polymerwerkstoffe, Zusammensetzung und Anforderungen
DIN 51604-2:1984-03	FAM Prüfflüssigkeit methanolhaltig für Polymerwerkstoffe, Zusammensetzung und Anforderungen
DIN 51604-3:1984-03	FAM Prüfflüssigkeit methanolhaltige Unterphase für Polymerwerkstoffe, Zusammensetzung und Anforderungen
DIN 51605:2010-09	Kraftstoffe für pflanzenöltaugliche Motoren - Rapsölkraftstoff - Anforderungen und Prüfverfahren
DIN 51625:2008-08	Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Ethanolkraftstoff - Anforderungen und Prüfverfahren
E DIN 51626-1:2010-11	Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Anforderungen und Prüfverfahren - Teil 1: Ottokraftstoff E10 und Ottokraftstoff E5
DIN 53505:2000-08	Prüfung von Kautschuk und Elastomeren, Härteprüfung nach Shore A und Shore D
DIN EN 228: 2008-11	Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Unverbleite Ottokraftstoffe - Anforderungen und Prüfverfahren
DIN EN 590:2010-05	Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Dieselkraftstoff - Anforderungen und Prüfverfahren
DIN EN 858-1:2005-02	Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten (z. B. Öl und Benzin), Teil 1: Bau-, Funktions- und Prüfgrundsätze, Kennzeichnung und Güteüberwachung
DIN EN 1849-2:2010-04	Abdichtungsbahnen - Bestimmung der Dicke und der flächenbezogenen Masse – Teil 2: Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen
DIN EN 14103:2011-07	Erzeugnisse aus pflanzlichen und tierischen Fetten und Ölen - Fettsäure-Methylester (FAME) - Bestimmung des Ester-Gehaltes und des Gehaltes an Linolensäure- Methylester
DIN EN 14213: 2003-11	Heizöle - Fettsäure-Methylester (FAME) - Anforderungen und Prüfverfahren
DIN EN 14214:2010-04	Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Fettsäure-Methylester (FAME) für Dieselmotoren - Anforderungen und Prüfverfahren

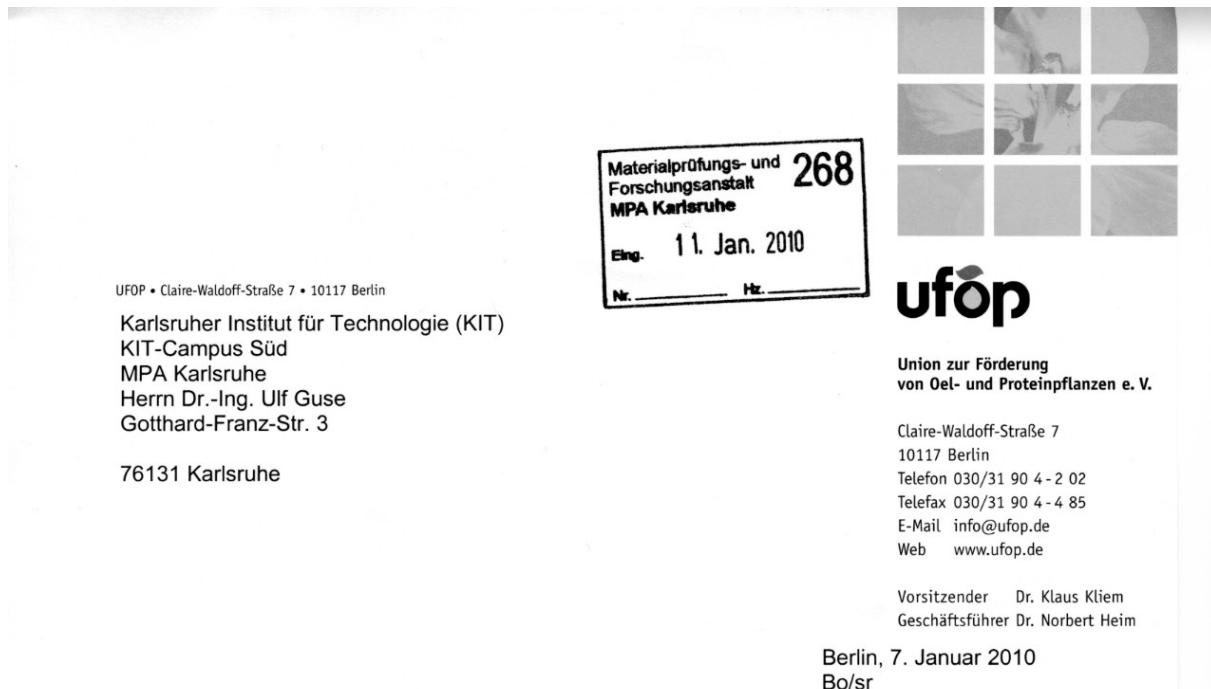
DIN EN 14331:2004-06	Flüssige Mineralölerzeugnisse - Trennung und Bestimmung von Fettsäure-Methylestern (FAME) aus Mitteldestillaten - Flüssigchromatographie (LC)/Gaschromatographie (GC)
DIN EN 15293:2009-04	Kraftstoff für Kraftfahrzeuge - Ethanolkraftstoff (E85) - Anforderungen und Prüfverfahren
DIN EN 15376:2009-11	Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Ethanol zur Verwendung als Blendkomponente in Ottokraftstoff - Anforderungen und Prüfverfahren
DIN EN 15376:2011-04	Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Ethanol zur Verwendung als Blendkomponente in Ottokraftstoff - Anforderungen und Prüfverfahren
DIN EN 15721:2009-07	Ethanol zur Verwendung als Blendkomponente in Ottokraftstoff - Bestimmung von höheren Alkoholen, Methanol und flüchtigen Verunreinigungen - Gaschromatographisches Verfahren
DIN EN 1849-2:2010-04	Abdichtungsbahnen – Bestimmung der Dicke und der flächenbezogenen Masse – Teil 2: Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen
DIN EN ISO 175:2001-03	Kunststoffe - Prüfverfahren zur Bestimmung des Verhaltens gegen flüssige Chemikalien
DIN ISO 1817:2008-08	Elastomere – Bestimmung des Verhaltens gegenüber Flüssigkeiten (ISO 1817:2005)
DIN ISO 8217:2009-08	Mineralölerzeugnisse - Kraft- und Brennstoffe (Klasse F) - Anforderungen an Schifffahrtsbrennstoffe (ISO 8217:2005)
DIN ISO 23529:2007-01	Elastomere - Allgemeine Bedingungen für die Vorbereitung und Konditionierung von Prüfkörpern für physikalische Prüfverfahren (ISO 23529:2004)
SAE J1681 JAN 2000	Gasoline, Alcohol and Diesel fuel surrogates for materials testing
ASTM D 471 - 10	Standard Test Method for Rubber Property - Effect of Liquids
ASTM D 1133 - 94	Standard Test Method for Kauri-Butanol Value of Hydrocarbon Solvents
ASTM D 4806 - 11	Standard Specification for Denatured Fuel Ethanol for Blending with Gasolines for Use as Automotive Spark-Ignition Engine Fuel
ASTM D 5798 - 10a	Standard Specification for Fuel Ethanol (Ed70-Ed85) for Automotive Spark-Ignition Engines
ASTM D 6751 - 11a	Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels
ASTM D 7467 - 10	Standard Specification for Diesel Fuel Oil, Biodiesel Blend (B6 to B20)
Zulassungsgrundsätze (ZG) für Beschichtungssysteme für Auffangwannen, Auffangräume und Flächen aus Beton in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Flüssigkeiten (ZG Beschichtungssysteme für Beton in LAU-Anlagen). Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik, Reihe B, Heft 12, März 2009	Zulassungsgrundsätze (ZG) für Beschichtungssysteme für Auffangwannen, Auffangräume und Flächen aus Beton in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Flüssigkeiten (ZG Beschichtungssysteme für Beton in LAU-Anlagen). Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik, Reihe B, Heft 12, März 2009
Bau- und Prüfgrundsätze (BPG) für Beschichtungen für Beton-, Putz- und Estrichflächen von Auffangwannen und Auffangräumen für wassergefährdende Flüssigkeiten (BPG Beschichtungen Auffangräume), Deutsches Institut für Bautechnik, Fassungen 1972 bis 1993	Bau- und Prüfgrundsätze (BPG) für Beschichtungen für Beton-, Putz- und Estrichflächen von Auffangwannen und Auffangräumen für wassergefährdende Flüssigkeiten (BPG Beschichtungen Auffangräume), Deutsches Institut für Bautechnik, Fassungen 1972 bis 1993
Zulassungsgrundsätze (ZG) Dichtungsbahnen in LAU-Anlagen. Deutsches Instituts für Bautechnik, Juni 2009	Zulassungsgrundsätze (ZG) Dichtungsbahnen in LAU-Anlagen. Deutsches Instituts für Bautechnik, Juni 2009

Bau- und Prüfgrundsätze (BPG) für Beschichtungsstoffe zur Herstellungen von Innenbeschichtungen von Stahlbehältern zur Lagerung wassergefährdender nichtbrennbarer Flüssigkeiten (BPG Innenbeschichtungen Stahlbehälter), Fassung Mai 1993

Zulassungsgrundsätze (ZG) Innenbeschichtung von Stahlbehältern für Beschichtungsstoffe zur Herstellung von Innenbeschichtungen von Stahlbehältern zur Lagerung wassergefährdender Flüssigkeiten, Fassung 2000

Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten TRbF 401 - Richtlinie für Innenbeschichtungen von Tanks zur Lagerung brennbarer Flüssigkeiten der Gefahrklassen A I, A II und B (Richtlinie Innenbeschichtungen A I, A II und B), Ausgabe Dezember 1981, aufgehoben 2002

Schreiben der UFOP zur Zusammensetzung von Biokraftstoffen und möglichen Referenzflüssigkeiten



UFOP • Claire-Waldhoff-Straße 7 • 10117 Berlin

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT-Campus Süd
MPA Karlsruhe
Herrn Dr.-Ing. Ulf Guse
Gotthard-Franz-Str. 3

76131 Karlsruhe

Materialprüfungs- und
Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe
268
11. Jan. 2010
Eing. _____ Hz. _____
Nr. _____

ufop

Union zur Förderung
von Oel- und Proteinpflanzen e. V.

Claire-Waldhoff-Straße 7
10117 Berlin
Telefon 030/31 90 4-2 02
Telefax 030/31 90 4-4 85
E-Mail info@ufop.de
Web www.ufop.de

Vorsitzender Dr. Klaus Kliem
Geschäftsführer Dr. Norbert Heim

Berlin, 7. Januar 2010
Bo/sr

Sehr geehrter Herr Dr. Guse,

vielen Dank für Ihre Anfrage vom 23.12.2009.

Unterzeichner (Geschäftsführer der AGQM, Fachreferent für Biokraftstoffe bei UFOP) beantwortet mit diesem Schreiben zugleich Ihre gleichlautende Anfrage an die UFOP.

Tatsächlich hat sich inzwischen eine Biokraftstoffindustrie mit einer Vielzahl von Unternehmen entwickelt. Eine Übersicht über die der AGQM bekannten Unternehmen, die Biodiesel herstellen, finden Sie auf der website der AGQM (www.AGQM-Biodiesel.de). Die Aufstellung erhebt aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Bezuglich einer Liste von Unternehmen, die Ethanol als Kraftstoff bzw. Kraftstoffkomponente herstellen, möchten wir Sie bitten, sich an den Verband der Biokraftstoffhersteller e.V. (VDB) (Herr Elmar Baumann, Am Weidemann 1a, 10117 Berlin; baumann@biokraftstoffverband.de) bzw. an den Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V. (BDBe) (Herr Dietrich Klein, Reinhardtstr. 18, 10117 Berlin; mail@bdbe.de) zu wenden.

Trotz dieser Vielfalt an Herstellern ist dank der stringenten Normung, gesetzlicher Regelungen, die sich auf diese Normen beziehen und privatwirtschaftlich organisierter Qualitätsüberwachungen die stoffliche Vielfalt gering, so dass für jede Norm eine Prüfflüssigkeit vollkommen ausreichen dürfte. Unabhängig von den Reinkraftstoffen müssen jedoch auch die Blends mit Mineralölkraftstoffen berücksichtigt werden – u. E.:

- B5 EN 590 und B7 DIN 51628,
- EN 228 – 5% Vol Bioethanol und E10 – siehe Anhang 1 EU-Richtlinie 2009/30/EG,
- zu prüfen ggf. auch B10 - hierzu sieht die genannte Richtlinie ein Normungsmandat vor – eine CEN-AG besteht bereits.

Nachfolgend sind die für FAME relevanten Stoffe anhand der jeweiligen Normen kurz charakterisiert:

DIN EN 14214

Methylester von Fettsäuren (FAME), hauptsächlich in einem Kettenlängenbereich C16 bis C18, teilweise gesättigt, teilweise ungesättigt. Die Fettsäureprofile sind in Deutschland maßgeblich durch Rapsöl als Rohstoff und in geringerem Maße durch Sojaöl bestimmt, wobei aus Normgründen keine reinen Sojamethylester vorkommen. Die Restgehalte an Nebenkomponenten sind stark beschränkt. Für erweiterte Prüfungen und Tests über die Norm hinaus (z.B. zur Eignung von Additiven) haben sich Mischungen von 70% RME und 30% SojaME als "Quasi-Standard" durchgesetzt. Mit Ausnahme der Stabilität und der Kältefestigkeit ist jedoch der Einfluss der Zusammensetzung auf weitere Eigenschaften gering. Die genannten Grundkomponenten bzw. bereits die Mischung können von vielen Biodiesel-Herstellern bezogen werden. Die gewünschte Zusammensetzung muss jedoch spezifiziert werden, da das Fettsäureprofil (mit Ausnahme des Linolensäuregehalts) kein Kriterium der DIN EN 14214 und somit kein übliches Lieferkriterium ist.

DIN EN 14213

Die Norm ist eine für Heizstoffzwecke entwickelte "light" Version der DIN EN 14214 mit gleicher stofflicher Grundlage. Sie wird jedoch praktisch nicht angewandt. Die Norm ist seit ihrer Veröffentlichung nicht weiter entwickelt worden, und eine Weiterentwicklung ist derzeit auch nicht vorgesehen. Fettsäuremethylester als Komponente für Heizstoffe sollen zukünftig durch die DIN EN 14214 beschrieben werden.

DIN 51628

Beschreibt einen Blendkraftstoff aus bis zu 7% (v/v) FAME nach DIN EN 14214 und mineralölstämmigen Komponenten. Der Kraftstoff ist "Standard" an öffentlichen Tankstellen, wobei die Ausschöpfung des max. FAME-Gehalts von 7% nicht garantiert ist. Zur Beschaffung eines tatsächlich 7% (v/v) FAME enthaltenden Kraftstoffs sollte der FAME-Gehalt mittels DIN EN 14078 nachträglich ermittelt und die fehlende Menge mit einem FAME gemäß DIN EN 14214 nachdosiert werden. Das Fettsäureprofil des FAME ist in diesem Blendkraftstoff bedeutungslos.

DIN EN 590:2003

Beschreibt einen Blendkraftstoff aus bis zu 5% (v/v) FAME nach DIN EN 14214 und mineralöl-stämmigen Komponenten. Der Standard ist in Deutschland noch zulässig, wird aber praktisch kaum angewendet. Parallel dazu existiert neu eine DIN EN 590:2009, die bis zu 7% (v/v) FAME nach DIN EN 14214 gestattet. Sie ist jedoch noch nicht in der 10.BImSchV verankert, so dass sie im geschäftlichen Verkehr auch nicht angewendet werden kann. Sie wird jedoch zukünftig die DIN 51628 ersetzen. Bezuglich technischer Prüfungen ergibt sich hier kein Handlungsbedarf, wenn bereits Prüfungen mit Blends wie unter DIN 51628 beschrieben, durchgeführt sind.

DIN V 51603-6

Beschreibt ein Heizöl EL A mit Biokomponenten, wobei prinzipiell sowohl Pflanzenöle als auch Methylester als Biokomponente vorgesehen sind. Nach Untersuchungen im Rahmen von Projekten des IWO bzw. OWI kommt jedoch praktisch nur der Einsatz von FAME in Frage. Obwohl keine maximalen Gehalte an Biokomponenten explizit in der Norm genannt sind, lässt die Einhaltung anderer Norm-Parameter (Siedekurve) praktisch nur FAME-Gehalte bis max. 20 % (v/v) zu. Großversuche in einzelnen Regionen sind mit 10 % (v/v) FAME durchgeführt worden. Eine Reihe von Brennerherstellern haben die Freigabe bis 10 % (v/v) erklärt oder in Aussicht gestellt. Es ist weiterhin allgemein in Normungskreisen akzeptierte Auffassung, dass die Biokomponente durch die DIN EN 14214 definiert werden soll. Dennoch sollte eine Prüfflüssigkeit einen Worst Case darstellen. Aus diesem Grunde wird empfohlen, von einem FAME-Gehalt von max. 20 % (v/v) auszugehen. Da mittlerweile (mineralölbasierte) Heizöle technisch sehr nahe an Dieselkraftstoff herangerückt sind, wird vorgeschlagen, zur Bereitstellung der Prüfflüssigkeit wie unter "DIN 51628" beschrieben vorzugehen, jedoch die Nachdosierung des FAME so vorzunehmen, dass eine Konzentration von 20 % (v/v) erreicht wird.

Die AGQM hat vor einigen Jahren im Rahmen von Bauschäden an B100-Tankstellen (100% FAME nach E DIN 51606, Vorläufer der DIN EN 14214) zwei Untersuchungen an Baustoffen in Auftrag gegeben, die wir Ihnen in der Anlage ebenfalls zur Kenntnis geben.

Mit freundlichen Grüßen



Dieter Bockey

Anlage

Auszug aus der DIN EN 228:2008-11, Zugabe von Ethanol bis 5 Vol.-%

Tabelle 1 — Anforderungen an Prüfverfahren für unverbleiten Ottokraftstoff

Eigenschaft	Einheit	Grenzwerte		Prüfverfahren ^a (siehe Abschnitt 2)
		min.	max.	
Research-Octanzahl, ROZ	—	95,0	—	EN ISO 5164 ^b
Motor-Octanzahl, MOZ	—	85,0	—	EN ISO 5163 ^b
Bleigehalt	mg/l	—	5,0	EN 237
Dichte (bei 15 °C) ^c	kg/m ³	720,0	775,0	EN ISO 3675, EN ISO 12185
Schwefelgehalt^c	mg/kg	—	50,0 (bis 2008-12-31)	EN ISO 20846, EN ISO 20847, EN ISO 20884
		—	10,0	EN ISO 20846, EN ISO 20884
Oxidationsstabilität	min	360	—	EN ISO 7536
Abdampfrückstand (gewaschen)	mg/100 ml	—	5	EN ISO 6246
Korrosionswirkung auf Kupfer (3 h bei 50 °C)	Korrosions-grad	Klasse 1		EN ISO 2160
Aussehen	—	klar und trübungsfrei		Visuelle Begutachtung
Gehalt an Kohlenwasserstoffgruppen^c – Olefine – Aromaten	% (V/V)	—	18,0	EN 14517 EN 15553
		—	35,0	
Benzolgehalt^c	% (V/V)	—	1,00	EN 238, EN 12177, EN 14517
Sauerstoffgehalt^c	% (m/m)	—	2,7	EN 1601, EN 13132, EN 14517
Gehalt an sauerstoffhaltigen organischen Verbindungen^c – Methanol ^d – Ethanol ^e – Isopropylalkohol – Isobutylalkohol – tert-Butylalkohol – Ether (5 oder mehr C-Atome) – andere sauerstoffhaltige Verbindungen ^f	% (V/V)	—	3,0	EN 1601, EN 13132, EN 14517
		—	5,0	
		—	10,0	
		—	10,0	
		—	7,0	
		—	15,0	
		—	10,0	
ANMERKUNG Fett gedruckte Anforderungen entsprechen der Europäischen Richtlinie 98/70/EG [1] einschließlich Ergänzung 2003/17/EG [2].				
^a	Siehe auch 5.8.1			
^b	Ein Korrekturfaktor von 0,2 muss für die Berechnung des Endergebnisses für die <i>MOZ</i> und die <i>ROZ</i> abgezogen werden. Erst danach kann das Ergebnis nach den Anforderung der Europäischen Richtlinie 98/70/EG [1], einschließlich Änderung 2003/17/EG [2] angegeben werden. Für Hinweise bezüglich der Angabe von Ergebnissen siehe auch 5.7.			
^c	Siehe auch 5.8.2			
^d	Stabilisierungsmittel müssen verwendet werden.			
^e	Muss EN 15376 einhalten (siehe 5.2). Stabilisierungsmittel können notwendig sein.			
^f	Andere Mono-Alkohole und Ether mit einem Siedepunkt nicht höher als in Tabelle 2 beschrieben.			

Auszug aus der E DIN 51626-1:2010-11, Ottokraftstoffe E5

Tabelle 2 — Anforderungen und Prüfverfahren für Ottokraftstoffe E5

Eigenschaft	Einheit	Grenzwerte min.	max.	Prüfverfahren ^a (siehe Abschnitt 2)
Aussehen	—	Klar und trübungsfrei bei Umgebungstemperatur	—	Visuelle Begutachtung
Research-Octanzahl, ROZ – für Ottokraftstoff E5 (Normal) – für Ottokraftstoff E5 (Super) – für Ottokraftstoff E5 (Super Plus)	— — —	91,0 95,0 98,0	— — —	DIN EN ISO 5164:2006-01 ^b
Motor-Octanzahl, MOZ – für Ottokraftstoff E5 (Normal) – für Ottokraftstoff E5 (Super) – für Ottokraftstoff E5 (Super Plus)	— — —	82,5 85,0 88,0	— — —	DIN EN ISO 5163:2006-01 inkl. Berichtigung 1:2009-07 ^b
Bleigehalt	mg/l	—	5,0	DIN EN 237:2004-12
Dichte (bei 15 °C) ^c	kg/m ³	720,0	775,0	DIN EN ISO 12185:1997-11 inkl. ISO 12185 Technical Corrigendum 1:2001 oder DIN EN ISO 3675:1999-11
Schwefelgehalt	mg/kg	—	10,0	DIN EN ISO 20846:2004-07 oder DIN EN ISO 20884:2004-07
Oxidationsstabilität	min	360	—	DIN EN ISO 7536:1996-08
Abdampfrückstand (gewaschen)	mg/100 ml	—	5	DIN EN ISO 6246:1998-02
Korrosionswirkung auf Kupfer (3 h bei 50 °C)	—	Korrosionsgrad 1	—	DIN EN ISO 2160:1999-04
Gehalt an Kohlenwasserstoffgruppen ^{c, d} – Olefine – Aromaten	% (V/V)	— —	18,0 35,0	DIN EN ISO 22854:2009-01 oder DIN EN 15553:2007-07 inkl. Berichtigung 1:2007-12
Benzolgehalt ^c	% (V/V)	—	1,00	DIN EN 12177:1998-08 inkl. Berichtigung 1:2006-09 oder DIN EN 238:2004-04 oder DIN EN ISO 22854:2009-01
Sauerstoffgehalt ^c	% (m/m)	—	2,7	DIN EN 1601:1997-10 oder DIN EN 13132:2002-03 oder DIN EN ISO 22854:2009-01
Gehalt an sauerstoffhaltigen organischen Verbindungen ^{c, d} – Methanol ^e – Ethanol ^f – Isopropylalkohol ^g – Isobutylalkohol ^g – tert-Butylalkohol ^g – Ether (5 oder mehr C-Atome) ^g – andere sauerstoffhaltige Verbindungen ^{g, h}	% (V/V)	— — — — — — — —	3,0 5,0 12,0 15,0 15,0 22,0 15,0	DIN EN 1601:1997-10 oder DIN EN 13132:2002-03 oder DIN EN ISO 22854:2009-01

Auszug aus der E DIN 51626-1:2010-11, Ottokraftstoffe E10

Tabelle 1 — Anforderungen und Prüfverfahren für Ottokraftstoffe E10

Eigenschaft	Einheit	Grenzwerte min.	max.	Prüfverfahren ^a (siehe Abschnitt 2)
Aussehen	—	Klar und trübungsfrei bei Umgebungs-temperatur		Visuelle Begutachtung
Research-Octanzahl, ROZ – für Ottokraftstoff E10 (Normal) – für Ottokraftstoff E10 (Super) – für Ottokraftstoff E10 (Super Plus)	—	91,0 95,0 98,0	—	DIN EN ISO 5164:2006-01 ^b
Motor-Octanzahl, MOZ – für Ottokraftstoff E10 (Normal) – für Ottokraftstoff E10 (Super) – für Ottokraftstoff E10 (Super Plus)	—	82,5 85,0 88,0	—	DIN EN ISO 5163:2006-01 inkl. Berichtigung 1:2009-07 ^b
Bleigehalt	mg/l	—	5,0	DIN EN 237:2004-12
Dichte (bei 15 °C) ^c	kg/m ³	720,0	775,0	DIN EN ISO 12185:1997-11 inkl. ISO 12185 Technical Corrigendum 1:2001 oder DIN EN ISO 3675:1999-11
Schwefelgehalt	mg/kg	—	10,0	DIN EN ISO 20846:2004-07 oder DIN EN ISO 20884:2004-07
Oxidationsstabilität	min	360	—	DIN EN ISO 7536:1996-08
Abdampfrückstand (gewaschen)	mg/100 ml	—	5	DIN EN ISO 6246:1998-02
Korrosionswirkung auf Kupfer (3 h bei 50 °C)	—	Korrosionsgrad 1		DIN EN ISO 2160:1999-04
Gehalt an Kohlenwasserstoffgruppen^c – Olefine – Aromaten	% (V/V)	—	18,0 35,0	DIN EN ISO 22854:2009-01 oder DIN EN 15553:2007-07 inkl. Berichtigung 1:2007-12
Benzolgehalt^c	% (V/V)	—	1,00	DIN EN 12177:1998-08 inkl. Berichtigung 1:2006-09 oder DIN EN 238:2004-04 oder DIN EN ISO 22854:2009-01
Sauerstoffgehalt^c	% (m/m)	—	3,7	DIN EN 1601:1997-10 oder DIN EN 13132:2002-03 oder DIN EN ISO 22854:2009-01
Gehalt an sauerstoffhaltigen organischen Verbindungen^c – Methanol ^d – Ethanol ^e – Isopropylalkohol – Isobutylalkohol – tert-Butylalkohol – Ether (5 oder mehr C-Atome) – andere sauerstoffhaltige Verbindungen ^f	% (V/V)	—	3,0 10,0 12,0 15,0 15,0 22,0 15,0	DIN EN 1601:1997-10 oder DIN EN 13132:2002-03 oder DIN EN ISO 22854:2009-01
Mangangehalt^g — von 2011-01-01 bis 2013-12-31 — ab 2014-01-01	mg/l	—	6,0 2,0	(Prüfverfahren in Entwicklung)
ANMERKUNG Fett gedruckte Anforderungen stammen aus der Ergänzung 2003/17/EG [4] und Ergänzung 2009/30/EG [5], steht.				

^a Siehe auch 5.8.1

^b Bei Berechnung des Endergebnisses ist 0,2 vom Messwert zu subtrahieren, damit das Endergebnis in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Europäischen Richtlinie 98/70/EG [3], einschließlich Ergänzung 2003/17/EG [4] und Ergänzung 2009/30/EG [5], steht.

^c Siehe auch 5.8.2

^d Stabilisierungsmittel müssen verwendet werden.

^e Stabilisierungsmittel können notwendig sein. Zum Blenden muss DIN EN 15376:2009-11 eingehalten werden.

^f Andere Monoalkohole und Ether mit einem Siedepunkt nicht höher als in Tabelle 3 angegeben.

^g Siehe 5.4.

Auszug aus der DIN EN 15376:2011-04, Zusammensetzung des Ethanols für E5 und E10

Tabelle 1 — Allgemein anwendbare Anforderungen und Prüfverfahren für unvergälltes Ethanol

Eigenschaft	Einheit	Grenzwert		Prüfverfahren ^a (Siehe Abschnitt 2, Normative Verweisungen)
		Mindestwert	Höchstwert	
Ethanolgehalt und Gehalt an höheren gesättigten Alkoholen	% (m/m)	98,7	—	EN 15721 ^b
Gehalt an höheren gesättigten (C3-C5) Mono-Alkoholen ^c	% (m/m)	—	2,0	EN 15721 ^b
Methanolgehalt	% (m/m)	—	1,0	EN 15721 ^b
Wassergehalt ^d	% (m/m)	—	0,300	EN 15489 EN 15692
Gesamtsäuregehalt (angegeben als Essigsäure)	% (m/m)	—	0,007	EN 15491
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	—	2,5	EN 15938
Aussehen	—	klar und farblos		EN 15769
Anorganischer Chlorgehalt ^e	mg/kg	—	6,0	EN 15484 prEN 15492
Sulfatgehalt	mg/kg	—	4,0	prEN 15492
Kupfergehalt ^f	mg/kg	—	0,100	EN 15488 EN 15837
Phosphorgehalt ^g	mg/l	—	0,15	EN 15487 EN 15837
Nichtflüchtige Anteile	mg/100 ml	—	10	EN 15691
Schwefelgehalt ^h	mg/kg	—	10,0	EN 15485 EN 15486 EN 15837

^a Siehe 4.6.1.
^b Das Ergebnis der Prüfung bezieht sich auf die wasserfreie Probe.
^c Für die höheren Alkohole gilt die Summenformel $C_nH_{2n+1}OH$, mit $n = 3, 4$ oder 5 .
^d Siehe 4.6.2.
^e Siehe 4.6.3.
^f Siehe 4.6.4.
^g Siehe 4.6.5.
^h Siehe 4.6.6.

4.4.2 Falls benötigt, wird für den Nachweis der biologischen Herkunft von Ethanol eine nachprüfbare und lückenlose Dokumentation über den biologischen Ursprung empfohlen.

ANMERKUNG Die Alternative zu dieser Dokumentation ist eine Altersbestimmung, die auf einer Messung des beta (minus) Zerfalls des radiaktiven Kohlenstoff-Isotops C-14 [7] basiert. Für häufige Prüfungen ist dieses Verfahren zu aufwendig, aber es kann in solchen Fällen als nützliches Mittel angesehen werden, wo die Produktherkunft angezweifelt wird.

Auszug aus der DIN EN 15376:2009-11, Zusammensetzung des Ethanols für E5 und E10

Tabelle 1 — Allgemein anwendbare Anforderungen und Prüfverfahren für unvergälltes Ethanol

(A1)

Eigenschaft	Einheit	Grenzwerte		Prüfverfahren ^a
		Minimum	Maximum	
Ethanolgehalt (inklusive Gehalt an höheren gesättigten Alkoholen)	% (m/m)	98,7		EN 15721
Gehalt an höheren gesättigten (C3-C5) Mono-Alkoholen	% (m/m)		2,0	EN 15721
Methanolgehalt	% (m/m)		1,0	EN 15721
Wassergehalt	% (m/m)		0,300	EN 15489 b
Anorganischer Chlorgehalt	mg/l		20,0	EN 15484 oder EN 15492 c
Kupfergehalt	mg/kg		0,100	EN 15488
Gesamtsäuregehalt (angegeben als Essigsäure)	% (m/m)		0,007	EN 15491
Aussehen		klar und durchsichtig		EN 15769
Phosphorgehalt	mg/l		0,50	EN 15487
Nichtflüchtige Anteile	mg/100 ml		10	EN 15691
Schwefelgehalt	mg/kg		10,0	EN 15485 oder EN 15486 d

ANMERKUNG 1 Ein Grenzwert für den höchstzulässigen Sulfatgehalt wird im Rahmen einer künftigen Überarbeitung dieses Dokuments ergänzt.

ANMERKUNG 2 Um die starken Säuren und die alkalischen Substanzen angemessen zu begrenzen, welche nur ungenügend mittels pH [8] bestimmt werden können, wird ein/werden Prüfverfahren durch CEN entwickelt. Der Grenzwert wird ergänzt, sobald diese Prüfverfahrennormen veröffentlicht sind.

a Siehe 4.4.1.

b Die Bewertung mittels eines Querversuchs kann zeigen, dass ein volumetrisches Karl-Fischer-Verfahren [5] auch angewendet werden kann, jedoch muss im Streitfall das hier genannte Verfahren verwendet werden.

c Siehe 4.6.2.

d Siehe 4.6.2. Dieses Verfahren beinhaltet besondere Maßnahmen für Ethanol, die nicht Teil der gewöhnlichen Ottokraftstoff-prüfverfahren wie die in EN ISO 20846 [6] und die in EN ISO 20884 [7] sind.

(A1)

4.4.2 Falls benötigt, wird für den Nachweis der biologischen Herkunft von Ethanol eine nachprüfbare und lückenlose Dokumentation über den biologischen Ursprung empfohlen.

ANMERKUNG Die Alternative zu dieser Dokumentation ist eine Altersbestimmung, die auf einer Messung des beta (minus) Zerfalls des radiaktiven Kohlenstoff-Isotops C-14 A [9] A basiert. Für häufige Prüfungen ist dieses Verfahren zu umständlich, aber es kann in solchen Fällen als nützliches Mittel angesehen werden, wo das Nachweis-verfahren zweifelhaft ist.

Auszug aus der DIN 51625:2008-08, Ethanolkraftstoff E85

Tabelle 1 — Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren

Eigenschaften	Einheit	Grenzwert		Prüfverfahren ^a
		min.	max.	
Research-Octanzahl, ROZ ^b	—	104	—	DIN EN ISO 5164
Motor-Octanzahl, MOZ ^b	—	88	—	DIN EN ISO 5163
Schwefelgehalt	mg/kg	—	10,0	DIN EN 15485 oder DIN EN 15486
Oxidationsstabilität	Minuten	360	—	DIN EN ISO 7536
Abdampfrückstand, (gewaschen)	mg/100 ml	—	5	DIN EN ISO 6246
Aussehen	—	frei von Wasserphasen und festen Stoffen		visuell
Höhere Alkohole (C3 bis C5)	% (V/V)	—	2,00	E DIN 51627-3
Methanol	% (V/V)	—	1,00	E DIN 51627-3
Ether (5 oder mehr C-Atome)	% (V/V)	—	5,20	E DIN 51627-3
Phosphor	mg/l	—	0,20	DIN EN 15487
Kupfer	mg/kg	—	0,100	DIN EN 15488
Wassergehalt	% (m/m)	—	0,300	DIN EN 15489 oder E DIN EN 15692
Chlorid	mg/l	—	1,0	DIN EN 15492
Sulfat	mg/l	—	1,0	DIN EN 15492
Leitfähigkeit, ermittelt bei 25 °C	µS/cm	—	2,50	E DIN 51627-4
Korrosionswirkung auf Kupfer (3 h bei 50 °C)	Korrosionsgrad	Nicht schlechter als 1		DIN EN ISO 2160
Korrosionspotential ^c , gemessen als pH _E	—	—	6,5 bis 9	DIN EN 15490
Säure (gerechnet als Essigsäure)	% (m/m)	—	0,0050	DIN EN 15491
	mg/l	—	40	

^a Siehe auch 5.6.1.

^b Die Messung von ROZ und MOZ kann Schwierigkeiten verursachen, wenn die Prüfung ohne Anpassungen vorgenommen wird. Daher müssen die Einstellung des Luft-/Kraftstoffgemisches und die Gemischttemperatur für E85 angepasst werden. Eine niedrigere Luftmenge und eine höhere Temperatur sind zur vollständigen Verdampfung erforderlich. Weitere Angaben hierzu können DIN 51756-7 entnommen werden.

^c Das angegebene Prüfverfahren ist wegen unzureichender Präzision für den Streitfall derzeit nicht anwendbar. Das Prüfverfahren wird daher überprüft, und alternativ wird ein geeigneteres Prüfverfahren zur Vorhersage des Korrosionspotentials eingeführt.

Auszug aus der E DIN EN 15293:2009-04, Ethanolkraftstoff E85

Tabelle 1 — Anforderungen und Prüfverfahren für Ethanolkraftstoff (E85)

Eigenschaft	Einheit	Grenzwerte		Prüfverfahren ^a (siehe Abschnitt 2)
		min.	max.	
Research-Octanzahl, ROZ	—	104,0	—	EN ISO 5164
Motor-Octanzahl, MOZ	—	88,0	—	EN ISO 5163
Dichte (bei 15 °C)	kg/m ³	760,0	800,0	EN ISO 12185
Oxidationsstabilität	min	360	—	EN ISO 7536
Abdampfrückstand (gewaschen)	mg/100 ml	—	5	EN ISO 6246
Korrosionswirkung auf Kupfer (3 h bei 50 °C)	Korrosionsgrad	Klasse 1		EN ISO 2160
Aussehen ^b	—	klar und farblos		prEN 15769
Gesamtsäurezahl (angegeben als Essigsäure) ^c	% (m/m)	—	0,005	EN 15491 ASTM D 1613
pHe ^{c,d}	—	6,5	9,0	EN 15490 ASTM D 6423
Leitfähigkeit	µS/cm	—	2,5	DIN 51627-4
Methanol ^e	% (V/V)	—	1,0	EN 1601f
Höhere gesättigte Monoalkohole (C3-C5)	% (V/V)	—	6,0	EN 1601f
Ether (5 oder mehr C-Atome)	% (V/V)	—	7,7	EN 1601f
Wassergehalt ^c	% (m/m)	—	0,400	EN 15489 ^g prEN 15692
anorganisches Chlor	mg/kg	—	6,0 ^h	EN 15492 ⁱ
Kupfer ^c	mg/kg	—	0,10	EN 15488 ^k prEN 15837 ^l
Phosphor ^c	mg/l	—	0,15	EN 15487 ^m prEN 15837 ^l
Schwefel ^c	mg/kg	—	10,0	EN 15485 ⁿ EN 15486 ^o
Sulfat	mg/kg	—	4,0	EN 15492 ⁱ

^a Siehe auch 5.8.1.
^b Zu bestimmen bei Umgebungstemperatur bzw. 15 °C, d. h. der jeweils höheren Temperatur.
^c Siehe auch 5.8.2.
^d Diese Anforderung kann entfallen, wenn die Probleme bezüglich der Präzision bei der Veröffentlichung dieser Norm andauern und die Leitfähigkeit eine annehmbare Alternative bietet.
^e Stabilisierungsmittel müssen verwendet werden.
^f Untersuchungen bei CEN haben gezeigt, dass das reguläre Verfahren zur Bestimmung von Ethanol [6] nicht verwendet werden kann. Siehe auch A.2.
^g Siehe auch A.3.
^h Ist noch zu überprüfen und gegebenenfalls nach Beurteilung des Prüfverfahrens und der Verteilung zu erniedrigen.
ⁱ Siehe auch A.4.
^k Siehe auch A.5.
^l Siehe auch A.6.
^m Siehe auch A.7.
ⁿ Siehe auch A.8.
^o Siehe auch A.9.

Auszug aus der DIN EN 590:2010-05, Dieselkraftstoff B7

Tabelle 1 — Allgemein anwendbare Anforderungen und Prüfverfahren

Eigenschaft	Einheit	Grenzwerte		Prüfverfahren ^a (siehe Abschnitt 2)
		Minimum	Maximum	
Cetanzahl ^b		51,0	—	EN ISO 5165, EN 15195
Cetanindex		46,0	—	EN ISO 4264
Dichte bei 15 °C ^c	kg/m ³	820,0	845,0	EN ISO 3675, EN ISO 12185
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe ^d	% (ml/m)	—	8,0 ^e	EN 12916
Schwefelgehalt ^e	mg/kg	—	gelöschter Text ^f	gelöschter Text ^f
			10,0	EN ISO 20846, EN ISO 20884
Flammpunkt	°C	über 55	—	EN ISO 2719
Koksrückstand ^f (von 10 % Destillationsrückstand)	% (ml/m)	—	0,30	EN ISO 10370
Aschegehalt	% (ml/m)	—	0,01	EN ISO 6245
Wassergehalt	mg/kg	—	200	EN ISO 12937
Gesamtverschmutzung	mg/kg	—	24	EN 12662 ^g
Korrosionswirkung auf Kupfer (3 h bei 50 °C)	Korrosions-grad	Klasse 1		EN ISO 2160
Fettsäure-Methylestergehalt (FAME) ^h	% (V/V)	—	7,0	EN 14078
Oxidationsstabilität	g/m ³ h	— 20	25 —	EN ISO 12205 EN 15751 ⁱ
Schmierfähigkeit, korrigierter „wear scar diameter“ (wsd 1,4) bei 60 °C	µm	—	460	EN ISO 12156-1
Viskosität bei 40 °C	mm ² /s	2,00	4,50	EN ISO 3104
Destillation ^{k, l}				
% (V/V) aufgefangen bei 250 °C	% (V/V)		< 65	
% (V/V) aufgefangen bei 350 °C	% (V/V)	85		EN ISO 3405
95 % (V/V) aufgefangen bei	°C		360	
ANMERKUNG Fett gedruckte Anforderungen stammen aus der Europäischen Kraftstoff-Direktive 98/70/EG [1] einschließlich Änderung 2003/17/EG [2] ^m und Änderung 2009/30/EG [8] ⁿ .				
^a	Siehe auch 5.6.1.			
^b	Siehe auch 5.6.4.			
^c	Siehe auch 5.6.2.			
^d	Für die Anwendung dieser Europäischen Norm werden polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe definiert als der Gesamtgehalt an aromatischen Kohlenwasserstoffen abzüglich des Gehaltes an mono-aromatischen Kohlenwasserstoffen, beide Gehalte nach EN 12916 bestimmt.			
^e	Siehe auch 5.6.3.			
^f	Siehe auch 5.4.2 und Anhang A.			
^g	Um die Präzision zu verbessern, werden weitere Untersuchungen zum Prüfverfahren zur Gesamtverschmutzung, insbesondere unter Anwesenheit von FAME, von CEN derzeit durchgeführt.			
^h	FAME muss die Anforderungen nach EN 14214 erfüllen.			
ⁱ	Für Dieselkraftstoff, der mehr als 2 % (V/V) FAME enthält, ist dies eine zusätzliche Anforderung. Diese Anforderung gilt so lange, bis ausreichend technische Daten bezüglich der Oxidationsstabilität und dem Verhalten von Dieselkraftstoffen im Feld verfügbar sind, um diese zu überarbeiten.			
^k	Für die Berechnung des Cetanindex werden ebenfalls die Temperaturangaben für 10 % (V/V), 50 % (V/V) und 90 % (V/V) benötigt.			
^l	Die Destillationsgrenzwerte bei 250 °C und 350 °C gelten für einen dem gemeinsamen Zolltarif der EU entsprechenden Dieselkraftstoff.			

Auszug aus der DIN EN 14214:2010-04, Fettsäure-Methylester (FAME) für Dieselmotoren

Tabelle 1 — Allgemein anzuwendende Anforderungen und Prüfverfahren

Eigenschaft	Einheit	Grenzwerte	Prüfverfahren ^a
		min.	max.
Fettsäure-Methylester-Gehalt ^a	% (m/m)	96,5 ^b	—
Dichte bei 15 °C ^c	kg/m ³	860	900
Viskosität bei 40 °C ^d	mm ² /s	3,50	5,00
Flammpunkt	°C	101	—
Schwefel-Gehalt	mg/kg	—	10,0
Koksrückstand (von 10 % Destillationsrückstand) ^g	% (m/m)	—	0,30
Cetanzahl ^h	—	51,0	—
Asche-Gehalt (Sulfat-Asche)	% (m/m)	—	0,02
Wassergehalt	mg/kg	—	500
Gesamtverschmutzung	mg/kg	—	24
Korrosionswirkung auf Kupfer (3 h bei 50 °C)	Korrosionsgrad	Klasse 1	
Oxidationsstabilität, 110 °C	h	6,0	—
Säurezahl	mg KOH/g	—	0,50
Iodzahl	g Iod/100 g	—	120
Gehalt an Linolensäure-Methylester	% (m/m)	—	12,0
Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuremethylestern mit ≥ 4 Doppelbindungen	% (m/m)	—	1,00
Methanol-Gehalt	% (m/m)	—	0,20
Monoglycerid-Gehalt	% (m/m)	—	0,80
Diglycerid-Gehalt	% (m/m)	—	0,20
Triglycerid-Gehalt ^a	% (m/m)	—	0,20
Gehalt an freiem Glycerin	% (m/m)	—	0,02
Gehalt an Gesamt-Glycerin	% (m/m)	—	0,25
Gehalt an Alkali-Metallen (Na+K)	mg/kg	—	5,0
Gehalt an Erdalkali-Metallen (Ca+Mg)	mg/kg	—	5,0
Phosphor-Gehalt	mg/kg	—	4,0

Auszug aus der DIN EN 14214:2010-04, Nationaler Anhang

NB.3 Klimatisch abhängige Anforderungen und Prüfverfahren (siehe Tabelle 2a)

Die Anforderungen an die Temperaturgrenzwerte der Filtrierbarkeit sind wie folgt festgelegt:

15. April bis 30. September	CFPP höchstens	0 °C
01. Oktober bis 15. November	CFPP höchstens	-10 °C
16. November bis 28. Februar ²⁾	CFPP höchstens	-20 °C
01. März bis 14. April	CFPP höchstens	-10 °C

Auszug aus der DIN EN 14213:2003-11, Heizöle, Fettsäure-Methylester (FAME)

Tabelle 1 — Allgemein anzuwendende Anforderungen und Prüfverfahren

Eigenschaften	Einheiten	Grenzwerte		Prüfverfahren ^a
		min.	max.	
Estergehalt ^a	% (m/m)	96,5 ^b		EN 14103
Dichte bei 15 °C ^c	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskosität bei 40 °C	mm ² /s	3,5	5,0	EN ISO 3104 ISO 3105
Flammpunkt	°C	120	—	prEN ISO 3679d
Schwefelgehalt	mg/kg	—	10,0	prEN ISO 20846 prEN ISO 20884
Koksrückstand (von 10 % Destillationsrückstand) ^e	% (m/m)	—	0,30	EN ISO 10370
Sulfatasche-Gehalt	% (m/m)	—	0,02	ISO 3987
Wassergehalt	mg/kg	—	500	EN ISO 12937
Gesamtverschmutzung ^f	mg/kg	—	24	EN 12662
Oxidationsbeständigkeit, 110 °C ^f	Stunden	4,0	—	EN 14112
Säurezahl	mg KOH/g		0,50	EN 14104
Iodzahl ^g	g Iod/100 g		130	EN 14111
Gehalt an Fettsäure-Methylestern mit ≥ 4 Doppelbindungen ^h	% (m/m)		1	
Monoglycerid-Gehalt	% (m/m)		0,80	EN 14105
Diglycerid-Gehalt	% (m/m)		0,20	EN 14105
Triglycerid-Gehalt	% (m/m)		0,20	EN 14105
Gehalt an freiem Glycerin	% (m/m)		0,02	EN 14105 EN 14106
Temperaturgrenzwert der Filtrierbarkeit (CFPP) ^j	°C		j	EN 116
Pourpoint ^k	°C		0	ISO 3016
Heizwert	MJ/kg	35		DIN 51900-1 DIN 51900-2 DIN 51900-3

^a Siehe auch 4.4.1.

^b Die Zugabe von Nicht-FAME-Komponenten, außer Additiven ist nicht erlaubt, siehe 4.2.

^c Die Dichte kann mit EN ISO 3675 in einem Bereich von 20 °C bis 60 °C gemessen werden. Dabei ist eine Temperaturkorrektur mit der in Anhang B angegebenen Gleichung vorzunehmen. Siehe auch 4.4.2.

^d Es muss eine Apparatur mit einem thermischen Detektor bzw. Sensor und eine 2-ml-Probe verwendet werden.

^e Zur Erzeugung des 10%-Destillationsrückstandes ist ASTM D 1160 zu benutzen.

^f Bis zur abgeschlossenen Entwicklung eines passenden Prüfverfahrens in CEN/TC 19 ist EN 12662 zu benutzen. Die Präzision von EN 12662 für FAME-Erzeugnisse ist allerdings schlecht.

^g Siehe Vorwort.

^h Geeignete Prüfverfahren sind noch zu entwickeln.

ⁱ Nur für FAME, welches ausschließlich als Heizöl eingesetzt werden soll, sonst gelten anhand nationaler Bestimmungen die gleichen Grenzwerte wie für Mineralöl.

^j Siehe vorletzten Abschnitt im Vorwort. Frei von Kaltadditiven und nur für Blendzwecke.

^k Ohne Additive zur Verbesserung des Kälteflüssverhaltens bzw. zur Cloudpunkt-Absenkung, nur für Blendzwecke.

Auszug aus der Richtlinie 2009/30/EG vom 23. April 2009 [13]

„ANHANG I

**UMWELTBEZOGENE SPEZIFIKATIONEN FÜR HANDELSÜBLICHE KRAFTSTOFFE ZUR VERWENDUNG
IN FAHRZEUGEN MIT FREMDZÜNDUNGSMOTOR**

Typ: Ottokraftstoff

Parameter (¹)	Einheit	Grenzwerte (²)	
		Minimum	Maximum
Research-Oktanzahl		95 (³)	—
Motor-Oktanzahl		85	—
Dampfdruck, Sommerperiode (⁴)	kPa	—	60,0 (⁵)
Siedeverlauf:			
— verdampft bei 100 °C	% v/v	46,0	—
— verdampft bei 150 °C	% v/v	75,0	—
Analyse der Kohlenwasserstoffe:			
— Olefine	% v/v	—	18,0
— Aromaten	% v/v	—	35,0
— Benzol	% v/v	—	1,0
Sauerstoffgehalt	% m/m		3,7
Sauerstoffhaltige Komponenten			
— Methanol	% v/v		3,0
— Ethanol (Stabilisierungsmittel können notwendig sein)	% v/v		10,0
— Isopropylalkohol	% v/v	—	12,0
— Tertiärer Butylalkohol	% v/v	—	15,0
— Isobutylalkohol	% v/v	—	15,0
— Ether, die fünf oder mehr Kohlenstoffatome je Molekül enthalten	% v/v	—	22,0
— Sonstige sauerstoffhaltige Komponenten (⁶)	% v/v	—	15,0
Schwefelgehalt	mg/kg	—	10,0
Bleigehalt	g/l	—	0,005

(¹) Die Prüfverfahren sind die in EN 228:2004 genannten Verfahren. Die Mitgliedstaaten können gegebenenfalls die Analysemethoden verwenden, die in EN 228:2004 ersetzen Normen genannt sind, wenn diese nachweislich mindestens den gleichen Genauigkeitsgrad wie die ersetzen Analysemethoden aufweisen.

(²) Die in der Spezifikation angegebenen Werte sind „tatsächliche Werte“. Bei der Festlegung ihrer Grenzwerte wurden die Bestimmungen der ISO-Norm 4259:2006 „Mineralölprodukte — Bestimmung und Anwendung der Werte für die Präzision von Prüfverfahren“ angewendet, und bei der Festlegung eines Mindestwerts wurde eine Mindestdifferenz von 2 R über Null berücksichtigt (R = Reproduzierbarkeit). Die Ergebnisse der einzelnen Messungen werden auf Grundlage der in EN ISO 4259:2006 beschriebenen Kriterien ausgewertet.

(³) Die Mitgliedstaaten können zulassen, dass herkömmlicher unverbleiterter Ottokraftstoff mit einer minimalen Motoroktanzahl (MOZ) von 81 und einer minimalen Research-Oktanzahl (ROZ) von 91 weiterhin in Verkehr gebracht wird.

(⁴) Die Sommerperiode beginnt spätestens am 1. Mai und endet nicht vor dem 30. September. In Mitgliedstaaten mit niedrigen Außentemperaturen im Sommer beginnt die Sommerperiode spätestens am 1. Juni und endet nicht vor dem 31. August.

(⁵) Im Fall von Mitgliedstaaten mit niedrigen Außentemperaturen im Sommer, für die gemäß Artikel 3 Absätze 4 und 5 eine Ausnahme gilt, darf der Dampfdruck 70,0 kPa nicht überschreiten. Im Fall von Mitgliedstaaten, für die gemäß Artikel 3 Absätze 4 und 5 eine Ausnahme für Ottokraftstoff, der Ethanol enthält, gilt, darf der zulässige Dampfdruck die Summe aus 60 kPa und der in Anhang III genannten Dampfdruckabweichung nicht übersteigen.

(⁶) Andere Monoalkohole und Ether, deren Siedepunkt nicht höher liegt als in EN 228:2004 angegeben.

Auszug aus der Richtlinie 2009/30/EG vom 23. April 2009 [13]
(Richtlinie enthält ein Normungsmandat für B10 in Absatz 32)

ANHANG II

UMWELTBEZOGENE SPEZIFIKATIONEN FÜR HANDELSÜBLICHE KRAFTSTOFFE ZUR VERWENDUNG
IN FAHRZEUGEN MIT KOMPRESSSIONSZÜNDUNGSMOTOR

Typ: Diesel

Parameter ⁽¹⁾	Einheit	Grenzwerte ⁽²⁾	
		Minimum	Maximum
Cetanzahl		51,0	—
Dichte bei 15 °C	kg/m ⁽³⁾	—	845,0
Siedeverlauf:			
— 95 Vol % rückgewonnen bei:	°C	—	360,0
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	% m/m	—	8,0
Schwefelgehalt	mg/kg	—	10,0
FAME-Gehalt — EN 14078	% v/v	—	7,0 ⁽³⁾

⁽¹⁾ Die Prüfverfahren sind die in EN 590:2004 genannten Verfahren. Die Mitgliedstaaten können gegebenenfalls die Analysemethoden verwenden, die in EN 590:2004 ersetzen Normen genannt sind, wenn diese nachweislich mindestens den gleichen Genauigkeitsgrad wie die ersetzen Analysemethoden aufweisen.

⁽²⁾ Die in der Spezifikation angegebenen Werte sind „tatsächliche Werte“. Bei der Festlegung ihrer Grenzwerte wurden die Bestimmungen der ISO-Norm 4259:2006 „Mineralölprodukte — Bestimmung und Anwendung der Werte für die Präzision von Prüfverfahren“ angewendet, und bei der Festlegung eines Mindestwerts wurde eine Mindestdifferenz von 2 R über Null berücksichtigt (R = Reproduzierbarkeit). Die Ergebnisse der einzelnen Messungen werden auf Grundlage der in ISO 4259:2006 beschriebenen Kriterien ausgewertet.

⁽³⁾ FAME erfüllt die Anforderungen der Norm EN 14214.

Anforderungen an Biodiesel nach ASTM D 6751 [23]

Property	Test method	Limits	Units
Flash point (closed cup)	ASTM D93	93 min ^a	°C
Alcohol control			
One of the following must be met:			
1. Methanol content	EN 14110	0.2 max ^a	% volume
2. Flash point	ASTM D93	130.0 min	°C
Water and sediment	ASTM D2709	0.050 max	% volume
Kinematic viscosity, 40°C	ASTM D445	1.9–6.0	mm ² /s
Sulfated ash	ASTM D874	0.020 max	% mass
Sulfur ^b	ASTM D5453	0.0015 max (S15) 0.05 max (S500)	% mass (ppm)
Copper strip corrosion	ASTM D130	No. 3 max	
Cetane number	ASTM D613	47 min	
Cloud point	ASTM D2500	report	°C
Cold soak filterability	Annex A1 ^c	360 max ^d	s
Carbon residue	ASTM D4530	0.050 max	% mass
Acid value	ASTM D664	0.50 max	mg KOH/g
Free glycerin	ASTM D6584	0.020	% mass
Total glycerin	ASTM D6584	0.240	% mass
Oxidation stability	EN 14112	3.0 min	h
Phosphorous content	ASTM D4951	0.001 max	% mass
Sodium and potassium, combined	EN 14538	5 max	ppm
Calcium and magnesium, combined	EN 14538	5 max	ppm
Distillation temperature, Atmospheric equivalent temperature, 90% recovered	ASTM D1160	360 max	°C

^a For all Tables: min refers to minimum and max refers to maximum

^b The limits are for Grade S15 and Grade S500 biodiesel, with S15 and S500 referring to maximum allowable sulfur content (ppm)

^c Test method published as part of fuel standard specification

^d B100 intended for blending into petrodiesel that is expected to give satisfactory performance at fuel temperatures at or below -12°C shall comply with a maximum cold soak filterability limit of 200 s

Anforderungen an Gemische aus Diesel und Biodiesel, B6 - B20, nach ASTM D 7467 [23]

Property	Test method	Limits	Units
Biodiesel content	ASTM D7371	6–20	% volume
Flash point (closed cup)	ASTM D93	52 min	°C
One of the following must be met			
1. Cetane index	ASTM D976	40 min	
2. Aromaticity	ASTM D1319	35 max	% volume
Water and sediment	ASTM D2709	0.050 max	% volume
Kinematic viscosity, 40°C	ASTM D445	1.9–4.1	mm ² /s
Sulfur content ^a	ASTM D5453 ASTM D2622	15 max (S15) 500 max (S500)	ppm
Copper strip corrosion	ASTM D130	No. 3 max	
Cetane number	ASTM D613	40 min	
Ramsbottom Carbon residue	ASTM D524	0.35 max	% mass
Acid value	ASTM D664	0.30 max	mg KOH/g
Oxidation stability	EN 14112	6.0 min	h
Ash content	ASTM D482	0.01 max	% mass
Lubricity, HFRR, 60°C	ASTM D6079	520 max	µm
Cloud point or LTFT/CFPP	ASTM D2500, D4539, D6371	only guidance provided	°C
Distillation temperature, 90% recovered	ASTM D86	343 max	°C

^aThe limits are for Grade S15 and Grade S500 biodiesel, with S15 and S500 referring to maximum allowable sulfur content (ppm)

Anforderungen an Ethanol als Kraftstoffkomponente nach ASTM D 4806 [45]

Appendix A ASTM D 4806 "Standard Specification for Denatured Fuel Ethanol for Blending with Gasolines for Use as Automotive Spark-Ignition Engine Fuel" – Key Properties		
Property	Specification	ASTM Test Method
Ethanol Volume % min	92.1	D 5501
Methanol, volume %, max	0.5	
Solvent-washed gum, mg/100 ml max	5.0	D 381
Water content, volume %, max	1.0	E203
Denaturant content, volume % min	1.96	
volume % max	5.0	
Inorganic Chloride content, mass ppm (mg/L) max	10 (8) +	D 7319/D 7328
Copper content, mg/kg, max	0.1	D 1688
Acidity (as acetic acid CH ₃ COOH), mass percent (mg/L), max	0.007 (56)	D 1613
pHe	6.5-9.0	D 6423
Sulfur mass ppm, max	30.	D 2622/D 5453
Sulfate mass ppm, max	4	D 7318/D 7319
Appearance	visibly free of suspended or precipitated contaminants (clear & bright)	
+ In order to meet the Chloride Specification for E85 the base ethanol used must have a maximum chloride level of 1.17 ppm.		

Anforderungen an Ethanolkraftstoff nach ASTM D 5798 [45]

Table 1 ASTM D 5798 Standard Specification for Fuel Ethanol (Ed75-Ed85) for Automotive Spark Ignition Engines

Properties	Class 1	Class 2	Class 3	ASTM test method
Ethanol + higher alcohols, min, volume %	79	74	70	
Hydrocarbon/aliphatic ether, volume %	17-21	17-26	17-30	
Vapor pressure, kPa (psi)	38-59 (5.5-8.5)	48-65 (7.0-9.5)	66-83 (9.5-12.0)	D4953 / D5190
Sulfur, max, mg/kg	80	80	80	D2622 / D5453
All Classes				
Methanol, volume %, max	0.5			
Higher alcohols (C ₃ -C ₈), max, volume %	2.			
Acidity, (as acetic acid CH ₃ COOH), mass % (mg/L), max	0.005 (40)			D1613
Solvent-washed gum content, max, mg/100mL	5.			D381
pH _e	6.5 to 9.0			D6423
Unwashed gum content, max, mg/100 mL	20.			D381
Inorganic chloride, max, mg/kg	1.			D7319 / D7328
Copper, max, mg/L	0.07			
Water, max, mass %	1.0			D1688
Appearance	This product shall be visibly free of suspended or precipitated contaminants (clear and bright). This shall be determined at ambient temperature or 21°C (70°F), whichever is higher.			

** Note that certain states ban the use of MTBE/or other aliphatic ethers.

Tabelle 1a: Auszug aus der DIN ISO 1817:2008-08

Tabelle A.1 — Standardisierte Referenzflüssigkeit für Kraftstoffe ohne Sauerstoffverbindungen

Prüfflüssigkeit	Bestandteile	Zusammensetzung % (Volumenanteil)
A	2,2,4-Trimethylpentan	100
B	2,2,4-Trimethylpentan Toluol	70 30
C	2,2,4-Trimethylpentan Toluol	50 50
D	2,2,4-Trimethylpentan Toluol	60 40
E	Toluol	100
F	<i>n</i> -Paraffine (C ₁₂ bis C ₁₈) 1-Methylnaphthalin	80 20

ANMERKUNG Die Prüfflüssigkeiten B, C und D sind repräsentativ für aus Erdöl gewonnene Ottokraftstoffe ohne sauerstoffhaltige Verbindungen. Die Prüfflüssigkeit F ist repräsentativ für Dieselkraftstoff, Heizöl und ähnliche leichte Brennöle.

Tabelle 1b: Auszug aus der DIN ISO 1817:2008-08 (vgl. auch DIN 51604-1 und -2 - FAM A und B)

**Tabelle A.2 — Standardisierte Referenzflüssigkeiten für Kraftstoffe mit Sauerstoffverbindungen
(Alkohole)**

Prüfflüssigkeit	Bestandteile	Zusammensetzung % (Volumenanteil)
1	2,2,4-Trimethylpentan Toluol Diisobutylether Ethanol	30 50 15 5
2	2,2,4-Trimethylpentan Toluol Diisobutylether Ethanol Methanol Wasser	25,35 ^a 42,25 ^a 12,68 ^a 4,22 ^a 15,00 0,50
3	2,2,4-Trimethylpentan Toluol Ethanol Methanol	45 45 7 3
4	2,2,4-Trimethylpentan Toluol Methanol	42,5 42,5 15

^a Diese vier Bestandteile entsprechen 84,5 % (Volumenanteil) der oben angegebenen Prüfflüssigkeit 1.

Tabelle 2: Spezifikation für synthetisches Ethanol nach SAE J1681, Tabelle C2

Parameter	Einheit	Minimum	Maximum	Prüfverfahren
Ethanol	Masse-%	99,9 (16 °C)	-	-
Wasser	Vol.-%	-	0,10	ASTM D 1364
Dichte		-	0,7942 (15,6 °C) 0,7910 (20,0 °C) 0,7876 (25 °C)	ASTM D 4052
Säure als Essigsäure	Masse-%	-	0,0025	ASTM D 1613
nichtflüchtige Stoffe	g/100 ml	-	0,0025	ASTM D 1353
Vergällungsmittel ¹⁾	Vol.-%	2,0	-	27 CFR 21.24

¹⁾ mit Isomeren des Heptans, um die Testflüssigkeit möglichst nur gering zu verändern

Tabelle 3: Spezifikation für aggressives Ethanol nach SAE J1681, Tabelle E2

Parameter	Spezifikation	Anteil [g]
Ethanol,synth.	SAE J1681, Tabelle C2	816,0
deion. Wasser	-	8,103
Natriumchlorid	SAE J1681, Tabelle D4	0,004
Schwefelsäure (95 bis 98 %)	SAE J1681, Tabelle D6	0,021
Essigsäure (Eisessig)	SAE J1681, Tabelle D2	0,061

Tabelle 4: Spezifikation für Rapsmethylester nach SAE J1681, Tabelle C4

Parameter	Einheit	Minimum	Maximum	Prüfverfahren
Estergehalt	Masse-%	98,9 (210 °F)	-	-
Jodzahl	g Jod/100 g	-	120	ISO 3991
Flammpunkt	°F	210 (99 °C)	-	ASTM D 93
Säurezahl	mg KOH/g	-	0,5	ASTM D 664
Wasser	Masse-%	-	0,2	ASTM D 2709

Tabelle 5: Spezifikation für Sojamethylester nach SAE J1681, Tabelle C5

Parameter	Einheit	Minimum	Maximum	Prüfverfahren
Estergehalt	Masse-%	96,5	-	-
Jodzahl	-	-	-	ISO 3991
Flammpunkt	°C	100	-	ASTM D 93
Säurezahl	mg KOH/g	-	0,8	ASTM D 664
Wasser, Sediment	Vol.-%	-	0,05	ASTM D 2709
kin. Viskosität, 40 °C	mm ² /s	1,9	6,0	ASTM D 445
Sulfatasche	Masse-%	-	0,020	ASTM D 874
Schwefel	Masse-%	-	0,05	ASTM D 2622
Kupferstreifenkorr.	-	-	No. 3	ASTM D 130
Cetanzahl	-	40	-	ASTM D 613
Trübungspunkt	°C	Angabe	-	ASTM D 2500
Asche	Masse-%	-	0,050	ASTM D 4530
freies Glycerin	Masse-%	-	0,020	GC
Gesamtglycerin	Masse-%	-	0,240	GC

Tabelle 6: Spezifikation für CEC RF 08-A-85 (Ottokraftstoff Super)

(b) Reference fuel No. 2: CEC RF 08-A-85 (Type: premium petrol, lead-free)

	Limits and units min.	Max.	ASTM method
Research octane number	95.0		D 2699
Motor octane number	85.0		D 2700
Density at 15 °C	0.748	0.762	D 1298
Reid vapor pressure	0.56 bar	0.64 bar	D 323
Distillation			
Initial boiling point	24 °C	40 °C	D 86
10 vol. % point	42 °C	58 °C	D 86
50 vol. % point	90 °C	110 °C	D 86
90 vol. % point	155 °C	180 °C	D 86
Final boiling point	190 °C	215 °C	D 86
Residue		2%	D 86
Hydrocarbon analysis			
Alkenes		20 vol. %	D 1319
Aromatics	(included inq		D 1319
	5 vol. % max.		
benzol*)	45 vol. %		*D 3606/D 2267
Alkanes	balance		D 1319
Ratio hydrocarbon/ hydrogen		ratio	
Oxidation stability	480 min.		D525
Existent gum		4 mg/100 ml	D 381
Sulphur content		0.04% mass	D 1266/D 2622/ D 2785
Copper corrosion at 50 °C		1	D 130
Lead content		0.005 g/l	D 3237
Phosphorus content		0. 0013 g/l	D 3231

Note: Addition of oxygen containing components prohibited."

Tabelle 7: Spezifikation für CEC RF 06-03 (Dieselkraftstoff)

Feature	Units	Result	Limits		Method
			Minimum	Maximum	
Cetane Number (CFR) tested by subcontractor	-	53.4	52.0	54.0	EN ISO 5165
Density at 15°C	kg/m³	834.3	----	----	EN ISO 12185
Density at 15°C	kg/m³	834.3	833.0	837.0	ISO 3675
Gravity, API	-	37.9	----	----	ASTM D287
Distillation IBP	°C	204.4	----	----	EN ISO 3405
Dist. 10% v/v	°C	236.7	----	----	EN ISO 3405
Dist. 50% v/v	°C	273.7	245.0	----	EN ISO 3405
Dist. 90% v/v	°C	321.3	----	----	EN ISO 3405
Dist. 95% v/v	°C	346.6	345.0	350.0	EN ISO 3405
Distillation FBP	°C	359.3	----	370.0	EN ISO 3405
Flash Point	°C	90	55	----	EN ISO 2719
CFPP	°C	-16	----	-5	EN 116
Cloud Point	°C	-16	----	----	ISO 3015
Viscosity at 30°C	mm²/s	3.801	----	----	EN ISO 3104
Viscosity at 40°C	mm²/s	3.05	2.300	3.300	EN ISO 3104
Aromatics, Total	% wt	20.4	----	----	IP 391
Aromatics, Mono	% wt	15.4	----	----	IP 391
Aromatics, Di	% wt	4.9	----	----	IP 391
Aromatics, Tri+	% wt	< 0,1	----	----	IP 391
Aromatics, Poly (2+3)	% wt	4.9	3.0	6.0	IP 391
Sulfur	mg/kg	1.2	----	10.0	ASTM D5453
Corrosion - Copper		1A		1	EN ISO 2160
Carbon Residue	% wt	< 0,01	----	0.20	EN ISO 10370
10% Dist. Residue					
Ash Content	% wt	< 0,001	----	0.010	EN ISO 6245
tested by subcontractor					
Water	% wt	0.0014	----	0.0200	EN ISO 12937
Strong Acid Number	mg KOH / g	< 0,02	----	0.02	ASTM D974
Oxidation Stability	mg/mL	0.002	----	0.025	EN ISO 12205
tested by subcontractor					
Carbon	% wt	86.30	----	----	ASTM D3343
Hydrogen	% wt	13.70	----	----	ASTM D3343
C:H Ratio (H=1)	-	6.30	----	----	ASTM D3343
H:C Ratio (C=1)	-	0.159	----	----	ASTM D3343
Net Heating Value	MJ/kg	43.216	----	----	ASTM D3338
Net Heating Value	Btu/lb	18578	----	----	ASTM D3338
HFRR (wsd 1,4)	µm	209	----	400	CEC-F-06-A-96
FAME prohibited, none added		Passes			Local

Tabelle 1: Biodieselhersteller

Hersteller (Biodiesel)	Adresse	Internetpräsenz
Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH	39126 Magdeburg	
Verbio Diesel Schwedt GmbH & Co. KG	16303 Schwedt/Oder	www.verbio.de
Natur Energie West	45772 Marl	
Biodieselanlage Rostock	18147 Rostock	www.biopetrol-ind.de
VERBIO Diesel Bitterfeld GmbH & Co. KG	06749 Bitterfeld	www.verbio.de
GATE Global Alternative Energy Holding GmbH	06886 Lutherstadt Wittenberg	
Biodieselanlage Schwarzheide	01987 Schwarzheide	www.biopetrol-ind.de
RBE Rheinische BioEster GmbH	41460 Neuss	
Campa Biodiesel GmbH & Co. KG	97199 Ochsenfurt	www.campa-biodiesel.de
Biodiesel Wittenberge GmbH	19322 Wittenberge	www.biodiesel-wittenberge.de
Marina Biodiesel GmbH & Co. KG	25541 Brunsbüttel	www.marina-biodiesel.de
Campa-Biodiesel GmbH & Co. KG	94315 Straubing	www.campa-biodiesel.de
EOP European Oil Products Biodiesel AG	16928 Falkenhagen	www.eopbiodieselag.de
ADM Oelmühle Hamburg AG - Werk Leer	Sägemühlenstr. 45, 26789 Leer	www.admworld.com
Petrotec AG Werk Südlohn	46354 Südlohn	www.petrotec.de
ecoMotion GmbH - Werk Lünen	44536 Lünen	www.ecomotion-gmbh.de
ecoMotion GmbH - Werk Sternberg	19406 Sternberg	www.ecomotion-gmbh.de
Petrotec AG Werk Emden	26725 Emden	www.petrotec.de
BDK Biodiesel GmbH Kyritz	16866 Kyritz	www.bdk-kyritz.de
GATE Global Alternative Energy Holding	06118 Halle (Saale)	www.gate-energy.com
Thüringer Methylesterwerke GmbH & Co.	07570 Harth-Pöllnitz	www.tme-biodiesel.de
BioWerk Sohland GmbH	02689 Sohland a. d. Spree	www.biowerk-sohland.de
ECODASA AG	39288 Burg	www.ecodasa.de
Emerald Biodiesel Neubrandenburg GmbH	17034 Neubrandenburg	www.emerald-biodiesel.com
Rapsveredelung Vorpommern GmbH & Co. KG	17139 Malchin	www.biodiesel-malchin.de
Biokraftstoff Nord AG	29365 Sprakensehl-Bokel	
Ulrich Biodiesel GmbH	34260 Kaufungen	www.ulrich-gruppe.de
Nehlsen Neue Energien GmbH & Co. KG	18507 Grimmen	www.nehlsen.com
KFS Biodiesel GmbH	Industriezubringer 31-35, 49661 Cloppenburg	www.kfs-biodiesel.de
HHV Hallertauer Hopfen-Veredlungsgesellschaft	84048 Mainburg	

Fortsetzung Tabelle 1: Biodieselhersteller

Hersteller (Biodiesel)	Adresse	Internetpräsenz
Kartoffelverwertungsgesellschaft Cordes & Stoltenburg GmbH & Co. KG	24837 Schleswig	
ecoMotion GmbH - Werk Malchin	17139 Malchin	www.ecomotion-gmbh.de
LPV Landwirtschaftliche Produktions-Verarbeitungs GmbH	99947 Henningsleben	www.lpv-biodiesel.de
BioWerk Kleisthöhe GmbH	17337 Uckerland	
BKK Biodiesel GmbH	07407 Rudolstadt	www.bkk-biodiesel.de
Delitzscher Rapsöl GmbH & Co. KG	04509 Wiedemar	www.delitzscher-rapsoel.de
Sübio GmbH	98660 Themar	
Verwertungsgenossenschaft Biokraftstoffe	08541 Großfriesen	
Cargill GmbH	65926 Frankfurt am Main	www.cargill.de
KL Biodiesel Lülsdorf GmbH & Co. KG	53853 Niederkassel-Lülsdorf	
Emerald Biodiesel Ebeleben GmbH	99713 Ebeleben	
Mannheim Biofuel GmbH	68169 Mannheim	www.bunge-deutschland.de
Südstärke GmbH	86529 Schrobenhausen	www.suedstaerke.de
Premicon Biodiesel GmbH Co. Lubmin KG	Südring 4, 17507 Lubmin	www.premicon-biodiesel.de

Tabelle 2: Bioethanolhersteller

Hersteller (Bioethanol)	Adresse	Internetpräsenz
Crop Energies AG (Südzucker AG)	06712 Zeitz	www.cropenergies.com
VERBIO Ethanol Schwedt GmbH & Co. KG	Passower Chaussee 111 16303 Schwedt/Oder	www.verbio.de
Bioethanol-Anlage Klein Wanzleben	39164 Klein Wanzleben	
VERBIO Ethanol Zörbig GmbH & Co. KG	Thura Mark 20 06780 Zörbig (Bitterfeld)	www.verbio.de
PROKON Nord Energiesysteme GmbH	21682 Stade	www.ProkonNord.de
Sasol Germany GmbH - Werk Herne	44623 Herne	
Anklam Bioethanol GmbH (Suiker Unie)	Bluthsluster Str. 24 17389 Anklam	www.maribo.com
KWST Kraul & Wilkening und Stelling KG - GmbH & Co.	30559 Hannover	www.kwst.com
Bioethanolanlage Leppersdorf	An den Breiten 01454 Leppersdorf	www.sachsenmilch.com
Görlitzer Kornbrennerei Spirituosenfabrik Bernhard Icking KG	Güterborger Straße 85a 06918 Seyda (Wittenberg)	
Nedalco Alcohol GmbH & Co. KG	Salzstraße 129 74076 Heilbronn	www.nedalcoalcohol.de
Bio Raffinerie Kusey GmbH	Köcklerweg 5 38486 Kusey	
Abengoa Bioethanol-Werk Rostock	18147 Rostock	
BioEthanol Arneburg GmbH & Co. KG	Arneburger Str. 24 39576 Stendal	
Re.fuel AG Wernigerode	38855 Wernigerode	www.refuel.wpd.de
Re.fuel AG Brieselang	14656 Brieselang	www.refuel.wpd.de

Tabelle 3: Tankstellen mit Biodiesel oder Bioethanol im Raum Karlsruhe, Pforzheim, Rastatt

Liste der E85 Tankstellen:

http://www.ethanol-tanken.com/index.php?dat=1&tank=3&show=3&list=1&cat=4&tank_art=5&tank_name=alle&plz=%

	Tankstelle	Adresse	Produkte
A	AVIA Pfalzgraf	Untere Hauptstr. 39, 76887 Oberhausen	E85 ¹⁾
B	AVIA Ogrzall	Weinstraße 82 76889 Klingenmünster	E85 ¹⁾
C	AVIA Wieslocher Straße	Wieslocher Straße 30 69190 Walldorf,	E85 ¹⁾
D	AVIA Volker Lautensack	Brückenstr. 3 68549 Ilvesheim	E85 ¹⁾
E	AVIA Minera Kraftstoffe Rempel GmbH	Mannheimer Landstraße 2, 68723 Schwetzingen	E85 ¹⁾
F	AVIA Zinner	Karlsruher Straße 61, 69126 Heidelberg	E85 ¹⁾
G	Bft Pelleter Mineralölhandel	Woogseestraße 1, 76437 Rastatt	Biodiesel
H	Büchel Mineralölhandel - Freie Tankstelle	Südring 19, 76437 Iffezheim	Biodiesel ²⁾
J	Ernst Eberhardt GmbH	Werner von Siemens-Straße, 76646 Bruchsal,	Biodiesel ^{3) 4) 5)}
K	ZG Raiffeisen Tankstation Karlsruhe	Waldhornstraße 14-16 76131 Karlsruhe	Biodiesel ⁵⁾ E85 ⁶⁾
L	MTB Tankstelle	Hauptstraße 60, 72202 Nagold	Biodiesel ⁷⁾ E85 ⁸⁾
M	MTB Tankstelle	Pforzheimer Straße 19, 75378 Bad Liebenzell	Biodiesel ⁷⁾
N	ZG Raiffeisen eG Bretten Gölshausen	Langenmorgen 1,	E85 ⁶⁾
O	ZG Raiffeisen eG	Eppingerstr. 51, 76703 Kraichtal	Biodiesel ⁵⁾
P	bft Tankstelle Meiser	Stuttgarter Straße 70, 75438 Knittlingen	E85 ¹⁾
Q	bft Tankstelle Treffinger	Flehinger Straße 51, 75038 Oberderdingen	E85 ⁶⁾

¹⁾ Minera Kraftstoffe, Mineralölwerk Rempel GmbH, Rhenaniastr. 130-132, 68219 Mannheim

²⁾ Diermeier GmbH & Cie. Mineralöl KG, Mahkornstraße 14, 94315 Straubing

³⁾ Mabanaft Deutschland GmbH & Co.KG, Admiralitätstr. 55, 20459 Hamburg

⁴⁾ SBE BioEnergie Handelsgesellschaft mbH, Berliner Promenade 16, 66111 Saarbrücken

⁵⁾ ZG Raiffeisen eG, Lauterbergstr. 1, 76137 Karlsruhe

⁶⁾ Crop Energies, CropEnergies AG, Gottlieb-Daimler-Str.12, 68165 Mannheim

⁷⁾ TECOSOL GmbH, Jahnstraße 2, 97199 Ochsenfurt

⁸⁾ VERBIO Ethanol Zörbig GmbH & Co. KG, Thura Mark 18, 06780 Zörbig

Tabelle 1: Prüfflüssigkeiten der Zulassungsgrundsätze des DIBt
 schwarze und **rote Zeichen** = Einlagerungen mit EP, PUR (alle Flüssigkeiten)
rote Zeichen = Druckversuche mit EP und PUR sowie Einlagerung von PE-HD und PVC-P

Zeichen	Mediengruppe	Zusammensetzung der Prüfflüssigkeit
PF 1	Ottokraftstoffe, Super und Normal (nach DIN EN 228) mit einem maximalen (Bio) Ethanolgehalt von 5 Vol.-% (nach DIN EN 15376:2009-11)	47,5 Vol.-% Toluol 30,4 Vol.-% Isooctan (2,2,4 Trimethylpentan) 17,1 Vol.-% n-Heptan 3,0 Vol.-% Methanol 2,0 Vol.-% tert. Butanol
PF 1a	Ottokraftstoffe, Super und Normal (nach DIN EN 228) mit Zusatz von (Bio -) Alkohol nach RL 2009/30/EG bis zu einem Gesamtgehalt von max. 20 Vol.-% (einschl. Gr. 1)	FAM Prüfflüssigkeit B (DIN 51604-2) mit 84,5 Vol.-% FAM-Prüfflüssigkeit A 15,0 Vol.-% Methanol 0,5 Vol.% Wasser
PF 3	Heizöl EL (nach DIN 51603-1), ungebrauchte Verbrennungsmotorenöle, ungebrauchte Kraftfahrzeug-Getriebeöle, Gemische aus gesättigten und aromatischen Kohlenwasserstoffen mit einem Aromatengehalt von ≤ 20 Masse % und einem Flammpunkt > 55°C ²⁾	Prüfgemisch F (nach DIN ISO 1817) bestehend aus: 80 Vol.-% n-Paraffine (C12-C18) 20 Vol.-% 1-Methylnaphthalin
PF 3a	Dieselkraftstoffe (nach DIN EN 590:2004-03) mit max. 5 Vol.-% Biodiesel (FAME nach DIN EN 14214:2010-04) (einschl. Gr. 3)	95 Vol.-% Prüfgemisch F (DIN ISO 1817) 5 Vol.-% Rapsölfettsäuremethylester (RME) ¹⁾ nach DIN EN 14214:2010-04
PF 3b	Dieselkraftstoffe (nach DIN EN 590:2010-05) mit Zusatz von Biodiesel (FAME nach DIN EN 14214:2010-04) bis zu einem Gesamtgehalt von max. 20 Vol.-% (einschl. Gr. 3 und 3a)	80 Vol.-% Prüfgemisch F (DIN ISO 1817) 20 Vol.-% Rapsölfettsäuremethylester (RME) ¹⁾ nach DIN EN 14214:2010-04
PF 4	alle Kohlenwasserstoffe sowie benzolhaltige Gemische mit max. 5 Vol.-% Benzol, außer Kraftstoffe (einschließlich Gr. 2, 3, 4b und 4c, außer Gr. 3a, 3b, 4a, 1 und 1a)	60 Vol.-% Toluol 30 Vol.-% Xylol 10 Vol.-% Methylnaphthalin
PF 5	ein- und mehrwertige Alkohole (bis max. 48 Vol.-% Methanol), Glykolether (einschl. Gr. 5b)	48 Vol.-% Methanol 48 Vol.-% Isopropanol 4 Vol.-% Wasser
PF 5a	alle Alkohole und Glykolether (einschl. Gr. 5 und 5b)	Methanol
PF 5b	ein- und mehrwertige Alkohole ≥ C ₂	48 Vol.-% Ethanol 48 Vol.-% Isopropanol 4 Vol.-% Wasser
PF 7	alle organischen Ester und Ketone (einschl. Gr. 7a und 7b) ²⁾	50 Vol.-% Ethylacetat 50 Vol.-% Methylisobutylketon
PF 7a	aromatische Ester und Ketone	50 Vol.-% Salicylsäuremethylester 50 Vol.-% Acetophenon
PF 7b	Biodiesel (nach DIN EN 14214) ²⁾	Rapsölfettsäuremethylester (RME) ¹⁾

¹⁾ Rapsölfettsäuremethylester (Sommerqualität) gemäß EN 14214, Bezugsquellen:
 ADM Oelmühle Hamburg AG, Werk Leer, 26789 Leer, Sägemühlenstrasse 45
 Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH, 39126 Magdeburg, Am Hansehafen 8

²⁾ Sofern die Prüfungen mit Mediengruppe 3 und 7 oder 7b erbracht wurden, gelten die Prüfungen nach Mediengruppe 3a und 3b als erbracht. Diese Regel ist seit Dezember 2009 ausgesetzt; d. h. die Mediengruppen 3a, 3b und 7b sind gesondert zu prüfen; die Mediengruppe 3b schließt die Mediengruppe 3a ein; die Mediengruppen 3a und 3b schließen weiterhin die Mediengruppe 3 ein.

Tabelle 2: Verwendete Biodiesel und Gemische aus Biodiesel und Diesel
 schwarze und **rote Zeichen** = Einlagerungen mit EP, PUR (alle Flüssigkeiten)
rote Zeichen = Druckversuche mit EP und PUR sowie Einlagerung von PE-HD und PVC-P

Zeichen	Bezugsquelle	Rohstoff, Spezifikation ¹⁾
7b M	Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH	Raps, DIN EN 14214, Lieferung: März 2010 (siehe auch Anlage 7, Tabelle 4)
7b M alt		gealtert (offen, 12 Wo. 55 °C + 6 Wo. 23 °C)
7b M-09	Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH	Raps, DIN EN 14214, Lieferung März 2009 (siehe auch Anlage 7, Tabellen 5 und 6)
7b L	ADM Oelmühle Hamburg AG, Werk Leer	Raps, DIN EN 14214, "connediesel" Lieferung: März 2010 (siehe auch Anlage 7, Tabelle 7)
7b L alt		gealtert (offen, 12 Wo. 55 °C + 6 Wo. 23 °C)
C-RME	Tecosol GmbH, Werk Ochsenfurt ehem. Campa	Raps (ca. 50 %), Altspeisefette (ca. 25 %), pflanzl. Fettsäuren (ca. 25 %), DIN EN 14214 Lieferung: Juni 2010 (siehe auch Anlage 7, Tabelle 8)
BD-7	VERBIO Diesel Bitterfeld GmbH & Co. KG	Raps (ca. 70 %), Soja, Fettsäuren, DIN EN 14214 Lieferung: Mai 2010 (siehe auch Anlage 7, Tabellen 10 und 11)
EM-RME	ecoMotion GmbH, Werk Sternberg	Raps, DIN EN 14214, Lieferung: Mai 2010 (siehe auch Anlage 7, Tabelle 12)
EM-FME	ecoMotion GmbH, Werk Malchin	Tierfett, DIN EN 14214, Lieferung: Mai 2010 (siehe auch Anlage 7, Tabelle 13)
BD-2	Büchel Mineralöl Freie Tankstelle, Iffezheim, Südring	Raps, DIN EN 14214, Bezug über Tecosol GmbH, Werk Ochsenfurt, Lieferung: Mai 2010 (siehe auch Anlage 7, Tabelle 9)
BD-5	ZG Raiffeisen Tankstation, Karlsruhe, Waldhornstraße	Biodiesel, DIN EN 14214, Bezug über Oiltanking Dt. GmbH & Co. KG/Mabanaft Dt. GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Lieferung: Mai 2010
3a M	Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH Lohmann Laborservice GmbH	5 Vol.-% 7b M (Raps, DIN EN 14214, Lieferung März 2010) 95 Vol.-% Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817
3a M alt		gealtert (offen, 12 Wo. 55 °C + 6 Wo. 23 °C)
3b M	Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH Lohmann Laborservice GmbH	20 Vol.-% 7b M (Raps, DIN EN 14214, Lieferung März 2010) 80 Vol.-% Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817
3b M alt		gealtert (offen, 12 Wo. 55 °C + 6 Wo. 23 °C)
3a L	ADM Oelmühle Hamburg AG, Werk Leer Lohmann Laborservice GmbH	5 Vol.-% 7b L (Raps, DIN EN 14214, Lieferung: März 2010) 95 Vol.-% Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817
3a L alt		gealtert (offen, 12 Wo. 55 °C + 6 Wo. 23 °C)

Fortsetzung Tabelle 2: Verwendete Biodiesel und Gemische aus Biodiesel und Diesel
 schwarze und **rote Zeichen** = Einlagerungen mit EP, PUR (alle Flüssigkeiten)
rote Zeichen = Druckversuche mit EP und PUR sowie Einlagerung von PE-HD und PVC-P

3b L	ADM Oelmühle Hamburg AG, Werk Leer Lohmann Laborservice GmbH	20 Vol.-% 7b L (Raps, DIN EN 14214, Lieferung: März 2010) 80 Vol.-% Prüfflüssigkeit F nach DIN ISO 1817 gealtert (offen, 12 Wo. 55 °C + 6 Wo. 23 °C)
3b L alt		
B7 A	Aral AG, Karlsruhe, Tankstelle Haid-und-Neu-Straße	B7, DIN EN 590 (Aral Diesel) Lieferung: Oktober 2010 (siehe auch Anlage 7, Tabelle 22)
B7 S	Shell Deutschland Oil GmbH, Karlsruhe, Tankstelle Linkenheimer Landstraße	B7, DIN EN 590 (Shell FuelSave Diesel) Lieferung: Oktober 2010 (siehe auch Anlage 7, Tabelle 20)
PF B100 pur	Sigma-Aldrich Chemie GmbH	Ölsäuremethylester, techn. 70 %, ohne Zusatz von BHT (siehe auch Anlage 7, Tabelle 24)
PF B100	Sigma-Aldrich Chemie GmbH Carl Roth GmbH + Co. KG	1. Zugabe von BHT zum Ölsäuremethylester, techn. 70 %, sofort nach der Lieferung: 1000 mg Butylhydroxytoluol (2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol) auf 1 kg Ölsäuremethylester, techn. 70 % 2. Mischung von Komponenten basierend auf DIN EN 14214, Tab.1 98,3 Masse-% stabilisierter (BHT) Ölsäuremethylester, techn. 70 % 0,2 Masse-% Methanol, 99,9 % 1,2 Masse-% Ölsäure, 90 % 0,25 Masse-% Glycerin, 99 % 0,05 Masse-% Wasser

¹⁾ Auszug aus der DIN EN 14214:2010-04, Fettsäure-Methylester (FAME) für Dieselmotoren
 Nationaler Anhang

NB.3 Klimatisch abhängige Anforderungen und Prüfverfahren (siehe Tabelle 2a)

Die Anforderungen an die Temperaturgrenzwerte der Filtrierbarkeit sind wie folgt festgelegt:

15. April bis 30. September	CFPP höchstens	0 °C
01. Oktober bis 15. November	CFPP höchstens	-10 °C
16. November bis 28. Februar ²⁾	CFPP höchstens	-20 °C
01. März bis 14. April	CFPP höchstens	-10 °C

Tabelle 3: Verwendete Bioethanole und Gemische aus Bioethanol und Ottokraftstoff
 schwarze und **rote Zeichen** = Einlagerungen mit EP, PUR (alle Flüssigkeiten)
rote Zeichen = Druckversuche mit EP und PUR sowie Einlagerung von PE-HD und PVC-P

Zeichen	Bezugsquelle	Rohstoff, Spezifikation ¹⁾
N-E100	Nedalco Alcohol GmbH & Co. KG, Werk Heilbronn	überwiegend Getreide, DIN EN 15376 Lieferung: Mai 2010 (siehe auch Anlage 7, Tabellen 14 und 22)
V-E100	VERBIO Ethanol Zörbig GmbH & Co. KG	Weizen, DIN EN 15376 Lieferungen: Mai 2010, Januar 2011 (siehe auch Anlage 7, Tabellen 15, 16 und 22)
E	Carl Roth GmbH + Co. KG	Ethanol, ≥ 99,8 %
E85-8	VERBIO Ethanol Zörbig GmbH & Co. KG	verbio E85, DIN 51625 Lieferung: Mai 2010, Sommerware Lieferung: Januar 2011, Winterware (siehe auch Anlage 7, Tabellen 17 und 18)
E85-6	ZG Raiffeisen Tankstation, Karlsruhe	E85, DIN 51625, Bezug über CropEnergies AG, Mannheim, Werk Zeitz (Südzucker) Lieferung: Mai 2010, Sommerware Lieferung: Februar 2011, Winterware
E85-1	bft Tankstelle Meiser, Knittlingen	E85, DIN 51625, Bezug über VERBIO AG Lieferung: Mai 2010, Sommerware (siehe auch Anlage 7, Tabelle 19)
E5 S	Shell Deutschland Oil GmbH, Karlsruhe, Tankstelle Linkenheimer Landstraße	E5, DIN EN 228 (Shell FuelSave Super) Lieferung: Oktober 2010 (siehe auch Anlage 7, Tabelle 21)
PF E100	Carl Roth GmbH + Co. KG	Komponenten basierend auf DIN EN 15376, Tab. 1 98,7 Masse-% Ethanol, ≥ 99,8 % 1,0 Masse-% Methanol, 99,9 % 0,007 Masse-% Essigsäure, 100 % 0,293 Masse-% Wasser
PF E85S	Carl Roth GmbH + Co. KG	Komponenten basierend auf DIN 51625, Tab. 2 (Sommer): 86 Vol.-% PF E100 14 Vol.-% PF 1 gem. ZG DIBt
PF E85W	Carl Roth GmbH + Co. KG	Komponenten basierend auf DIN 51625, Tab. 2 (Winter): 70 Vol.-% PF E100 30 Vol.-% PF 1 gem. ZG DIBt
PF E10	Carl Roth GmbH + Co. KG	Komponenten basierend auf DIN 51626-1, Tab. 1 10 Vol.-% PF E100 90 Vol.-% PF 1 gem. ZG DIBt

¹⁾ Fußnoten siehe folgende Seite

¹⁾ Auszug aus der DIN 51625:2008-08, Ethanolkraftstoff E85

Tabelle 2 — Klimatische Anforderungen in Abhängigkeit von der Jahreszeit

Eigenschaften	Einheit	Klasse A (Sommer)	Klasse B (Winter)	Prüfverfahren ^a
Summengehalt an Ethanol und höheren Alkoholen	% (V/V), min. % (V/V), max.	75 86	70 80	E DIN 51627-3
Gehalt an unverbleitem Ottokraftstoff ^b	% (V/V), max.	25	30	E DIN 51627-3
Dampfdruck (DVPE)	kPa, min. kPa, max.	35,0 60,0	50,0 90,0	DIN EN 13016-1
Siedeende	°C, max.	210	210	DIN EN ISO 3405 ^c
Destillationsrückstand	% (V/V), max.	2	2	DIN EN ISO 3405 ^c

^a Siehe auch 5.6.1.
^b Bis auf den Dampfdruck und den Gehalt an Alkoholen muss der zugesetzte Ottokraftstoff die Anforderungen der DIN EN 228 erfüllen.
^c Bedingt durch das spezifische Problem im Siederverhalten von E85 kann es bei der automatischen Destillation zu fehlerhaften Ergebnissen für das Siedeende und für den Destillationsrückstand kommen. Im Zweifelsfall sollte daher die Destillation nach dem manuellen Verfahren überprüft werden.

Auszug aus der E DIN EN 15293:2009-04, Ethanolkraftstoff E85

Um den Anforderungen an das Kalt- und Heißfahrverhalten von Fahrzeugen unter den europäischen jahreszeitlichen und geographischen Verhältnissen zu entsprechen, sind vier Flüchtigkeitsklassen in Tabelle 2 festgelegt. Klasse A kommt während des Sommers zu Anwendung, der nicht später als am 01. Mai beginnt und nicht vor dem 30. September endet. Jedes Land muss festlegen, welche der vier Flüchtigkeitsklassen während der anderen Jahreszeiten zur Anwendung kommen und diese dürfen zeitliche und/oder regionale Übergangswerte umfassen, die auf nationalen meteorologischen Daten beruhen.

Tabelle 2 — Klimatisch abhängige Anforderungen und Prüfverfahren

Eigenschaft	Einheit	Klasse A		Klasse B		Klasse C		Klasse D		Prüfverfahren ^a (siehe Abschnitt 2)
		min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	
Ethanol und höhere gesättigte Alkohole ^b	% (V/V)	d	85	70	85	60	85	50	85	EN 1601
Dampfdruck	kPa	35,0	60,0	50,0	80,0	55,0	80,0	60,0	—	EN 13016-1 ^c

^a Siehe auch 5.8.1.
^b Untersuchungen bei CEN haben gezeigt, dass das reguläre Verfahren zur Bestimmung von Ethanol [6] nicht verwendet werden kann. Siehe 5.1 und A.2.
^c Das trockene Dampfdruckäquivalent (DPVE) muss angegeben werden.
^d Ist später anhand von Feldversuchen zu entscheiden. Vorgesehene Grenzwerte sind 70 oder 75.

Tabelle 4: Kennwerte Biodiesel, Bio Ölwerk Magdeburg, 2010

Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH Am Hansehafen 8 – 39126 Magdeburg



Werkszertifikat

Produkt:

**RME gem. DIN EN 14214
aus Tank B0970.61**

Qualitätsmerkmale:	Methode	Einheit	Norm	Analyse
Ester-Gehalt	DIN EN 14103	%	min. 96,5	>96,5
Dichte bei 15°C	DIN EN ISO 12185	kg/m³	860-900	883
Kinematische Viskosität bei 40°C	DIN EN ISO 3104	mm²/s	3,5-5,0	3,5-5,0
Flammpunkt	DIN EN ISO 3679	°C	über 101	>101
Schwefelgehalt	DIN EN ISO 20884	mg/kg	max. 10	<10
Koksrückstand (von 10% Destillationsrückstand)	DIN EN ISO 10370	%	max. 0,3	<0,3
Cetanzahl	DIN EN 15195	-	min. 51,0	>51,0
Asche-Gehalt (Sulfatasche)	ISO 3987	%	max. 0,02	<0,02
Wassergehalt (Massenanteil)	DIN EN ISO 12937	mg/kg	max. 500	97
Gesamtverschmutzung (Massenanteil)	DIN EN 12662	mg/kg	max. 24	<24
Korrosionswirkung auf Kupfer (3h bei 50°C)	DIN EN ISO 2160	Korrosionsgrad	1	1
Oxidationsstabilität, 110 °C	DIN EN 14112	h	min. 6	>6
Säurezahl	DIN EN 14104	mg KOH/g	max. 0,5	0,05
Iodzahl	DIN EN 14111	g Iod/ 100g	max. 120	<120
Gehalt an Linolensäure-Methylester	DIN EN 14103	%	max. 12	<12
Methanolgehalt (Massenanteil)	DIN EN 14110	%	max. 0,2	<0,2
Monoglyceride (Massenanteil)		%	max. 0,8	0,52
Diglyceride (Massenanteil)		%	max. 0,2	0,08
Triglyceride (Massenanteil)		%	max. 0,2	<0,01
Freies Glycerin (Massenanteil)	DIN EN 14105	%	max. 0,02	<0,01
Gesamtglycerin (Massenanteil)		%	max. 0,25	0,15
Alkaligehalt (Na + K)	DIN EN 14108/109	mg/kg	max. 5	<5
Erdalkaligehalt (Ca + Mg)	DIN EN 14538	mg/kg	max. 5	<5
Phosphor-Gehalt	EN 14107	mg/kg	max. 4	<4
Grenzwert der Filtrierbarkeit (CFPP)	DIN EN 116		15.04. bis 30.09. max. 0 °C 01.10. bis 15.11. max. -10 °C 16.11. bis 28.02. max. -20 °C 01.03. bis 14.04. max. -10 °C	-13

Hiermit wird anhand obiger Ergebnisse der laufenden betrieblichen Prüfungen bestätigt, dass die Lieferung den Vereinbarungen bei der Bestellannahme entspricht. Rückstellproben-Identifikation erfolgt über die Lieferschein-Nummer.

Das vorliegende Werks-Zertifikat ist zur Kunden-Information bestimmt und bezieht sich ausschließlich auf die ausgelieferte Ware. Seine Weitergabe zur Produkt-Kennzeichnung ist nur zulässig, wenn die Ware in unveränderter Form, d.h. insbesondere ohne Vermischung mit anderen Stoffen und ohne Transport- und Lagerschäden an die nächste Handelsstufe übergeben wird.

Magdeburg, 05. März 2010

Reinhard Kluge
 Geschäftsführer

Iris Hodura
 Laborleiterin

Tabelle 5: Kennwerte Biodiesel, Bio Ölwerk Magdeburg, 2009

Werkszertifikat

Produkt:

RME gem. DIN EN 14214 aus Tank B 980.054

Qualitätsmerkmale:	Methode	Einheit	Norm	Analyse
Ester-Gehalt	prEN 14103	%	min. 96,5	97,5
Dichte bei 15°C	EN ISO 12185	kg/m³	860-900	883
Kinematische Viskosität bei 40°C	EN ISO 3104	mm²/s	3,5-5,0	4,13
Flammpunkt	prEN ISO 3679	°C	über 120	174
Schwefelgehalt	prEN ISO 20884	mg/kg	max. 10	< 5
Koksrückstand (von 10% Destillationsrückstand)	EN ISO 10370	%	max. 0,3	0,05
Cetanzahl	FIA 100/3	-	min. 51,0	51
Asche-Gehalt (Sulfatasche)	ISO 3987	%	max. 0,02	< 0,001
Wassergehalt (Massenanteil)	EN ISO 12937	mg/kg	max. 500	221
Gesamtverschmutzung (Massenanteil)	EN 12662	mg/kg	max. 24	6
Korrosionswirkung auf Kupfer (3h bei 50°C)	EN ISO 2160	Korrosionsgrad	1	1A
Oxidationsstabilität, 110 °C	EN 14112	h	min. 6	8,9
Säurezahl	EN 14104	mg KOH/g	max. 0,5	0,17
Iodzahl	EN 14111	g Iod/ 100g	max. 120	114
Gehalt an Linolensäure-Methylester	EN 14103	%	max. 12	6,5
Methanolgehalt (Massenanteil)	EN 14110	%	max. 0,2	0,04
Monoglyceride (Massenanteil)	EN 14105	%	max. 0,8	0,62
Diglyceride (Massenanteil)		%	max. 0,2	0,08
Triglyceride (Massenanteil)		%	max. 0,2	<0,01
Freies Glycerin (Massenanteil)		%	max. 0,02	< 0,01
Gesamtglycerin (Massenanteil)		%	max. 0,25	0,17
Alkaligehalt (Na + K)	prEN 14538	mg/kg	max. 5	< 1
Erdalkaligehalt (Ca + Mg)		mg/kg	max. 5	< 1
Phosphor-Gehalt	EN 14107	mg/kg	max. 10	< 4
Grenzwert der Filtrierbarkeit (CFPP)	EN 116		15.04. bis 30.09. 01.10. bis 15.11. 16.11. bis 28.02. 01.03. bis 14.04.	max. 0 °C max. -10 °C max. -20 °C max. -10 °C
				-16

Hiermit wird anhand obiger Ergebnisse der laufenden betrieblichen Prüfungen bestätigt, dass die Lieferung den Vereinbarungen bei der Bestellannahme entspricht. **Rückstellproben-Identifikation erfolgt über die Lieferschein-Nummer.**

Das vorliegende Werks-Zertifikat ist zur Kunden-Information bestimmt und bezieht sich ausschließlich auf die ausgelieferte Ware. Seine Weitergabe zur Produkt-Kennzeichnung ist nur zulässig, wenn die Ware in unveränderter Form, d.h. insbesondere ohne Vermischung mit anderen Stoffen und ohne Transport- und Lagerschäden an die nächste Handelsstufe übergeben wird.

Magdeburg, 15.Juni 2009


 Reinhard Kluge
 Geschäftsführer


 Iris Hodura
 Laborleiterin

Tabelle 6: Kennwerte Biodiesel, Bio Ölwerk Magdeburg, 2008

Werkszertifikat

Produkt: RME gem. DIN EN 14214

Qualitätsmerkmale:	Methode	Einheit	Norm	Analyse
Ester-Gehalt	prEN 14103	%	min. 96,5	> 99,0
Dichte bei 15°C	EN ISO 12185	kg/m³	860-900	883
Kinematische Viskosität bei 40°C	EN ISO 3104	mm²/s	3,5-5,0	4,52
Flammpunkt	prEN ISO 3679	°C	über 120	186
Schwefelgehalt	prEN ISO 20884	mg/kg	max. 10	2,4
Koksrückstand (von 10% Destillationsrückstand)	EN ISO 10370	%	max. 0,3	0,03
Cetanzahl	FIA 100/3	-	min. 51,0	53
Asche-Gehalt (Sulfatasche)	ISO 3987	%	max. 0,02	< 0,01
Wassergehalt (Massenanteil)	EN ISO 12937	mg/kg	max. 500	155
Gesamtverschmutzung (Massenanteil)	EN 12662	mg/kg	max. 24	12
Korrosionswirkung auf Kupfer (3h bei 50 °C)	EN ISO 2160	Korrosionsgrad	1	1
Oxidationsstabilität, 110 °C	EN 14112	h	min. 6	9,8
Säurezahl	EN 14104	mg KOH/g	max. 0,5	0,07
Iodzahl	EN 14111	g Iod/ 100g	max. 120	114
Gehalt an Linolensäure-Methylester	EN 14103	%	max. 12	9,9
Methanolgehalt (Massenanteil)	EN 14110	%	max. 0,2	0,02
Monoglyceride (Massenanteil)	EN 14105	%	max. 0,8	0,65
Diglyceride (Massenanteil)		%	max. 0,2	0,09
Triglyceride (Massenanteil)		%	max. 0,2	0,01
Freies Glycerin (Massenanteil)		%	max. 0,02	< 0,01
Gesamtglycerin (Massenanteil)		%	max. 0,25	0,18
Alkaligehalt (Na + K)	prEN 14538	mg/kg	max. 5	< 0,5
Erdalkaligehalt (Ca + Mg)		mg/kg	max. 5	< 0,5
Phosphor-Gehalt	EN 14107	mg/kg	max. 10	< 0,5
Grenzwert der Filtrierbarkeit (CFPP)	EN 116		15.04. bis 30.09. 01.10. bis 15.11. 16.11. bis 28.02. 01.03. bis 14.04.	max. 0 °C max. -10 °C max. -20 °C max. -10 °C
				-15

Hiermit wird anhand obiger Ergebnisse der laufenden betrieblichen Prüfungen bestätigt, dass die Lieferung den Vereinbarungen bei der Bestellannahme entspricht. **Rückstellproben-Identifikation erfolgt über die Lieferschein-Nummer.**

Das vorliegende Werks-Zertifikat ist zur Kunden-Information bestimmt und bezieht sich ausschließlich auf die ausgelieferte Ware. Seine Weitergabe zur Produkt-Kennzeichnung ist nur zulässig, wenn die Ware in unveränderter Form, d.h. insbesondere ohne Vermischung mit anderen Stoffen und ohne Transport- und Lagerschäden an die nächste Handelsstufe übergeben wird.

Magdeburg, 16. Oktober 2008


 Reinhard Kluge
 Geschäftsführer


 Iris Hodura
 Laborleiterin

Tabelle 7: Kennwerte Biodiesel, ADM Hamburg AG, Werk Leer, 2010

Analysenzertifikat connediesel®			BIODIESEL an ADM product		
Biodiesel DIN EN 14214					
EIGENSCHAFT	MASSEINHEIT	METHODE	MINIMUM	MAXIMUM	Connediesel®
Chargennummer:		T62_030310			
Additivierung:		stabilisiert mit BHT,			
Verladetank:		T62			
Datum der Probenahme:		03.03.2010			
GRENZWERTE DIN EN 14214					
Estergehalt	%	DIN EN 14103	96.5		97.8
Dichte (15 °C)	g/ml	DIN EN ISO 12185	0.875	0.900	0.8831
Kin. Viskosität (40 °C)	mm²/s	DIN EN ISO 3104	3.50	5.00	4.444
Flammpunkt (PM)	°C	DIN EN 2719	120		> 151
CFPP	°C	DIN EN 116		0	-16
Schwefelgehalt	mg/kg	DIN EN ISO 20846		10.0	< 10
Koksrückstand (von 10% Rückstand)	% (m/m)	DIN EN ISO 10370		0.30	< 0.30
Cetanzahl		DIN EN ISO 5165	51		> 51
Asche	% (m/m)	DIN ISO 3987		0.02	< 0.01
Wassergehalt	mg/kg	DIN EN ISO 12937		500	184
Gesamtverschmutzung	mg/kg	DIN EN 12662		24	1
Kupferstreifen-Korrosion		DIN EN ISO 2160		1	1
Oxidationsstabilität	h	DIN EN 14112	6.0		> 6
Säurezahl	mg KOH / g	DIN EN 14104		0.50	0.12
Iodzahl	g Iod / 100 g	DIN EN 14111		120	113
Gehalt an Linolensäuremethylester	% (m/m)	DIN EN 14103		12	9.7
Gehalt an Fettsäuremethylester mit ≥ 4 Doppelbindungen	% (m/m)	DIN EN 14103		1	< 1
Methanol	% (m/m)	DIN EN 14110		0.20	0.02
Monoglyceride	% (m/m)	DIN EN 14105		0.80	0.61
Diglyceride	% (m/m)	DIN EN 14105		0.20	0.15
Triglyceride	% (m/m)	DIN EN 14105		0.20	0.06
Freies Glycerin	% (m/m)	DIN EN 14105		0.020	< 0.005
Gesamtglycerin	% (m/m)	DIN EN 14105		0.25	0.18
Alkaligehalt (Na + K)	mg/kg	DIN EN 14538		5.0	< 1
Erdalkaligehalt (Ca + Mg)	mg/kg	DIN EN 14538		5.0	< 1
Phosphorgehalt	mg/kg	DIN EN 14107		10.0	< 1
Datum :	04.03.2010	Unterschrift :	MS		
ADM Hamburg AG Werk Leer D-26789 Leer					

Tabelle 8: Kennwerte Biodiesel, Tecosol GmbH, 2010



Spezifikation

Produkt: Campa-Biodiesel gemäß DIN EN 14214
Verladetank: B0256
Chargennummer:
Lieferscheinnummer:
Verladedatum:
Kunde:

Tecosol GmbH

Verwaltung:	Jahnstr. 2 97199 Ochsenfur
Telefon:	09331 / 98 15 0
Werk:	Marktbreiter Str. 74 97199 Ochsenfur
Telefon:	09331 / 87 61 - 0
Telefax:	09331 / 87 61-10
Geschäftsführer:	Michael Lend Dr. Ralf Türcl
Registergericht:	AG Würzburg HRB 1031
Sitz der Gesellschaft:	Ochsenfur
Ust-IdNr.:	DE 24584618

Generell anwendbare Anforderungen und Testmethoden DIN EN 14214

Eigenschaft	Einheit	Grenzwert min./max.	Prüfverfahren
Ester-Gehalt	% (m/m)	min. 96,5	DIN EN 14103
Dichte bei 15 °C	kg/m³	860 - 900	DIN EN ISO 3675
Kinematische Viskosität bei 40 °C	mm²/s	3,50 - 5,00	DIN EN ISO 3104
Flammpunkt	°C	min. 120	DIN EN ISO 3679
CFPP (Grenze der Filtrierbarkeit)	°C	max. 0	DIN EN 116
Schwefelgehalt	mg/kg	max. 10,0	DIN EN ISO 20884
Koksrückstand	% (m/m)	max. 0,30	DIN EN ISO 10370
Cetanzahl	-	min. 51,0	DIN EN ISO 5165
Asche-Gehalt (Sulfatasche)	% (m/m)	max. 0,02	ISO 3987
Wassergehalt	mg/kg	max. 500	DIN EN ISO 12937
Gesamtverschmutzung	mg/kg	max. 24	DIN EN 12662
Korrosionswirkung auf Kupfer (3 h bei 50 °C)	Korrosionsgrad	Klasse 1	DIN EN ISO 2160
Oxidationsstabilität, 110 °C	Stunden	min. 6,0	DIN EN 14112
Säurezahl	mg KOH/g	max. 0,500	DIN EN 14104
Iodzahl	g Iod/100g	max. 120	DIN EN 14111
Gehalt an Linolensäure-Methylester	% (m/m)	max. 12,0	DIN EN 14103
Gehalt an mehrfach ungesättigten Methylestern (4 oder mehr Doppelbindungen)	% (m/m)	max. 1	
Methanolgehalt	% (m/m)	max. 0,20	DIN EN 14110
Monoglycerid-Gehalt	% (m/m)	max. 0,80	DIN EN 14105
Diglycerid-Gehalt	% (m/m)	max. 0,20	DIN EN 14105
Triglycerid-Gehalt	% (m/m)	max. 0,20	DIN EN 14105
Gehalt an freiem Glycerin	% (m/m)	max. 0,020	DIN EN 14105
Gehalt an Gesamt-Glycerin	% (m/m)	max. 0,25	DIN EN 14105
Gehalt an Alkali-Metallen (Na + K)	mg/kg	max. 5,0	DIN EN 14538
Gehalt an Erdalkali-Metallen (Ca + Mg)	mg/kg	max. 5,0	DIN EN 14538
Phosphor-Gehalt	mg/kg	max. 4,0	DIN EN 14107

Dieses Produkt ist mit einem Antioxidationsmittel versetzt.

Das vorliegende Zertifikat ist zur Kunden-Information bestimmt und bezieht sich ausschließlich auf die ausgelieferte Ware. Seine Weitergabe zur Produktkennzeichnung ist nur zulässig, wenn die Ware in unveränderter Form, d.h. insbesondere ohne Vermischung mit anderen Stoffen und ohne Transport- und Lagerschäden an die nächste Handelsstufe übergeben wird.

Tabelle 9: Kennwerte Biodiesel, Büchel Mineralöl Freie Tankstelle (Tecsol GmbH), 2010



Analysenzertifikat

Produkt: Campa-Biodiesel gemäß DIN EN 14214
Verladetank: B0256
Chargennummer: 0777-15.02.2010
Lieferscheinnummer: 10777-100538
Verladedatum: 15.02.2010
Kunde: Fritz Wahr Mineralöle Spedition e.K.

Tecsol GmbH

Verwaltung:	Jahnstr. 2 97199 Ochsenfurt
Telefon:	09331 / 98 15 0
Werk:	Marktbreiter Str. 74 97199 Ochsenfurt
Telefon:	09331 / 87 61 - 0
Telefax:	09331 / 87 61-10
Geschäftsführer:	Michael Lendl Dr. Ralf Türk
Registergericht:	AG Würzburg HRB 10311
Sitz der Gesellschaft:	Ochsenfurt
Ust-IdNr.:	DE 245846185

Generell anwendbare Anforderungen und Testmethoden DIN EN 14214

Eigenschaft	Einheit	Istwert	Grenzwert min./max.	Prüfverfahren
Ester-Gehalt	% (m/m)	97,4	min. 96,5	DIN EN 14103
Dichte bei 15 °C	kg/m³	883,0	860 - 900	DIN EN ISO 3675
Kinematische Viskosität bei 40 °C	mm²/s	4,568	3,50 - 5,00	DIN EN ISO 3104
Flammpunkt	°C	168	min. 100	DIN EN ISO 3679
CFPP (Grenze der Filtrierbarkeit)	°C	-12	max. -20	DIN EN 116
Schwefelgehalt	mg/kg	8,0	max. 10,0	DIN EN ISO 20884
Koksrückstand	% (m/m)	0,12	max. 0,30	DIN EN ISO 10370
Cetanzahl	-	53,6	min. 51,0	DIN EN ISO 5165
Asche-Gehalt (Sulfatasche)	% (m/m)	0,002	max. 0,02	ISO 3987
Wassergehalt	mg/kg	144	max. 500	DIN EN ISO 12937
Gesamtverschmutzung	mg/kg	12	max. 24	DIN EN 12662
Korrosionswirkung auf Kupfer (3 h bei 50 °C)	Korrosionsgrad	1	Klasse 1	DIN EN ISO 2160
Oxidationsstabilität, 110 °C	Stunden	10,1	min. 6,0	DIN EN 14112
Säurezahl	mg KOH/g	0,302	max. 0,500	DIN EN 14104
Iodzahl	g Iod/100g	113	max. 120	DIN EN 14111
Gehalt an Linolensäure-Methylester	% (m/m)	9,1	max. 12,0	DIN EN 14103
Gehalt an mehrfach ungesättigten Methylestern (4 oder mehr Doppelbindungen)	% (m/m)	<1	max. 1	
Methanolgehalt	% (m/m)	0,02	max. 0,20	DIN EN 14110
Monoglycerid-Gehalt	% (m/m)	0,44	max. 0,80	DIN EN 14105
Diglycerid-Gehalt	% (m/m)	0,12	max. 0,20	DIN EN 14105
Triglycerid-Gehalt	% (m/m)	0,07	max. 0,20	DIN EN 14105
Gehalt an freiem Glycerin	% (m/m)	0,009	max. 0,020	DIN EN 14105
Gehalt an Gesamt-Glycerin	% (m/m)	0,13	max. 0,25	DIN EN 14105
Gehalt an Alkali-Metallen (Na + K)	mg/kg	2,5	max. 5,0	DIN EN 14538
Gehalt an Erdalkali-Metallen (Ca + Mg)	mg/kg	1,0	max. 5,0	DIN EN 14538
Phosphor-Gehalt	mg/kg	1,2	max. 4,0	DIN EN 14107

Dieses Produkt ist mit einem Antioxidationsmittel versetzt.

Das vorliegende Zertifikat ist zur Kunden-Information bestimmt und bezieht sich ausschließlich auf die ausgelieferte Ware. Seine Weitergabe zur Produktkennzeichnung ist nur zulässig, wenn die Ware in unveränderter Form, d.h. insbesondere ohne Vermischung mit anderen Stoffen und ohne Transport- und Lagerschäden an die nächste Handelsstufe übergeben wird.

Ochsenfurt, den 15.02.2010

Tabelle 10: Kennwerte Biodiesel, Verbio Diesel Bitterfeld GmbH & Co. KG, 2010

VERBIO Diesel Bitterfeld GmbH & Co. KG
 Chemiepark Bitterfeld/Wolfen, Areal B, OT Greppin, Stickstoffstraße
 06803 Bitterfeld-Wolfen

Produktspezifikation
Biodiesel gemäß DIN EN 14214

Parameter	Einheit		Grenzwerte DIN EN 14214	VERBIO Biodiesel	Methode
Estergehalt	% (m/m)	min	96,5	98,0	EN 14103
Dichte bei 15°C	kg/m³		860-900	875-890	EN ISO 3675 ISO 12185
kinem. Visk. bei 40°C	mm²/s		3,5-5,0	3,5-5,0	EN ISO 3104
Flammpunkt	°C	min	101	160	EN ISO 2719 (Pensky Martens)
Schwefelgehalt	mg/kg	max	10,0	5,0	in Anlehnung an DIN EN 14538
Koksrückstand	% (m/m)	max	0,30	0,30	EN ISO 10370
Cetanzahl		min	51,0	51,0	EN ISO 5165
Sulfatasche	% (m/m)	max	0,02	0,01	DIN 3987
Wassergehalt	mg/kg	max	500	300	EN ISO 12937 DIN 51777
Gesamtverschmutzung	mg/kg	max	24	20	EN 12662
Korrosionswirkung auf Kupfer	Rate		1	1	EN ISO 2160
Oxidationsstabilität bei 110°C	h	min	6,0	6,0	EN 14112
Neutralisationszahl / Säurezahl	mg KOH/g	max	0,50	0,50	EN 14104
Jodzahl	g J / 100g	max	120	120	EN 14111
Linolensäuremethylester	% (m/m)	max	12,0	12,0	EN 14103
mehrfach ungesättigte Fettsäuremethylester	% (m/m)	max	1	1	
Methanolgehalt	% (m/m)	max	0,20	0,10	EN 14110
Monoglyceride	% (m/m)	max	0,80	0,80	EN 14105
Diglyceride	% (m/m)	max	0,20	0,20	EN 14105
Triglyceride	% (m/m)	max	0,20	0,20	EN 14105
freies Glycerin	% (m/m)	max	0,02	0,02	EN 14105
Gesamtglycerin	% (m/m)	max	0,25	0,25	EN 14105
Alkaligehalt (Na+K)	mg/kg	max	5,0	5,0	DIN EN 14538
Erdalkaligehalt (Ca+Mg)	mg/kg	max	5,0	5,0	DIN EN 14538
Phosphorgehalt	mg/kg	max	4,0	3,0	in Anlehnung an DIN EN 14538
CFPP	°C	min	jahreszeitlich -20. -10. 0	jahreszeitlich	EN 116

Tabelle 11: Kennwerte Biodiesel, Verbio Diesel Bitterfeld GmbH & Co. KG, 2010

VERBIO Diesel Bitterfeld GmbH & Co. KG
 Chemiepark Bitterfeld/Wolfen, Areal B, OT Greppin, Stickstoffstraße
 06803 Bitterfeld-Wolfen

Werkszertifikat

Biodiesel gemäß DIN EN 14214

Datum:	17.05.2010	Seite	1 von 2
Datum Probennahme:	14.05.2010		
Labor-Nr.:	14448-10		
Artikel-Nr.:	320101-140		

Parameter	Einheit		DIN EN 14214	Prüfwerke	Methode
Ester-Gehalt ²	% (m/m)	min	96,5	99,2	EN 14103
Dichte bei 15 °C	kg/m ³		860-900	884	EN ISO 12185
Viskosität bei 40 °C ¹	mm ² /s		3,5-5,0	4,42	EN ISO 3104
Flammpunkt ²	°C	min	120	168	prEN ISO 3679 ¹⁰
Schwefelgehalt	mg/kg	max	10	1,9	prEN ISO 20846 ¹⁰ prEN ISO 20884 ¹⁰
Koksrückstand ¹	% (m/m)	max	0,3	0,02	EN ISO 10370
Cetanzahl ¹	-	min	51	55,8	EN ISO 5165
Sulfatasche	% (m/m)	max	0,02	< 0,01	ISO 3987
Wassergehalt	mg/kg	max	500	189	EN ISO 12937
Gesamtverschmutzung	mg/kg	max	24	1,0	EN 12662
Korrosionswirkung auf Kupfer (3h bei 50 °C) ¹	Korrosionsgrad		1	1	EN ISO 2160
Oxidationsstabilität bei 110°C	h	min	6,0	9,8	EN 14112
Säurezahl	mg KOH/g	max	0,50	0,29	EN 14104
Iodzahl ²	g Iod/100 g	max	120	114	EN 14111
Gehalt an Linolensäure-Methylester ²	% (m/m)	max	12	10,2	EN 14103
Gehalt an Fettsäure-Methylestern mit ≥ 4 Doppelbindungen ¹	% (m/m)	max	1	0,1	EN 14103
Methanol-Gehalt	% (m/m)	max	0,2	0,019	EN 14110
Monoglycerid-Gehalt	% (m/m)	max	0,80	0,60	EN 14105
Diglycerid-Gehalt	% (m/m)	max	0,20	0,18	EN 14105
Triglycerid-Gehalt	% (m/m)	max	0,20	0,06	EN 14105
Gehalt an freiem Glycerin	% (m/m)	max	0,02	0,008	EN 14105
Gehalt an Gesamt-Glyzerin	% (m/m)	max	0,25	0,20	EN 14105
Gehalt an Alkali-Metallen (Na+K)	mg/kg	max	5,0	0,19	DIN EN 14108 ¹⁰ DIN EN 14109 ¹⁰
Gehalt an Erdalkali-Metallen (Ca+Mg)	mg/kg	max	5,0	0,37	DIN EN 14538
Phosphorgehalt	mg/kg	max	10,0	< 1,0	DIN EN 14107 ¹⁰
CFPP ²	°C	max	0	-15	EN 116

Tabelle 12: Kennwerte Biodiesel RME, ecoMotion GmbH, 2010

ecoMotion
 Brüeler Chaussee 3 • 19406 Sternberg
 Tel.: 03847 – 43 66 3- 0
 Fax: 03847 – 43 66 320
certificate of biodiesel analysis
 according DIN EN 14214:2003

Datum: 25.05.2010

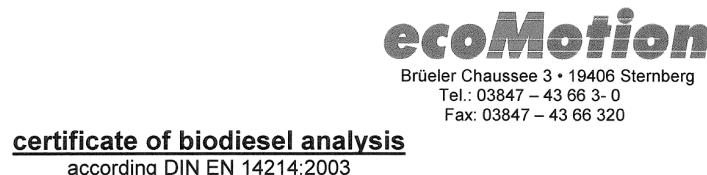
Musterversand Rapsmethylester

Parameter	Method	Results	DIN-Specification min.	DIN-Specification max.	Unit
Ester content	DIN EN 14103	98,9	96,5	-	% (m/m)
Density at 15 °C	DIN EN 12185	883	860	900	kg/m³
Viscosity at 40 °C	DIN EN ISO 3104	4,47	3,50	5,00	mm²/s
Flash point	DIN EN ISO 3679	178	120	-	°C
Sulfur content	DIN EN ISO 20884	<5	-	10	mg/kg
Carbon residue	DIN EN ISO 10370	0,01	-	0,30	% (m/m)
Cetane number	IP 498	54,7	51,0	-	
Sulfated ash content	ISO 3987	< 0,01	-	0,02	% (m/m)
Water content	DIN EN ISO 12937	111	-	500	mg/kg
Total contamination	DIN EN 12662	2	-	24	mg/kg
Copper strip corrosion (3 h at 50 °C)	DIN EN ISO 2160	1	Class 1		Korr. °
Oxidation stability	DIN EN 14112	7,8	6,0	-	h
Acid value	DIN EN 14104	0,09	-	0,50	mg KOH/g
Iodine value	DIN EN 14111	116	-	120	g Iod/100g
Linolenic acid methyl ester	DIN EN 14103	10,28	-	12	% (m/m)
Content of fatty acid methyl esters (≥ 4 double bonds)		< 1	-	1	% (m/m)
Methanol content	DIN EN 14110	0,02	-	0,20	% (m/m)
Monoglyceride content		0,64	-	0,80	% (m/m)
Diglyceride content		0,08	-	0,20	% (m/m)
Triglyceride content	DIN EN 14105	0,05	-	0,20	% (m/m)
Free Glycerol		0,001	-	0,02	% (m/m)
Total glycerol		0,18	-	0,25	% (m/m)
Metals I (Na + K)	DIN EN 14108/109	< 0,5	-	5	mg/kg
Metals II (Ca + Mg)	DIN EN 14538	< 0,5	-	5	mg/kg
Phosphorus content	DIN EN 14107	< 1	-	10	mg/kg
Pourpoint	DIN ISO 3016	- 12	- 18	- 9 (01.09.-14.04.)	°C
Cloudpoint	DIN EN 23015	- 5	-	- 3 (01.09.-14.04.)	°C
CFPP	DIN EN 116	- 15	15.04. bis 30.09. 01.10. bis 15.11. 16.11. bis 28.02. 01.03. bis 14.04	0 -10 -20 -10	°C
BHT		Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	1000	-	ppm

The present certificate is an information for our customers and refer solely to the ship product.
 The passing on is only allowed, if the product in unchanged form refer to the next business degree.
 This is to certify that the present results of the current corporate control conform the delivery of the orderinformation.
 Retained sample – identification take place by the reference number.

ecоМotion GmbH
 Signature: 
 (Labor/Fundke,Kurz) Brüeler Chaussee 3
 19406 Sternberg

Tabelle 13: Kennwerte Biodiesel FME, ecoMotion GmbH, 2010



Datum: 25.02.2010

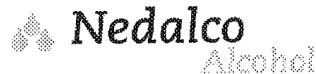
Musterversand Fettmethyllester

Parameter	Method	Results	DIN-Specification min.	DIN-Specification max.	Unit
Ester content	DIN EN 14103	97,4	96,5	-	% (m/m)
Density at 15 °C	DIN EN 12185	874,5	860	900	kg/m³
Viscosity at 40 °C	DIN EN ISO 3104	4,49	3,50	5,00	mm²/s
Flash point	DIN EN ISO 3679	165,5	120	-	°C
Sulfur content	DIN EN ISO 20884	<10	-	10	mg/kg
Carbon residue	DIN EN ISO 10370	0,05	-	0,30	% (m/m)
Cetane number	IP 498	64,0	51,0		
Sulfated ash content	ISO 3987	0,002	-	0,02	% (m/m)
Vater content	DIN EN ISO 12937	<100	-	500	mg/kg
Total contamination	DIN EN 12662	1	-	24	mg/kg
Copper strip corrosion (3 h at 50 °C)	DIN EN ISO 2160	1	Class 1		Korr. °
Oxidation stability	DIN EN 14112	> 10	6,0		h
Acid value	DIN EN 14104	0,15	-	0,50	mg KOH/g
Iodine value	DIN EN 14111	49	-	120	g Iod/100g
Linolenic acid methyl ester	DIN EN 14103	0,77	-	12	% (m/m)
Content of fatty acid methyl esters (≥ 4 double bonds)		< 1	-	1	% (m/m)
Methanol content	DIN EN 14110	0,02	-	0,20	% (m/m)
Monoglyceride content		0,02	-	0,80	% (m/m)
Diglyceride content		< 0,01	-	0,20	% (m/m)
Triglyceride content	DIN EN 14105	< 0,01	-	0,20	% (m/m)
Free Glyceol		0,002	-	0,02	% (m/m)
Total glycerol		0,01	-	0,25	% (m/m)
Metals I (Na + K)	DIN EN 14108/109	< 5	-	5	mg/kg
Metals II (Ca + Mg)	DIN EN 14538	< 5	-	5	mg/kg
Phosphorus content	DIN EN 14107	< 1	-	10	mg/kg
Cloudpoint	DIN EN 23015	+15		- 3 (01.09.-14.04.)	°C
CFPP	DIN EN 116	+ 10	15.04. bis 30.09. 01.10. bis 15.11. 16.11. bis 28.02. 01.03. bis 14.04	0 -10 -20 -10	°C
BHT		Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	1000	-	ppm

ecоМotion GmbH
 RVM Sternberg
 Brüeler Chaussee 3
 19406 Sternberg

Tabelle 14: Kennwerte Bioethanol, Nedalco Alkohol GmbH & Co. KG, 2010

PRODUKTSPEZIFIKATION



Nedalco Alcohol GmbH & Co.KG
Salzstr. 129 / D-74076 Heilbronn
T. +49 (0)7131 3906-0
F. +49 (0)7131 3906-175
www.nedalco.com

Seite 1 von 1

Produktbezeichnung	Bioethanol zur Beimischung	Artikelnummer	ABQ
Plangruppe	813	Plangr.-zähler	1
Planbezeichnung	Bioethanol zur Beimischung		
gültig ab	08.05.2008		
Merkmal	Einheit	untere Grenze	obere Grenze Methode
Ethanol	M-%	96,5	CTB M1
Wasser	M-%	0,3	BRG C 501
Methanol	mg/dL	820	BRG C 500
Höhere Alkohole	mg/dL	1600	BRG C 500
Gesamtsäure als Essigsäure	mg/dL	5	CTB 6.3.3
Chlorid	ppm(M)	20,0	BRG C 502
Kupfer	ppm(M)	0,1	ICP
Phosphor	ppm(M)	0,5	ICP
Abdampfdrückstand	mg/dL	10	CTB 6.3.6

Tabelle 15: Kennwerte Bioethanol, Verbio AG, 2011

VERBIO Ethanol Zörbig GmbH & Co. KG

Thura Mark 20, 06780 Zörbig, www.verbio.de

Analysenzertifikat

Bioethanol zur Verwendung als Blendkomponente in Ottokraftstoffen nach
 DIN EN 15376

Datum: 13.01.2011
 Tank: B 3212 v. 12.01.2011
 Labornummer: 110112_1_

Parameter	Testmethode	Maßeinheit	Aktueller Wert	Spezifikation
Ethanol	DIN 12803	Vol %	99,92	min. 99,0
Wasser	DIN EN ISO 12937	% (m/m)	0,0394	0,3
Dichte bei 20° C	DIN 12803	kg/m ³	789,7	min. 789 max. 798
Erscheinung	visuell		durchsichtig/hell	durchsichtig/ hell
Geruch/ Geschmack	DIN 10950		neutral	neutral
Methanol	GC Verbio- Methode (analog ASTM D 5501)	% (m/m)	0,0034	max. 1,0
Höhere Alkohole (C ₃ -C ₅)	GC Verbio- Methode (analog ASTM D 5501)	% (m/m)	0,0583	max. 2,0
Ester, berechnet als Ethylacetat	GC Verbio- Methode (analog ASTM D 5501)	mg/kg	0,015	max. 500
Aldehyde [berechnet als Acetaldehyd]	GC Verbio- Methode (analog ASTM D 5501)	mg/kg	264	max. 500
Aceton	GC Verbio- Methode	mg/kg	2	max. 10,0
Säurezahl [berechnet als Essigsäure]	in Anlehnung an ASTM D 1613	mg/kg	30	max. 70
Total Chlor	ASTM 4929 B	mg/kg	<1	1
Schwefel	analog DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/kg	<10	max. 10
Eisen	analog DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/kg	<1	max. 1,0
Stickstoff als NH ₃	ASTM D 1614-03	mg/kg	<1	max. 1
Farbe Seybolt	visuell		<5	max. 5

Tabelle 16: Kennwerte Bioethanol, Verbio AG, 2010

VERBIO Ethanol Zörbig GmbH & Co. KG

Thura Mark 20, 06780 Zörbig, www.verbio.de

Analysenzertifikat

Bioethanol zur Verwendung als Blendkomponente in Ottokraftstoffen nach
DIN EN 15376

Datum: 19.05.2010
 Muster: B3212 100514

Parameter	Testmethode	Maßeinheit	Aktueller Wert	Spezifikation
Ethanol	DIN 12803	Vol %	99,92	min. 99,0
Wasser	DIN EN ISO 12937	% (m/m)	0,077	0,3
Dichte bei 20° C	DIN 12803	kg/m ³		min. 789 max. 798
Erscheinung	visuell		durchsichtig/hell	durchsichtig/ hell
Geruch/ Geschmack	DIN 10950		neutral	neutral
Methanol	GC Verbio- Methode (analog ASTM D 5501)	% (m/m)	0,0056	max. 1,0
Höhere Alkohole (C ₃ -C ₅)	GC Verbio- Methode (analog ASTM D 5501)	% (m/m)	0,1241	max. 2,0
Ester, berechnet als Ethylacetat	GC Verbio- Methode (analog ASTM D 5501)	mg/kg	0,0136	max. 500
Aldehyde [berechnet als Acetaldehyd]	GC Verbio- Methode (analog ASTM D 5501)	mg/kg	0,0379	max. 500
Aceton	GC Verbio- Methode	mg/kg	0,0003	max. 10,0
Säurezahl [berechnet als Essigsäure]	in Anlehnung an ASTM D 1613	mg/kg	25	max. 70
Total Chlor	ASTM 4929 B	mg/kg	<1	1
Schwefel	analog DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/kg	<1	max. 10
Eisen	analog DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/kg	<1	max. 1,0
Stickstoff als NH ₃	ASTM D 1614-03	mg/kg	<1	max. 1
Farbe Seybold	visuell		max. 5	max. 5

Tabelle 17: Kennwerte Ethanolkraftstoff E85, Verbio AG, 2011

**Analysenzertifikat
Verbio E85 (Winterqualität)**

VERBIO Vereinigte BioEnergie AG
 Thura Mark 18–20, 06780 Zörbig

Parameter	Testmethode	Maßeinheit	Aktueller Wert	Spezifikation
Dichte bei 15 °C	DIN 12803	g/cm³	0,77947	0,7760 – 0,7790
Ethanol	Verbio-Dichtemethode	%	74,3	70 - 80
Äußere Beschaffenheit			Klar, frei von sichtbaren Verschmutzungen	Klar, frei von sichtbaren Verschmutzungen
Höhere Alkohole (C3-C5)	analog ASTM D 5501	ppm	770	max. 18000
Methanol	analog ASTM D 5501	ppm	45	max. 10000
Wassergehalt	DIN EN ISO 12937	ppm	212	max. 3000
Säure (berechnet als Essigsäure)	analog ASTM D 1613-03	mg/l	33	max. 40

Weitere regelmäßig bestimmte Kennzahlen:

Parameter	Testmethode	Maßeinheit	Spezifikation
ROZ	EN ISO 5164		min. 108
MOZ	EN ISO 5163		min. 95,0
Schwefel	EN ISO 20846	mg/kg	max. 5
Abdampfrückstand nach Heptanwäsche	EN ISO 6246	mg/100 ml	max. 5
Phosphor	ASTM D 3231		nicht nachweisbar
Anorganisches Chlorid	ISO 6227	mg/l	max. 1
Korrosionswirkung auf Kupfer	EN ISO 2160	rating	max. 1

Tabelle 18: Kennwerte Ethanolkraftstoff E85, Verbio AG, 2010

**Analysenzertifikat
Verbio E85 (Sommerqualität)**

Datum: 19.05.2010 Kunde: Muster Karlsruhe v. 14.05.2010

Parameter	Testmethode	Maßeinheit	Aktueller Wert	Spezifikation
Dichte bei 15 °C	DIN 12803	g/cm³	0,786770	0,7800 – 0,7880
Ethanol	Verbio-Dichtermethode	%	84,7	70 - 90
Äußere Beschaffenheit			Klar, frei von sichtbaren Verschmutzungen	Klar, frei von sichtbaren Verschmutzungen
Höhere Alkohole (C3-C5)	analog ASTM D 5501	ppm	1113	max. 18000
Methanol	analog ASTM D 5501	ppm	31	max. 10000
Wassergehalt	DIN EN ISO 12937	ppm	928	max. 3000
Säure (berechnet als Essigsäure)	analog ASTM D 1613-03	mg/l	20	max. 40

Weitere regelmäßig bestimmte Kennzahlen:

Parameter	Testmethode	Maßeinheit	Spezifikation
ROZ	EN ISO 5164		min. 108
MOZ	EN ISO 5163		min. 95,0
Schwefel	EN ISO 20846	mg/kg	max. 5
Abdampfrückstand nach Heptanwäsche	EN ISO 6246	mg/100 ml	max. 5
Phosphor	ASTM D 3231		nicht nachweisbar
Anorganisches Chlorid	ISO 6227	mg/l	max. 1
Korrosionswirkung auf Kupfer	EN ISO 2160	rating	max. 1

Tabelle 19: Kennwerte Ethanolkraftstoff E85, bft Tankstelle Meiser (Verbio AG), 2010

**Analysenzertifikat
 Verbio E85 (Winterqualität)**

VERBIO Vereinigte BioEnergie AG
 Thura Mark 18-20, 06780 Zörbig

Datum: 04.02.2010
 Charge: 25

Kunde: Fritz Wahr

Lieferscheinnr.: 01100666

Parameter	Testmethode	Maßeinheit	Aktueller Wert	Spezifikation
Dichte bei 15 °C	DIN 12803	g/cm³	0,77868	0,7800 – 0,7880
Ethanol	Verbio-Dichtemethode	%	71,9	70 - 80
Äußere Beschaffenheit			Klar, frei von sichtbaren Verschmutzungen	Klar, frei von sichtbaren Verschmutzungen
Höhere Alkohole (C3-C5)	analog ASTM D 5501	ppm	489	max. 18000
Methanol	analog ASTM D 5501	ppm	29	max. 10000
Wassergehalt	DIN EN ISO 12937	ppm	514	max. 3000
Säure (berechnet als Essigsäure)	analog ASTM D 1613-03	mg/l	20	max. 40

Weitere regelmäßig bestimmte Kennzahlen:

Parameter	Testmethode	Maßeinheit	Spezifikation
ROZ	EN ISO 5164		min. 108
MOZ	EN ISO 5163		min. 95,0
Schwefel	EN ISO 20846	mg/kg	max. 5
Abdampfrückstand nach Heptanwäsche	EN ISO 6246	mg/100 ml	max. 5
Phosphor	ASTM D 3231		nicht nachweisbar
Anorganisches Chlorid	ISO 6227	mg/l	max. 1
Korrosionswirkung auf Kupfer	EN ISO 2160	rating	max. 1

Tabelle 20: Kennwerte von Shell FuelSave Diesel (B7), 2010

Entspricht den Anforderungen und Prüfverfahren nach DIN EN 590

Eigenschaften	Einheit	Grenzwerte		Prüfverfahren
		Minimum	Maximum	
Äußere Beschaffenheit <i>Appearance</i>		frei von sichtbarem Wasser und festen Stoffen <i>free from visible water and sediment</i>		visuell
Dichte bei 15 °C <i>Density at 15 °C</i>	kg/m³	820	845	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Cetanzahl <i>Cetan Number</i>		51,0		EN ISO 5165
Cetanindex <i>Cetan Index</i>		46,0		EN ISO 4264
Viskosität bei 40 °C <i>Viscosity at 40 °C</i>	mm²/s	2,00	4,50	EN ISO 3104
Flammpunkt <i>Flashpoint</i>	°C	über 55 °C		EN ISO 2719
Korrosionswirkung auf Kupfer (3h bei 50 °C) <i>Copper Corrosion</i>	Korrosionsgrad	Klasse 1		EN ISO 2160
Gesamtverschmutzung <i>Total Sediment</i>	mg/kg		24	EN 12662
Oxidationsstabilität <i>Oxidation Stability</i>	g/m³ h	20,0	25	EN 12205 DIN 51627-2: 2008-8
Schwefelgehalt <i>Sulphur content</i>	mg/kg		10,0	EN ISO 20884 (WDX) EN ISO 20846 (UV-F)
Koksrückstand v. 10% Dest.-Rückst. <i>Carbon Residue on 10% Residue</i>	%(m/m)		0,30	EN ISO 10370
Aschegehalt <i>Ash content</i>	%(m/m)		0,01	EN ISO 6245
Destillation <i>Distillation</i>	aufgefangen bei 250 °C aufgefangen bei 350 °C 95 % (V/V) aufgefangen bei	%(V/V) %(V/V) °C	85 360	<65 EN ISO 3405
Wassergehalt <i>Water content</i>	mg/kg		200	EN ISO 12937
Schmierfähigkeit (wsd 1,4) bei 60 °C <i>Lubricity (wsd 1,4) at 60°C</i>	µm		460	EN ISO 12156-1
Polycyclische Kohlenwasserstoffe <i>Polycyclic Hydrocarbons</i>	%(m/m)		8	EN 12916
Fettsäure-Methylestergehalt <i>FAME content</i>	%(V/V)		7,0	DIN EN 14078
Kälteverhalten <i>Cold Flow Properties</i>	CFPP CFPP CFPP	°C °C °C	15. April bis 30. September 0 1. Okt. - 15. Nov. und 1. März - 14. April -10 16. Nov. bis 28./29. Februar -20	EN 116 EN 116 EN 116

Tabelle 21: Kennwerte von Shell FuelSave Super (E5), 2010

Eigenschaften <i>Properties</i>	Einheit <i>Unit</i>	Grenzwerte / <i>Requirement</i> Minimum	Grenzwerte / <i>Requirement</i> Maximum	Prüfverfahren <i>Test method</i>
Research-Octanzahl, ROZ <i>Research Octen number, ROZ</i>		95,0		EN ISO 5164
Motor-Octanzahl, MOZ <i>Motor Octen number, MOZ</i>		85,0		EN ISO 5163
Bleigehalt <i>Lead content</i>	mg/l		5	EN 237
Dichte bei 15 °C <i>Density at 15 °C</i>	kg/m³	720	775	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Schwefelgehalt <i>Sulphur content</i>	mg/kg		10	DIN EN ISO 20884 DIN EN ISO 20846
Oxidationsstabilität <i>Oxidation stability</i>	min	360		EN ISO 7536
Abdampfrückstand (gewaschen) <i>Existing gum (washed)</i>	mg/100ml		5	EN ISO 6246
Korrosionswirkung auf Kupfer (3h bei 50 °C) <i>Copper corrosion</i>	grade		1	EN ISO 2160
Aussehen <i>Appearance</i>		klar und trübungsfrei <i>clear and bright</i>		visuell
Gehalt an Kohlenwasserstoffgruppen <i>Composition</i>				EN 14517 EN 15553
Olefine / <i>Olefines</i> Aromaten / <i>Aromatics</i>	%(V/V)		18,0 35,0	
Benzolgehalt <i>Benzene content</i>	%(V/V)		1,00	EN 12177 EN 238 EN 14517
Sauerstoffgehalt <i>Oxygen content</i>	w%		2,7	EN 1601 EN 13132, EN 14517
Gehalt an sauerstoffhaltigen organischen Verbindungen <i>Oxygenates</i>				EN 1601 EN 13132 EN 14517
Methanol / <i>Methanol</i> Ethanol / <i>Ethanol</i>	%(V/V)		3,0 5,0	
Iso-propyl-Alkohol / <i>Iso-propyl-alcohol</i> (IPA)	%(V/V)		10,0	
Iso-butyl-Alkohol / <i>Iso-butyl-alcohol</i> (IBA)	%(V/V)		10,0	
Tert-butyl-Alkohol / <i>Tert-butyl-alcohol</i> (TBA)	%(V/V)		7,0	
Ether (5 oder mehr C-Atome) Ether (5 or more C-Atoms)	%(V/V)		15,0	
andere sauerstoffhaltige Verbindungen / others	%(V/V)		10,0	
Flüchtigkeitsklassen <i>Volatility</i>				
Dampfdruck / Vapour pressure aufgefangen bei / recovered at 70 °C, E70 aufgefangen bei / recovered at 100 °C, E100 aufgefangen bei / recovered at 150 °C, E150 Siedepunkt / Final boiling point Destillationsrückstand / Residue VLI (10 VP + 7 E70)	kPa %(V/V) %(V/V) %(V/V) °C %(V/V) Index	1. Mai bis 30. September (Klasse A) 1. May till 30. Sep. (Class A) 45,0 20,0 46,0 75,0 210 2 nicht spezifiziert / not specified	60,0 48,0 71,0 210 2 1150	EN 13016-1 EN ISO 3405 EN ISO 3405 EN ISO 3405 EN ISO 3405 EN ISO 3405
Dampfdruck / Vapour pressure aufgefangen bei / recovered at 70 °C, E70 aufgefangen bei / recovered at 100 °C, E100 aufgefangen bei / recovered at 150 °C, E150 Siedepunkt / Final boiling point Destillationsrückstand / Residue VLI (10 VP + 7 E70)	kPa %(V/V) %(V/V) %(V/V) °C %(V/V) Index	Okt. - 31. Okt. und 1. März - 30. April (Klasse D1 / A) Oct. - 31. Oct. and 1. March - 30. April (Class D1 / A)	45,0 20,0 46,0 75,0 210 2 1150	EN 13016-1 EN ISO 3405 EN ISO 3405 EN ISO 3405 EN ISO 3405 EN ISO 3405
Dampfdruck / Vapour pressure aufgefangen bei / recovered at 70 °C, E70 aufgefangen bei / recovered at 100 °C, E100 aufgefangen bei / recovered at 150 °C, E150 Siedepunkt / Final boiling point Destillationsrückstand / Residue VLI (10 VP + 7 E70)	kPa %(V/V) %(V/V) %(V/V) °C %(V/V) Index	1. Nov. bis 28./29. Feb. (Klasse D) 1. Nov. bis 28./29. Feb. (Class D)	60,0 22,0 46,0 75,0 210 2 nicht spezifiziert / not specified	EN 13016-1 EN ISO 3405 EN ISO 3405 EN ISO 3405 EN ISO 3405 EN ISO 3405

Tabelle 22: Kennwerte von Aral Diesel (B7), 2010

Kennwerte	Methode	Einheit	Typische Werte
Aussehen	visuell	-	klar, frei von sichtbaren Verunreinigungen, Wasser und festen Stoffen
Dichte bei 15°C	EN ISO 12185	kg/m ³	828 bis 840
Cetanzahl (CFR)	EN ISO 5165	-	51,3 bis 54,6
Cetanindex	EN ISO 4264	-	49 bis 51
Schwefelgehalt	EN ISO 20846 EN ISO 22884	mg/kg	5 bis 9
CFPP (Cold Filter Plugging Point)			
15. Apr. – 30. Sep.	DIN EN 116	°C	-8 (Sommer)
01. Okt. – 15. Nov.	DIN EN 116	°C	- 14 (Übergang)
16. Nov. – 28. Feb.	DIN EN 116	°C	- 22 (Winter)
01. Mar. – 14. Apr.	DIN EN 116	°C	- 14 (Übergang)
Cloud Point	DIN EN 23015	°C	-7
Poly-Aromaten	DIN EN 12916	% (M/M)	5 bis 6
Aschegehalt	EN ISO 6245	% (M/M)	< 0,01
Koksrückstand (v. 10% Destill.-Rückst.)	EN ISO 10370	% (M/M)	0,17
Wassergehalt	EN ISO 12937	mg/kg	40 bis 80
Lubricity (wsd 1.4)	ISO 12156-1	µm	230 bis 350
Flammpunkt	EN 22719	°C	> 62
Gesamtverschmutzung	EN 12662	mg/kg	< 6
Oxidationsstabilität	DIN EN 14112	h	40
Oxidationsstabilität	EN ISO 12205	g/m ³	1 bis 6
Viskosität bei 40°C	EN 3104	mm ² /s	2,40 bis 2,90
FAME-Gehalt (Biodieselanteil)	EN 14078	% (V/V)	6,9
Korrosionswirkung auf Kupfer (3h, 50°C)	DIN 51759 T1	Klasse	1

%(V/V) = Volumenanteil in %

%(M/M) = Massenanteil in %

Obige typische Kennwerte unterliegen der Produktionsstreuung und üblichen Toleranzen und stellen keine Spezifikationswerte dar.
Änderungen der Kennwerte vorbehalten.

Tabelle 23: Ergebnisse der Analyse mittels GC-MSD
 Bioethanolproben, N-E100 (Nedalco), V-E100 (Verbio), PF E100

Rt	Organische Substanzen in den Proben:	Formel	Nedalco	Verbio	PF E100
min			% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
1,088	Ethanal (Acetaldehyd)	C2H4O	0,0001	0,0005	
1,10	Methanol	CH3OH	0,0	0,0	0,0509
1,20	Ethanol	C2H5OH	99,8861	99,9530	99,9490
1,24	Propan-2-on (Aceton)	C3H6O	0,0	0,0	0,0
1,29	Propan-2-ol (Isopropanol)	C3H7OH	0,0	0,0	0,0
1,33	Ameisensäure	CH2O2	0,0	0,0	0,0
1,38	tert.-Butanol	C4H9OH	0,0	0,0	0,0
1,60	Propan-1-ol (n-Propanol)	C3H7OH	0,0651	0,0034	0,0
1,80	Butan-2-ol (sek-Butanol)	C4H9OH	0,0	0,0	0,0
1,9	Ethylethanoat (Ethylacetat)	C4H8O2	0,0159	0,0215	0,0
2,07	2-Methylpropan-1-ol (Isobutanol)	C4H9OH	0,0263	0,0077	0,0
2,1	Essigsäure	C2H4O2	0,0	0,0	0,0
2,50	Butan-1-ol (n-Butanol)	C4H9OH	0,0	0,0	0,0
2,57	2-Methoxyethanol	C3H8O2	0,0	0,0	0,0
3,09	Pantan-2-ol	C5H11OH	0,0	0,0	0,0
3,36	2-Ethoxyethanol	C4H10O2	0,0	0,0	0,0
3,85	1,3-Butandiol	C4H10O2	0,0	0,0	0,0
3,9	Acetal (1,1-Diethoxyethan)	C6H14O2	0,0069	0,0140	0,0
4,04	3-Methylbutan-1-ol (Isoamylalkohol)	C5H12OO	0,0	0,0	0,0
4,16	4-Methyl-1-Pentanol	C6H14O	0,0	0,0	0,0
4,26	2-Methylbutan-1-ol	C5H12O	0,0	0,0	0,0
4,57	Propionsäure	C3H6O2	0,0	0,0	0,0
	Pantan-3-ol	C5H12O	0,0	0,0	0,0
	Isopentanol	C5H12O	0,0	0,0	0,0
	Pantan-1-ol	C5H11OH	0,0	0,0	0,0
5,37	2,2-Diethoxypropan	C7H16O2	0,0001	0,0010	0,0
6,03	Hexan-3-ol	C6H14O	0,0	0,0	0,0
8,01	1,1-Diethoxybutan	C8H18O2	0,0002	0,0	0,0
8,23	Hexan-1-ol	C6H13OH	0,0	0,0	0,0
8,27	3-Methyl-1-Butanolacetat	C7H14O2	0,0004	0,0012	0,0
8,41	Cyclohexanol	C6H11OH	0,0	0,0	0,0
10,17	1,1-Diethoxy-2-Methylbutan	C9H20O2	0,0001	0,0	0,0
10,96	1,1-Diethoxypentan	C9H20O2	0,0001	0,0	0,0
12,28	Octan-1-ol	C8H17OH	0,0	0,0	0,0
	Zusammenfassung:		Nedalco	Verbio	PF E100
	% (m/m)		% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
Cm	Methanol		0	0	0,051
C3	C3-Alkohole	Propan-1-ol/Propan-2-ol/Methoxyethanol	0,065	0,003	0,0
C4	C4-Alkohole	Butan-1-ol/Butan-2-ol/tert. Butanol	0,026	0,008	0,0
C5	C5-Alkohole	2-Pentanol/3-Methylbutan-1-ol/2-Methylbutan-1-ol/Pantan-3-ol/Isopentanol/1-Pentanol	0,0	0,0	0,0
C6	C6-Alkohole	Hexan-1-ol/Hexan-3-ol/Cyclohexanol	0,0	0,0	0,0
C8	C8-Alkohole	Octan-1-ol	0,0	0,0	0,0
Ch	Höhere Alkohole		0,091	0,011	0,0
Ci	Flüchtige Verunreinigungen		0,023	0,036	0,0
Ce	Ethanol, einschließlich Höhere Alkohole = 100-Cm-Ci-Ch		99,977	99,964	99,949
	Ethanol = 100-Cm-Ci-Ch		99,886	99,953	99,949

Tabelle 24: Ergebnisse der Analyse mittels GC-MSD
 Methyloleat, techn. 70 % (Sigma-Aldrich), Zugabe von BHT 0,1 M.-%

Peak RT min	FAME Trivialname	Fettsäuremethylester Molmasse g/mol	Formel CAS	1. Analyse %	2. Analyse %	Mittelwert %	Fettsäuremethylester Chemische Bezeichnung
4,09 FAME C8:0 Caprylsäure methylester	Trivialname	158,13	C9H18O2	111-11-5	0,01	0,01	Octansäure methylester
6,91 FAME C10:0 Capinsäure methylester		186,16	C11H22O2	110-42-9	0,01	0,01	Decansäure methylester
9,71 BH- Butylhydroxytolol (BHT)		220,35	C15H24O	128-37-0	0,13	0,12	Butylhydroxytolol (BHT)
9,92 FAME C12:0 Laurinsäure methylester		214,18	C13H26O2	111-82-0	1,48	1,50	Dodecanäure methylester
12,46 FAME C14:1 Myristoleinsäure methylester		240,21	C15H28O2	130-82-8	0,31	0,32	9-Tetradecenäure methylester
12,69 FAME C14:0 Myristinsäure methylester		242,20	C15H30O2	124-10-7	1,56	1,60	1,58
13,94 FAME C15:0 Pentadecensäure methylester		256,24	C16H32O2	7132-64-1	0,15	0,15	Pentadecansäure methylester
14,99 FAME C16:1 Palmitoleinsäure methylester		268,26	C17H32O2	1120-25-8	5,00	5,09	5,05
15,29 FAME C16:0 Palmitinsäure methylester		270,26	C17H34O2	112-39-0	3,89	3,97	3,93
16,25 FAME C17:1 14-Methylhexadecansäure methylester		284,27	C18H36O2	2490-49-5	1,25	1,37	1,31
16,62 FAME C17:0 Margarinsäure methylester		284,27	C18H36O2	1731-92-6	0,11	0,11	Heptadecansäure methylester
17,78 FAME C18:2 Linolsäure methylester ω 6		294,26	C19H34O2	565598-58-7	1,86	2,12	1,99
17,92 FAME C18:3 Linoleinsäure methylester		292,30	C19H32O2	0,00	0,00	0,00	9,12-Octadecadiensäure methylester
18,44 FAME C18:1 Ölsäure methylester ω 9		296,27	C19H36O2	112-62-9	78,11	78,25	α-Hexadecenäure methylester
18,66 FAME C18:0 Stearinäure methylester		298,24	C19H38O2	112-61-8	1,45	1,45	1,45
18,96 FAME C18:2 Linolsäure methylester		294,26	C19H34O2	2566-97-4	0,43	0,43	Octadecansäure methylester
19,35 FAEE C18:1 Ethyloleat		310,29	C20H38O2	111-62-6	0,27	0,26	(Z)-9-Octadecadienäure methylester
19,47 FAME C18:2 (Z,Z)-9,12-Octadecadiensäure methylester		294,26	C19H34O2	112-63-0	0,39	0,39	(Z,Z)-9,12-Octadecadienäure methylester
19,86 FAME C19:1 10-Nonadecaensäure methylester		310,90	C20H38O2	565598-83-8	0,26	0,14	0,20
21,46 FAME C20:2 11,13-Eicosadiensäure methylester		322,29	C21H38O2	565598-57-6	0,47	0,39	0,43
21,60 FAME C20:1 Gadoleinsäure methylester ω 9		324,30	C21H40O2	747504-00	1,00	0,89	0,95
22,05 FAME C20:0 Arachinsäure methylester		326,34	C21H41O2		0,12	0,12	Eicosansäure methylester
24,64 FAME C22:1 Erucäsäure methylester		338,00	C22H38O2		0,00	0,00	13-Docosäure methylester
25,04 FAME C22:0 Behensäure methylester		340,00	C22H44O2		0,00	0,00	Docosansäure methylester
27,64 FAME C24:0 Lignocerinsäure methylester		368,00	C24H48O2		0,00	0,00	Tetracosansäure methylester
FAME C18:1		% Ölsäuremethylester (Estergehalt)		98,13	98,57	98,35	
% Fettsäureester (Estergehalt)		% Gesättigte Fettsäurenmethylester		8,78	8,92	8,85	
% Einfache ungesättigte Fettsäurenmethylester		% Fettsäurenmethylester		86,20	86,32	86,26	
% Mehrfache ungesättigte Fettsäurenmethylester				3,15	3,33	3,24	

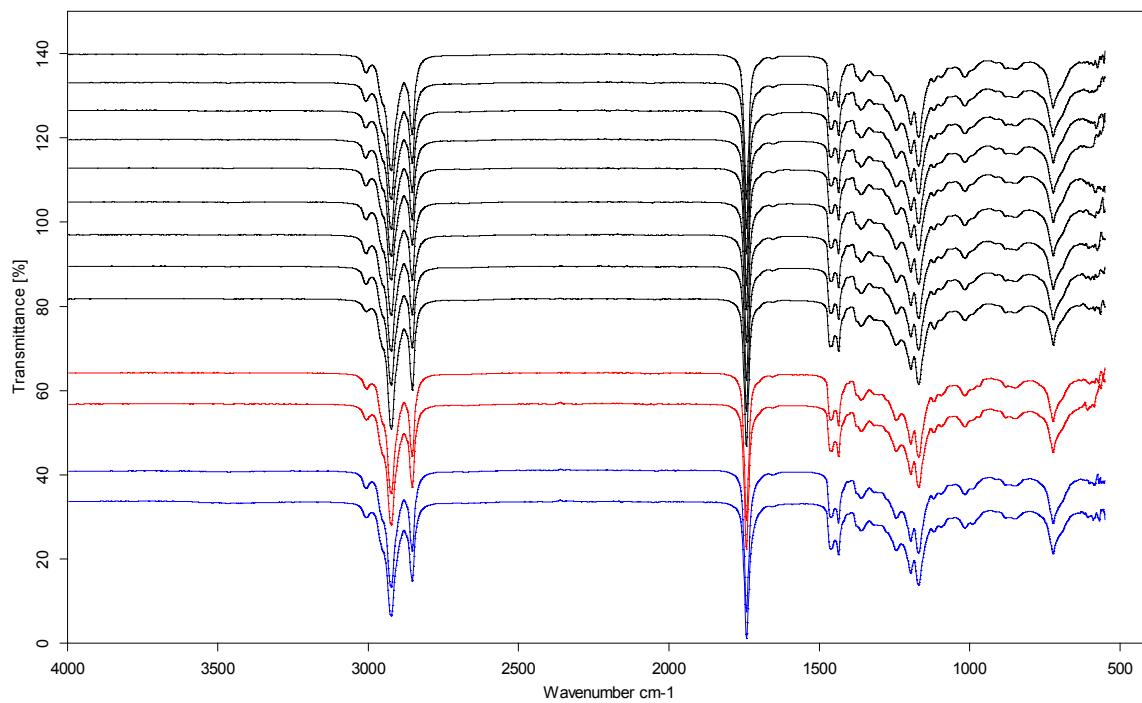


Bild 1: IR-Spektren der Biodieselproben (Kurven in der Ordinate verschoben dargestellt) von oben nach unten: 7b L, 7b M, BD-2, BD-5, BD-7, 7b M-09, EM-RME, C-RME, EM-FME, **PF B100 pur, PF B100, 7b M alt, 7b L alt** (Zeichen vgl. Anlage 7, Tabellen 1 - 3)

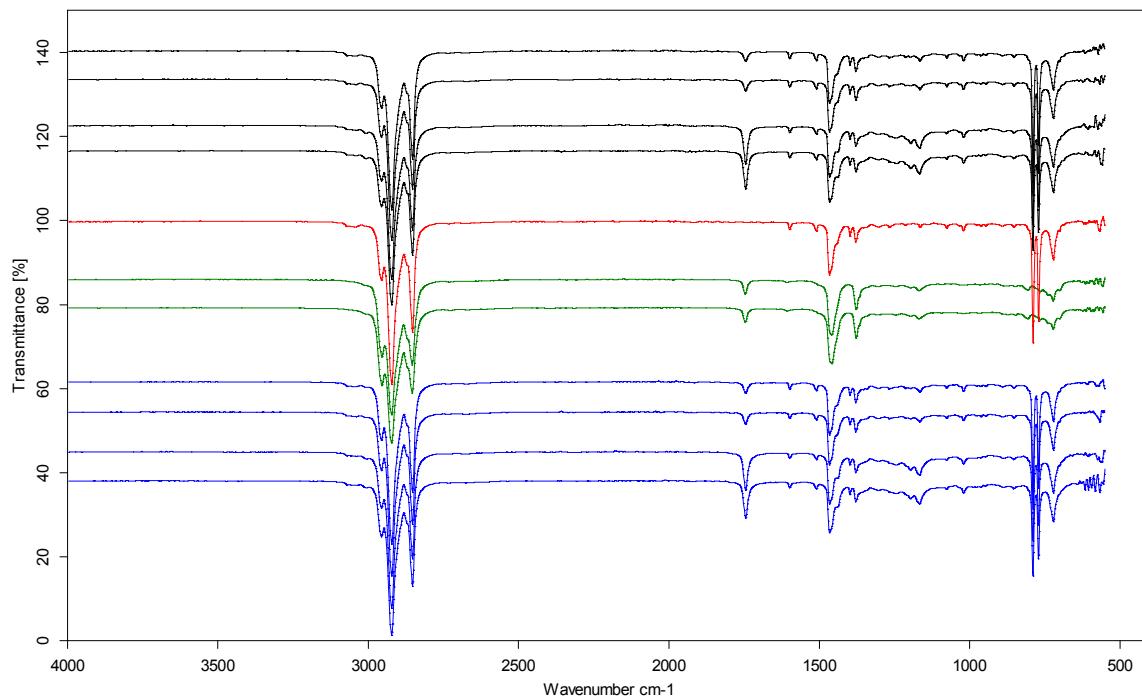


Bild 2: IR-Spektren von Proben aus Dieselkraftstoff bzw. Prüfflüssigkeit F nach ISO 1817 und gemischt mit Biodiesel (Kurven in der Ordinate verschoben dargestellt), von oben nach unten: 3a L, 3a M, 3b L, 3b M, **PF 3, B7 A, B7 S, 3a L alt, 3a M alt, 3b L alt, 3b M alt** (Zeichen vgl. Tabellen 1 - 3)

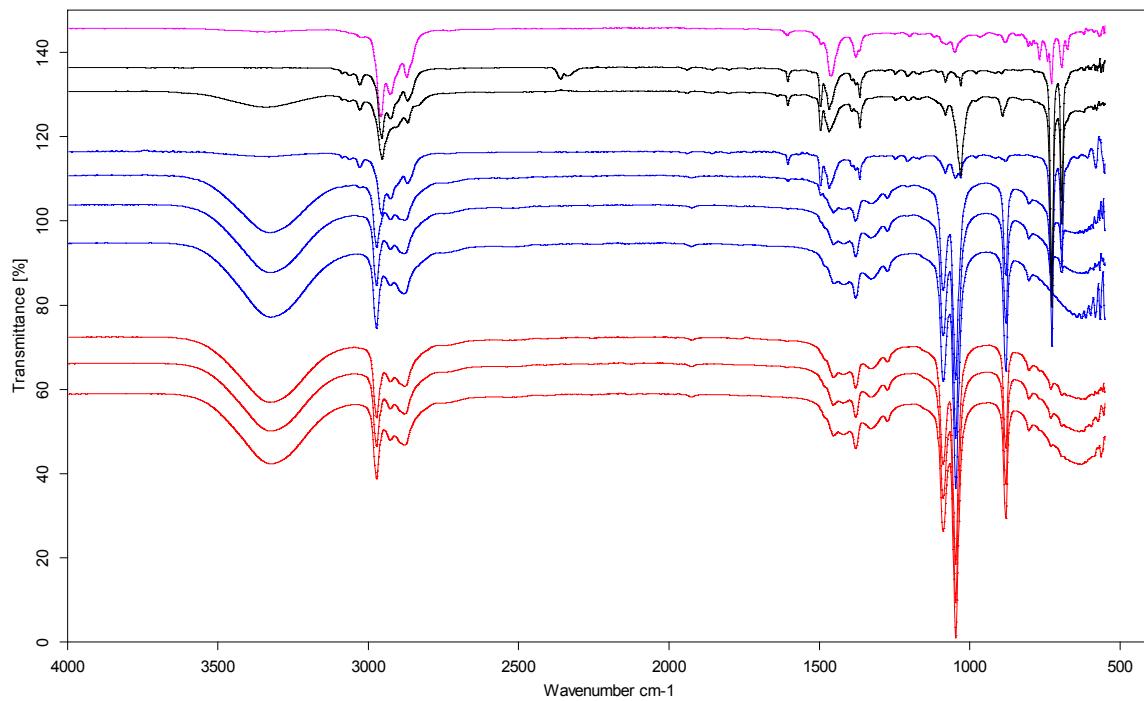


Bild 3: IR-Spektren von Proben aus Ottokraftstoff und Gemischen mit Ethanol (Kurven in der Ordinate verschoben dargestellt), von oben nach unten:
E5 S, PF 1, PF 1a (FAM B, DIN 51604-2), PF E10, PF E85W, PF E 85S, PF E100, E85-1, E85-6, E85-8 (Zeichen vgl. Anlage 7, Tabellen 1 - 3)

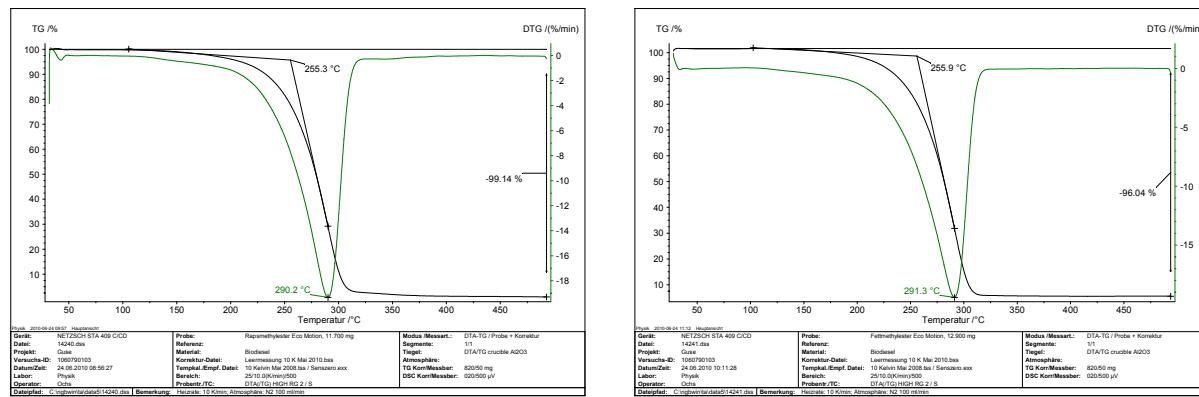


Bild 4: Ergebnisse von Untersuchungen mittels TGA, links: EM-RME, rechts: EM-FME
 N_2 -Atmosphäre bis 500 °C, Aufheizrate bis 500 °C 10 K/min, Einwaage: 12 mg

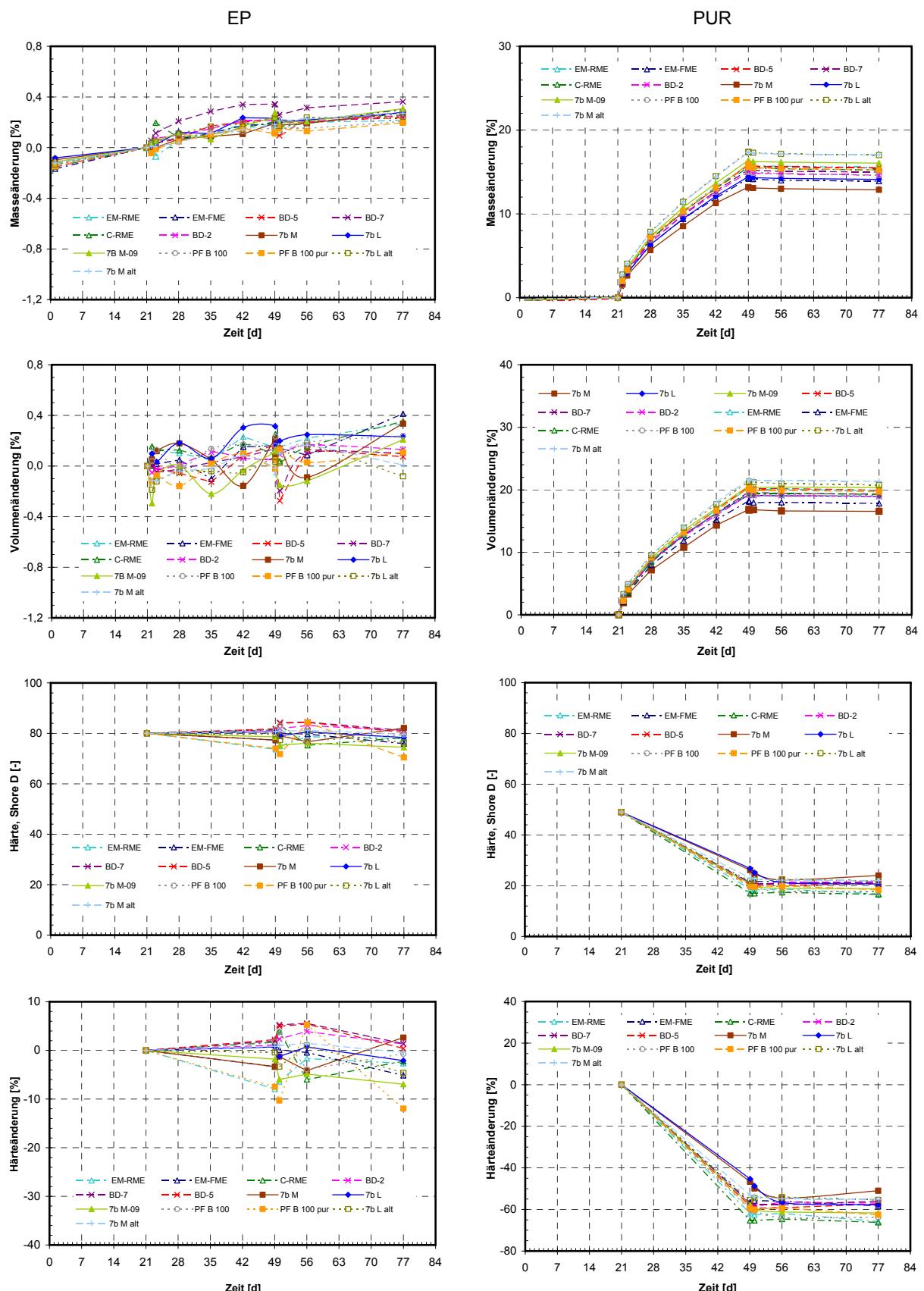
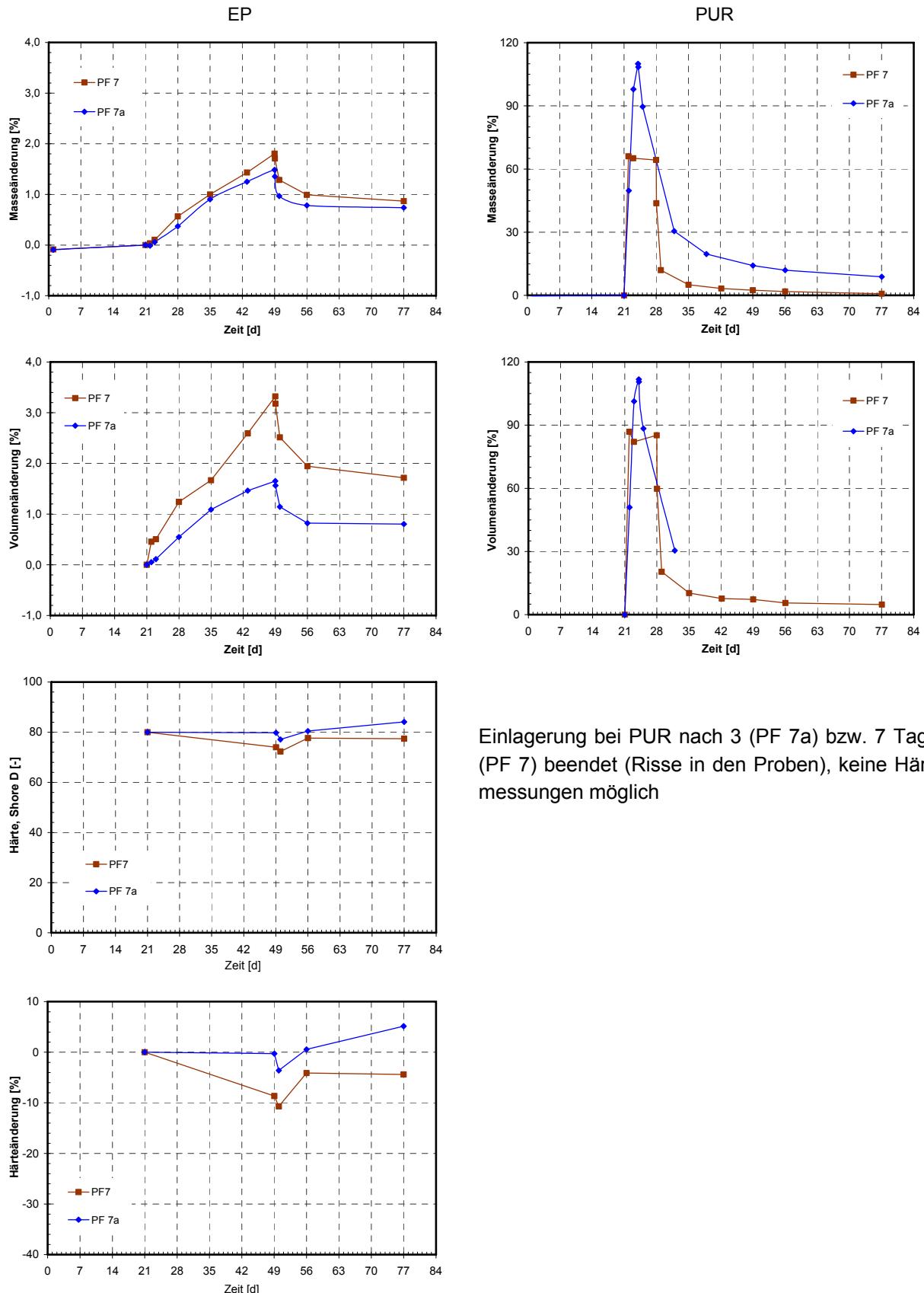


Bild 1: Einlagerungen der Beschichtungen in Biodiesel, links: EP, rechts: PUR
 von oben: Änderungen der Masse, des Volumens und der Shore D-Härte



Einlagerung bei PUR nach 3 (PF 7a) bzw. 7 Tagen (PF 7) beendet (Risse in den Proben), keine Härtemessungen möglich

Bild 2: Einlagerungen der Beschichtungen in PF 7 und PF 7a (Ester und Ketone), links: EP, rechts: PUR von oben: Änderungen der Masse, des Volumens und der Shore D-Härte

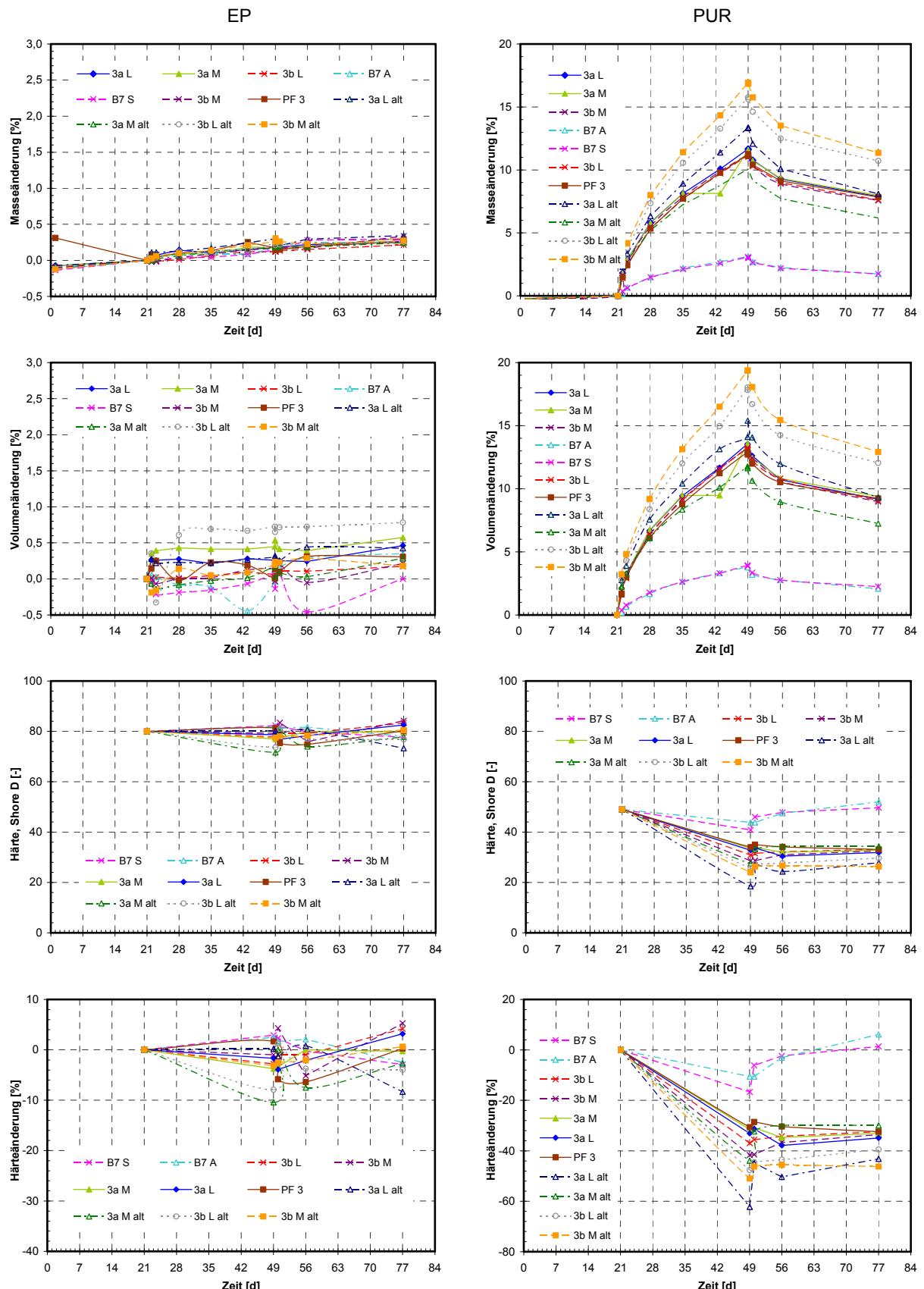


Bild 3: Einlagerungen der Beschichtungen in Gemische aus Diesel und Biodiesel sowie entsprechende PF, links: EP, rechts: PUR
 von oben: Änderungen der Masse, des Volumens und der Shore D-Härte

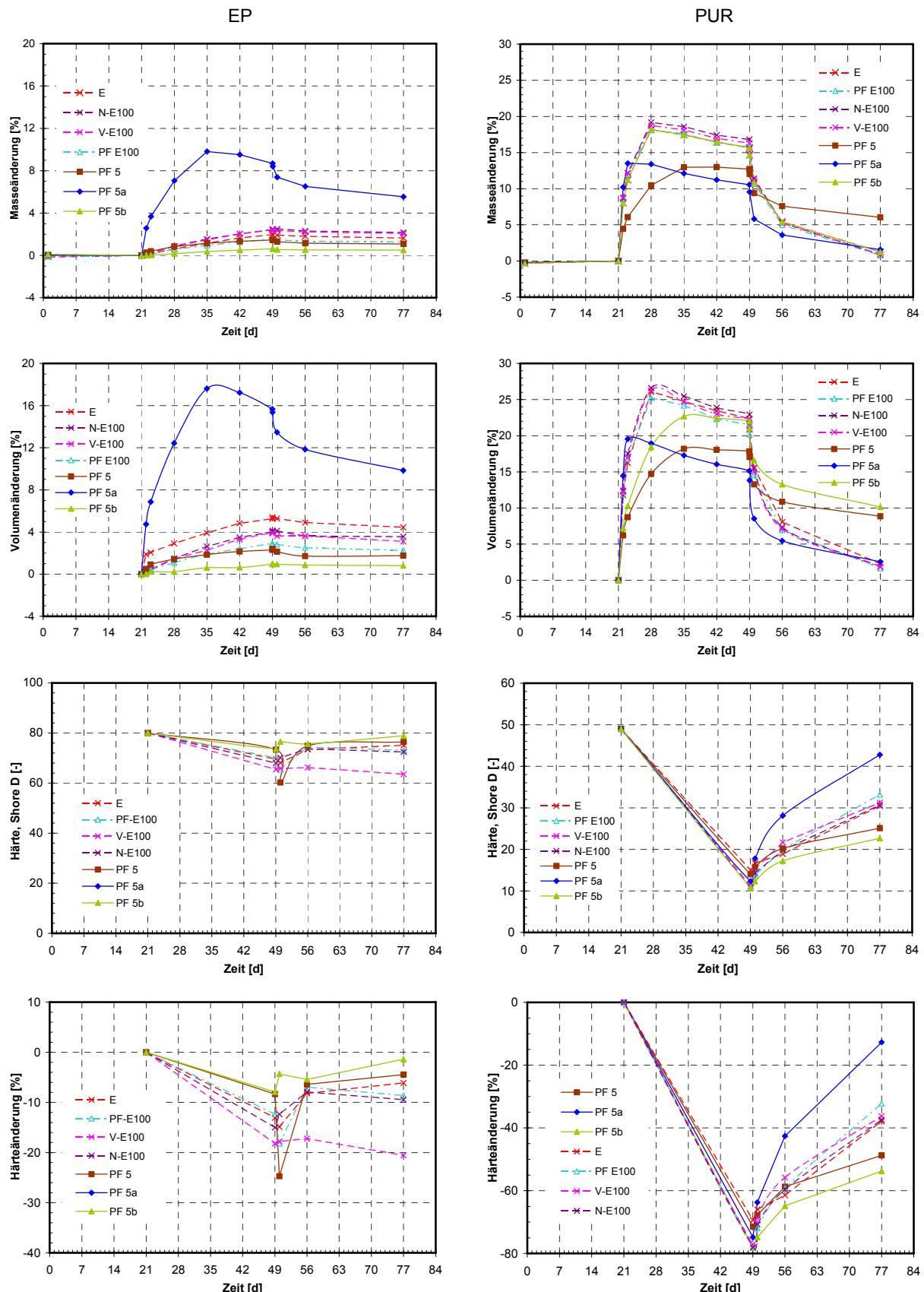


Bild 4: Einlagerungen der Beschichtungen in Bioethanol, Ethanol und PF für Alkohole, links: EP, rechts: PUR, von oben: Änderungen der Masse, des Volumens und der Shore D-Härte
 Einlagerung EP in PF 5a: keine Härtemessungen möglich (Wölbungen, Risse)

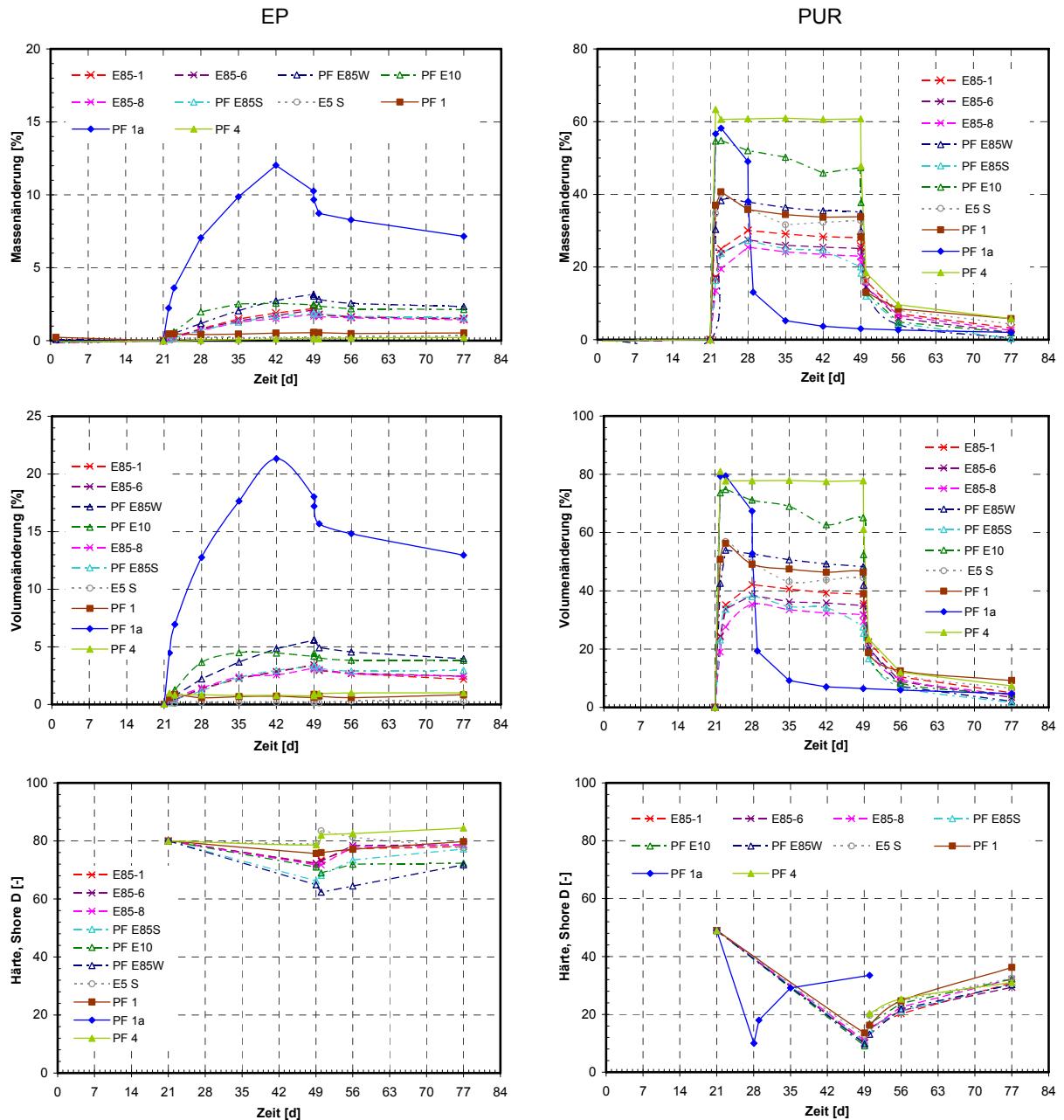
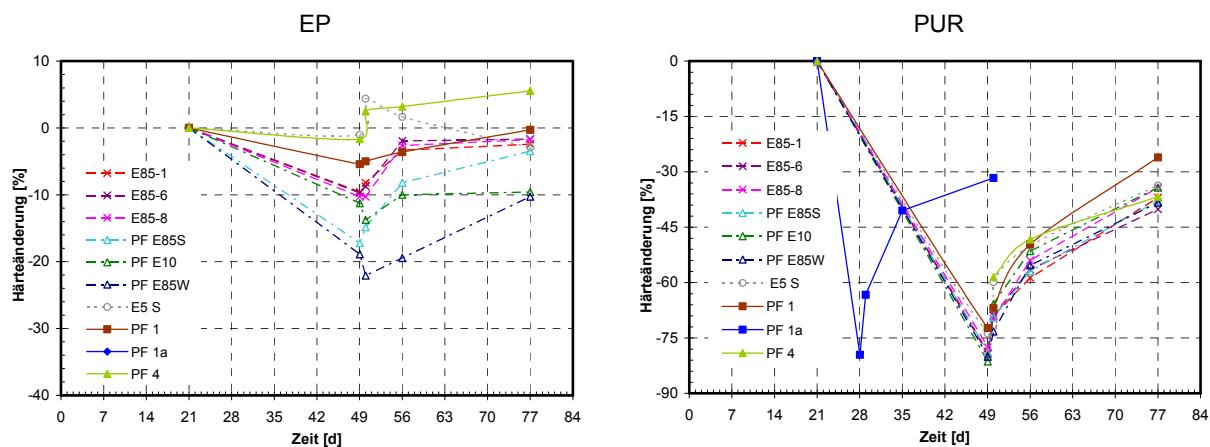


Bild 5: Einlagerungen der Beschichtungen in Ethanol- und Ottokraftstoffe sowie entsprechende PF,
 links: EP, rechts: PUR
 von oben: Änderungen der Masse, des Volumens und der Shore D-Härte (absolut)
 Einlagerung EP in PF 1a: keine Härtemessungen möglich (Wölbungen, Risse),
 Einlagerung PUR in PF 1a: nach 7 Tagen beendet (starkes Quellen, Masseverlust durch kleinteilige Ablösungen, eine Probe gerissen),
 Einlagerung PUR in PF 4: Risse, Härtemessungen eingeschränkt möglich



Fortsetzung von Bild 5:

Einlagerungen der Beschichtungen in Ethanol- und Ottokraftstoffe sowie entsprechende PF,
Änderung der Shore D-Härte (relativ)

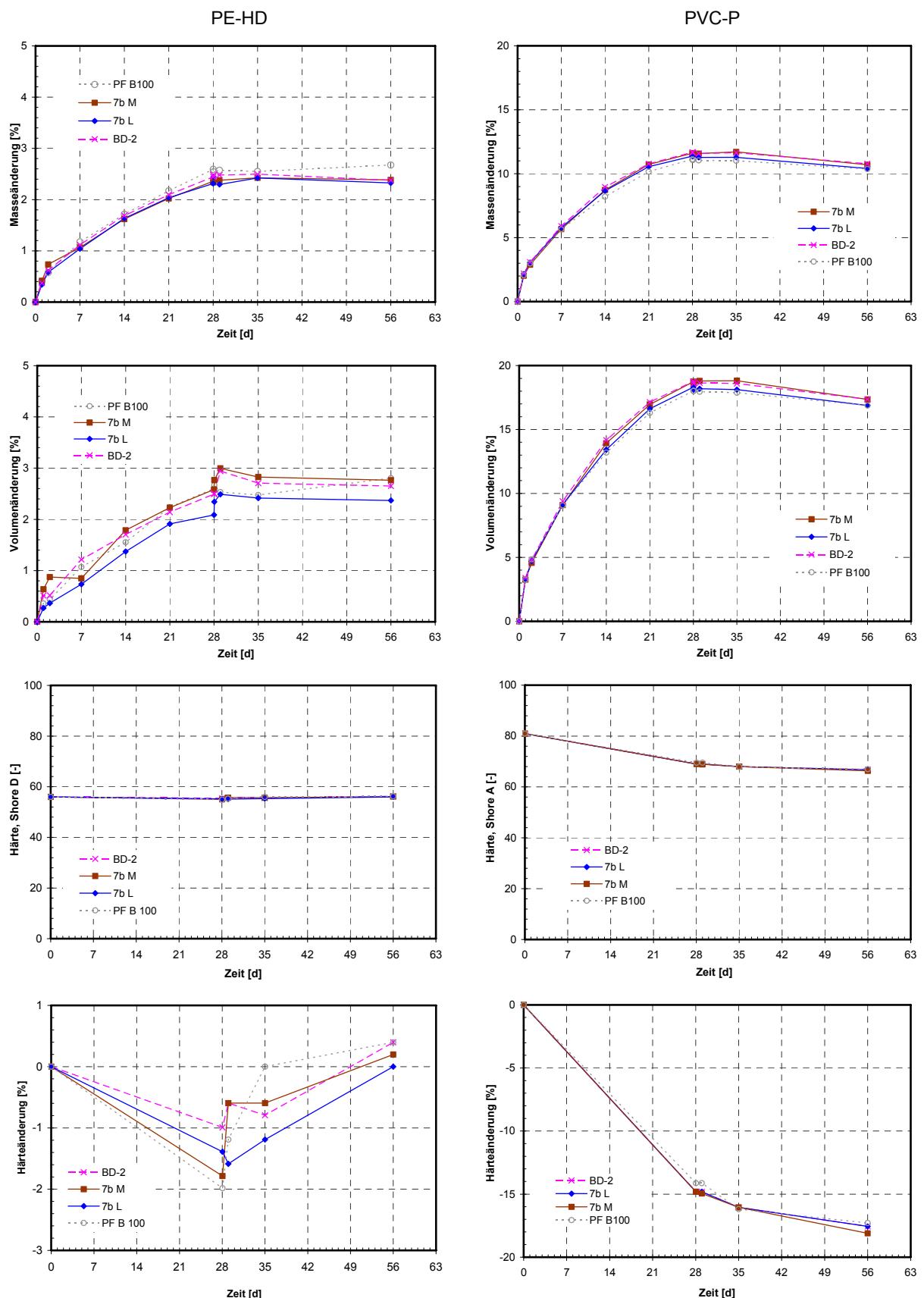


Bild 1: Einlagerungen der Kunststoffbahnen in Biodiesel, links: PE-HD, rechts: PVC-P
 von oben: Änderungen der Masse, des Volumens und der Shore Härte (PE-HD: Shore D, PVC-P: Shore A)

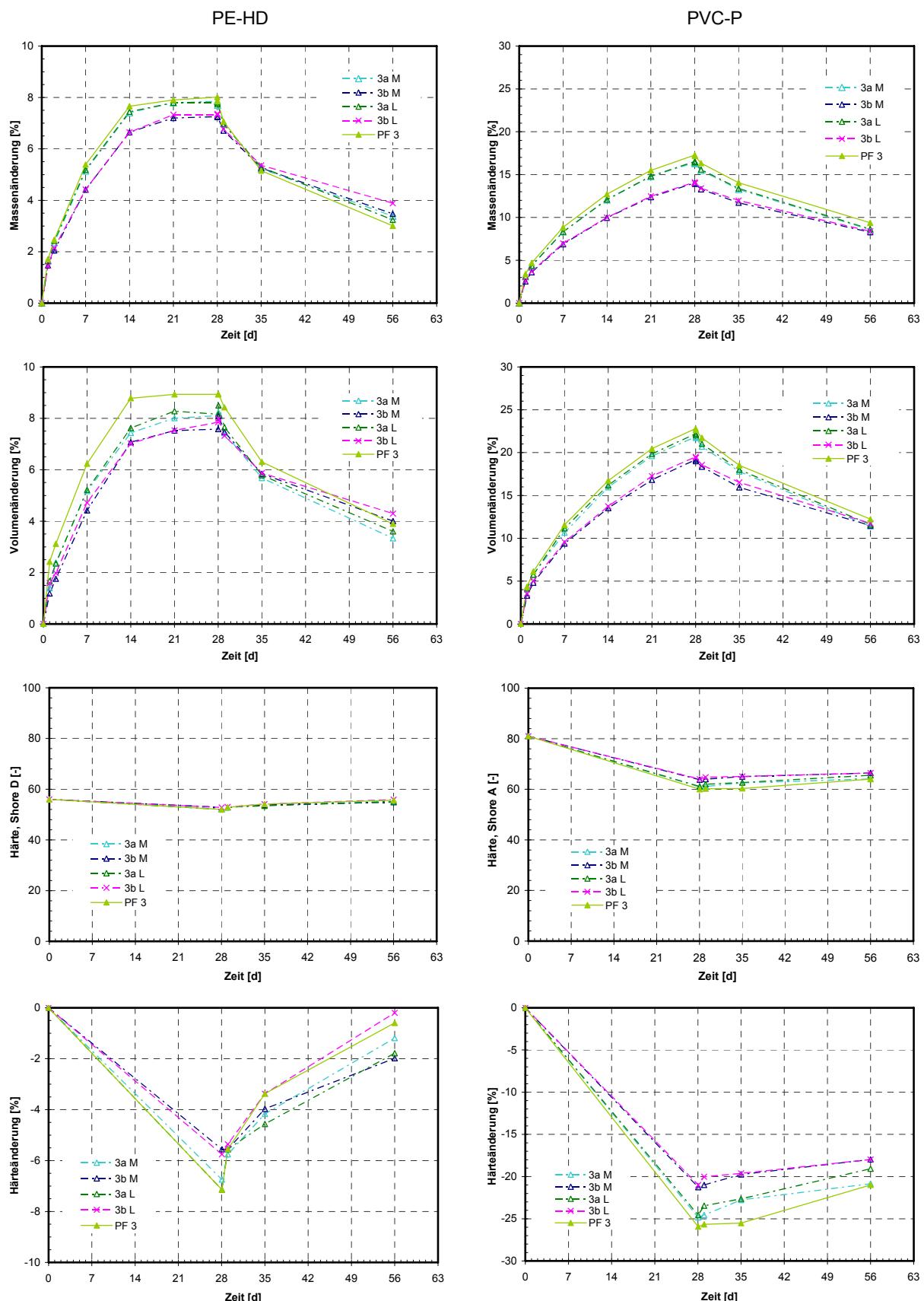


Bild 2: Einlagerungen der Kunststoffbahnen in Gemische aus Diesel und Biodiesel sowie entspr. PF, links: PE-HD, rechts: PVC-P, von oben: Änderungen der Masse, des Volumens und der Shore Härte (PE-HD: Shore D, PVC-P: Shore A)

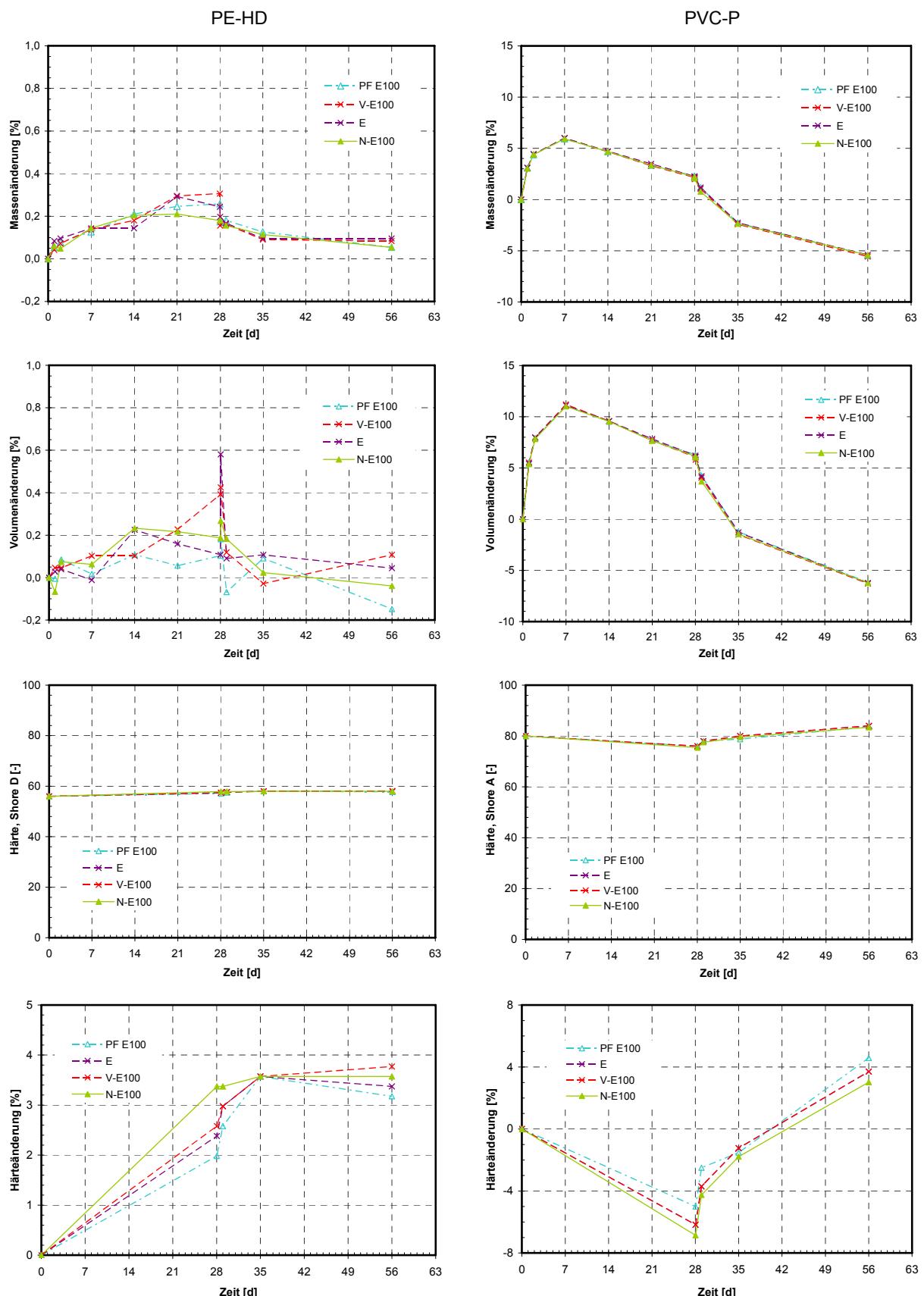


Bild 3: Einlagerungen der Kunststoffbahnen in Bioethanol und Ethanol, links: PE-HD, rechts: PVC-P
 von oben: Änderungen der Masse, des Volumens und der Shore Härte
 (PE-HD: Shore D, PVC-P: Shore A)

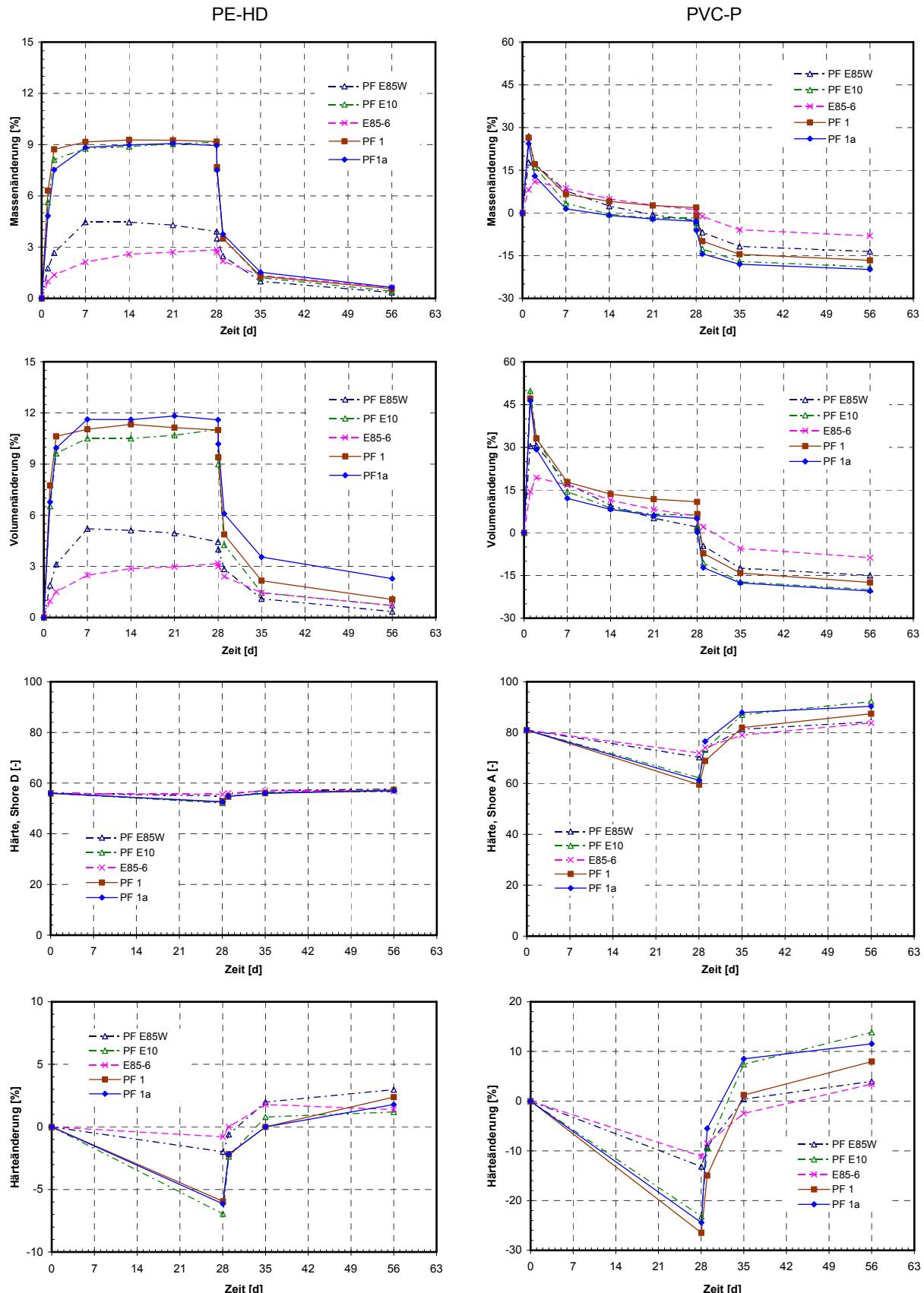


Bild 4: Einlagerungen der Kunststoffbahnen in Ethanol- und Ottokraftstoffe sowie entspr. PF,
 links: PE-HD, rechts: PVC-P, von oben: Änderungen der Masse, des Volumens und der Shore
 Härte (PE-HD: Shore D, PVC-P: Shore A)

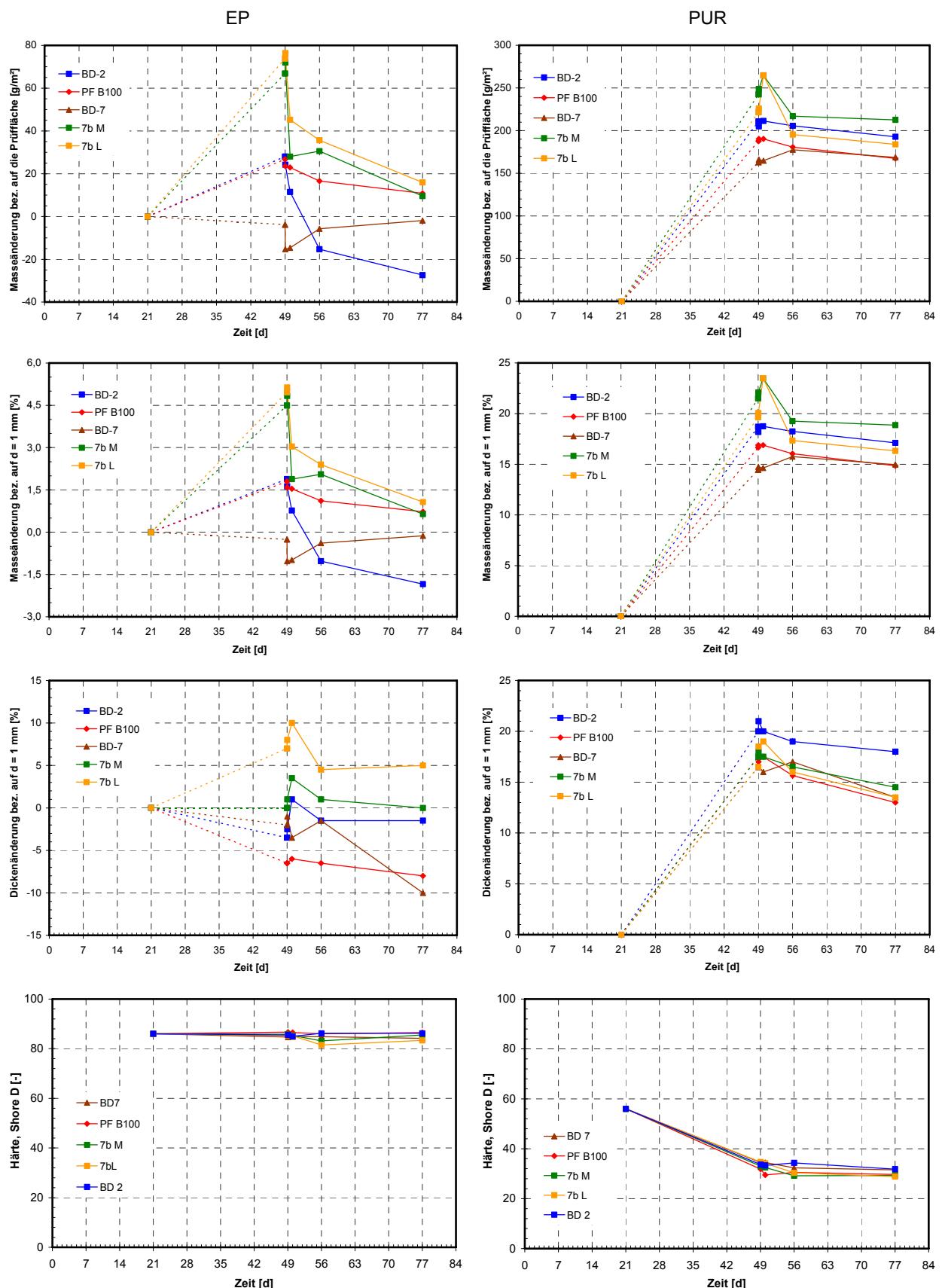
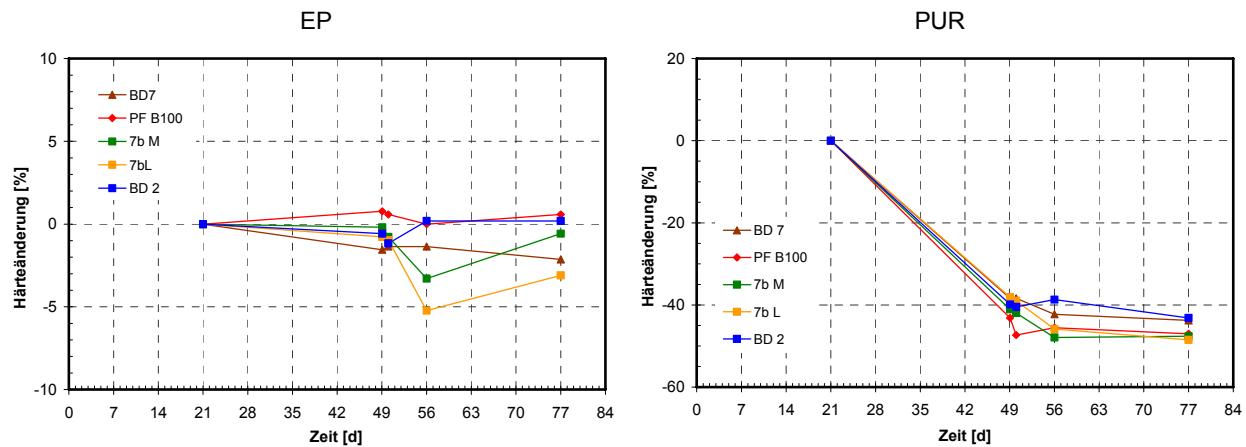


Bild 1a: Druckversuche (1 bar) an den Beschichtungen mit Biodiesel, links: EP, rechts: PUR
 von oben: flächenbezogene Masseänderung, Masseänderung bez. auf 1 mm Schichtdicke, Dickenänderung bez. auf 1 mm Schichtdicke (10 % = 0,10 mm), Änderung der Shore D-Härte (absolut)



Fortsetzung von Bild 1a:

Druckversuche (1 bar) an den Beschichtungen mit Biodiesel, links: EP, rechts: PUR
 Änderung der Shore D-Härte (relativ)

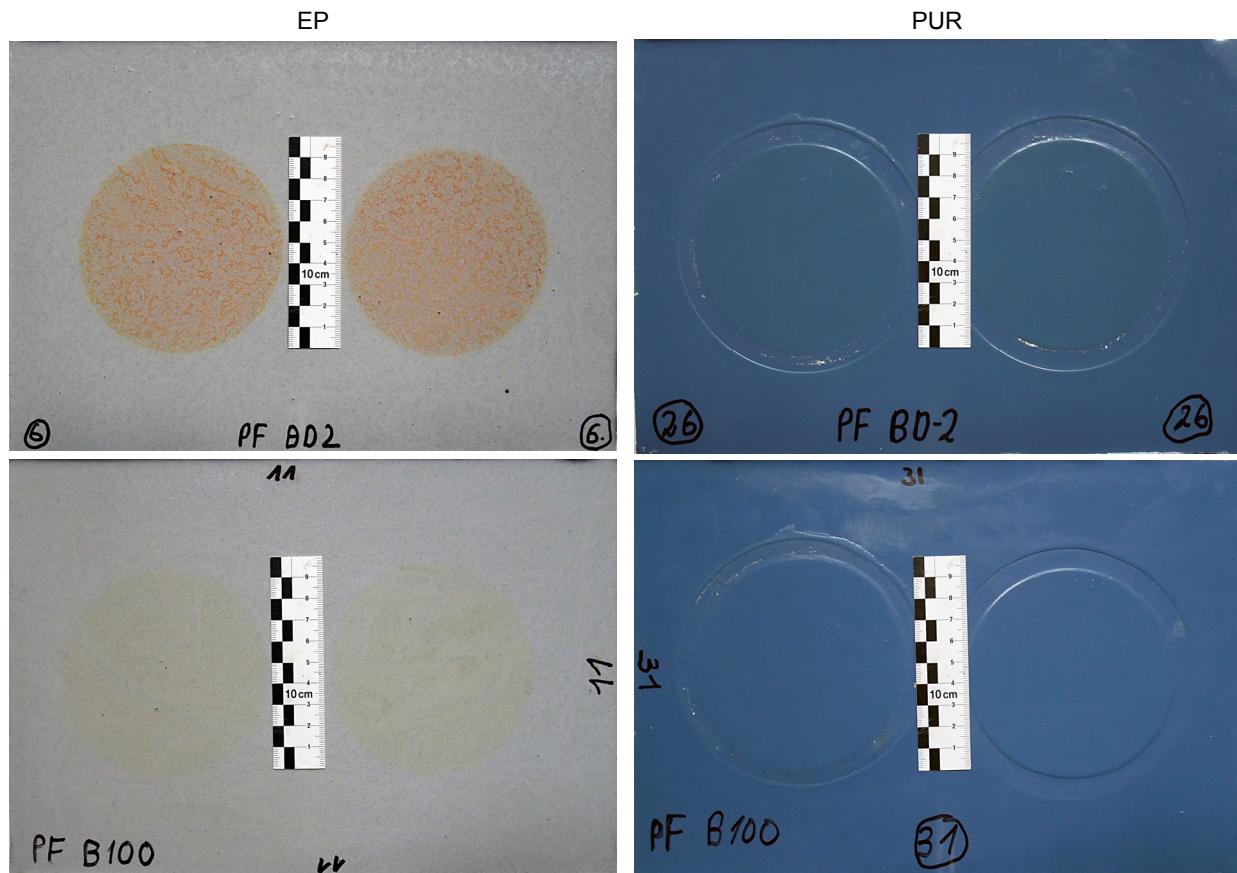
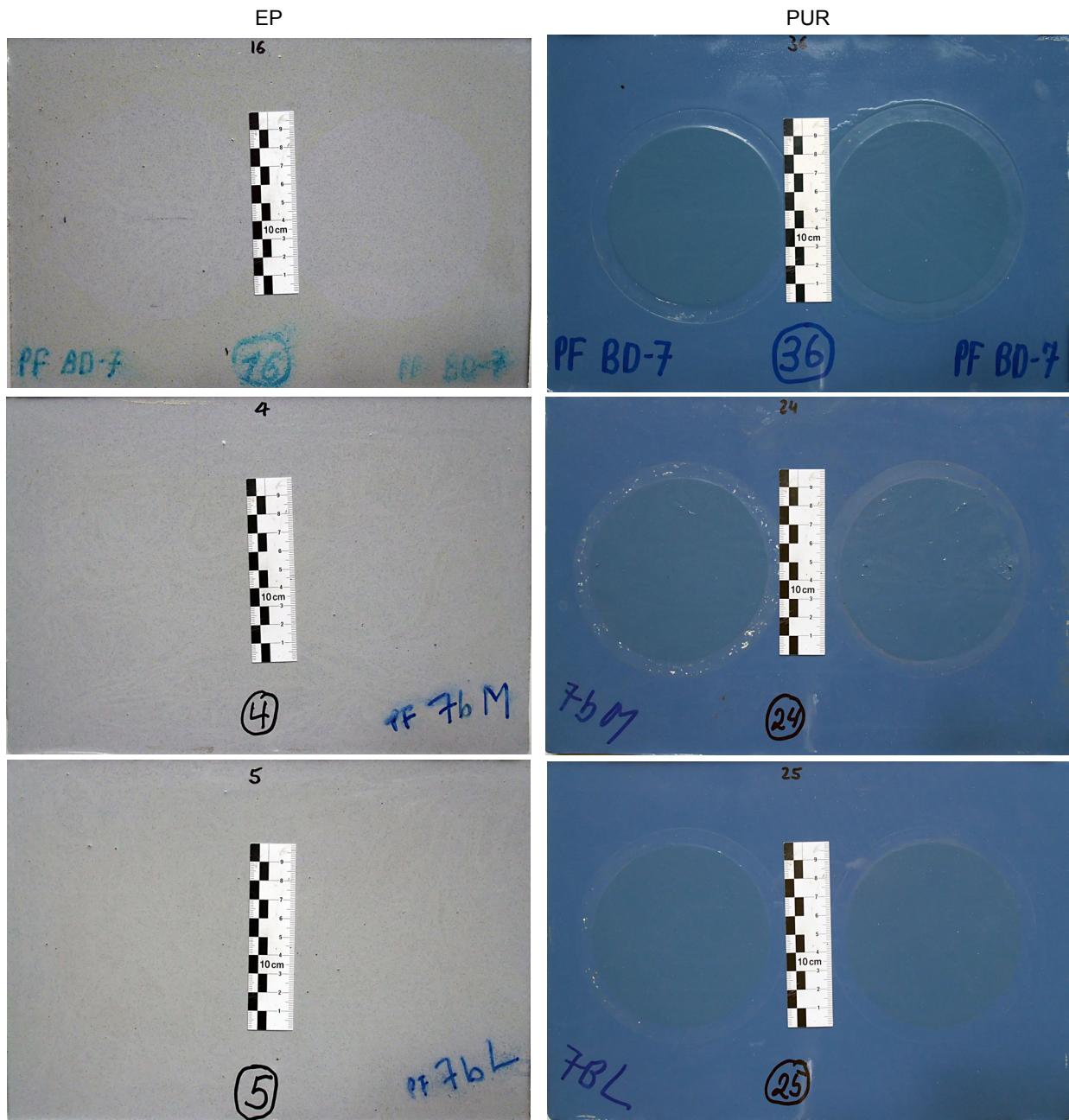


Bild 1b: Zustand der Prüfflächen der Beschichtungen nach den Druckversuchen (1 bar) mit Biodiesel,
 links: EP, rechts: PUR
 Die Bezeichnung der Flüssigkeiten ist im jeweiligen Bild vermerkt.



Fortsetzung von Bild 1b:

Zustand der Prüfflächen der Beschichtungen nach den Druckversuchen (1 bar) mit Biodiesel,
links: EP, rechts: PUR

Die Bezeichnung der Flüssigkeiten ist im jeweiligen Bild vermerkt.

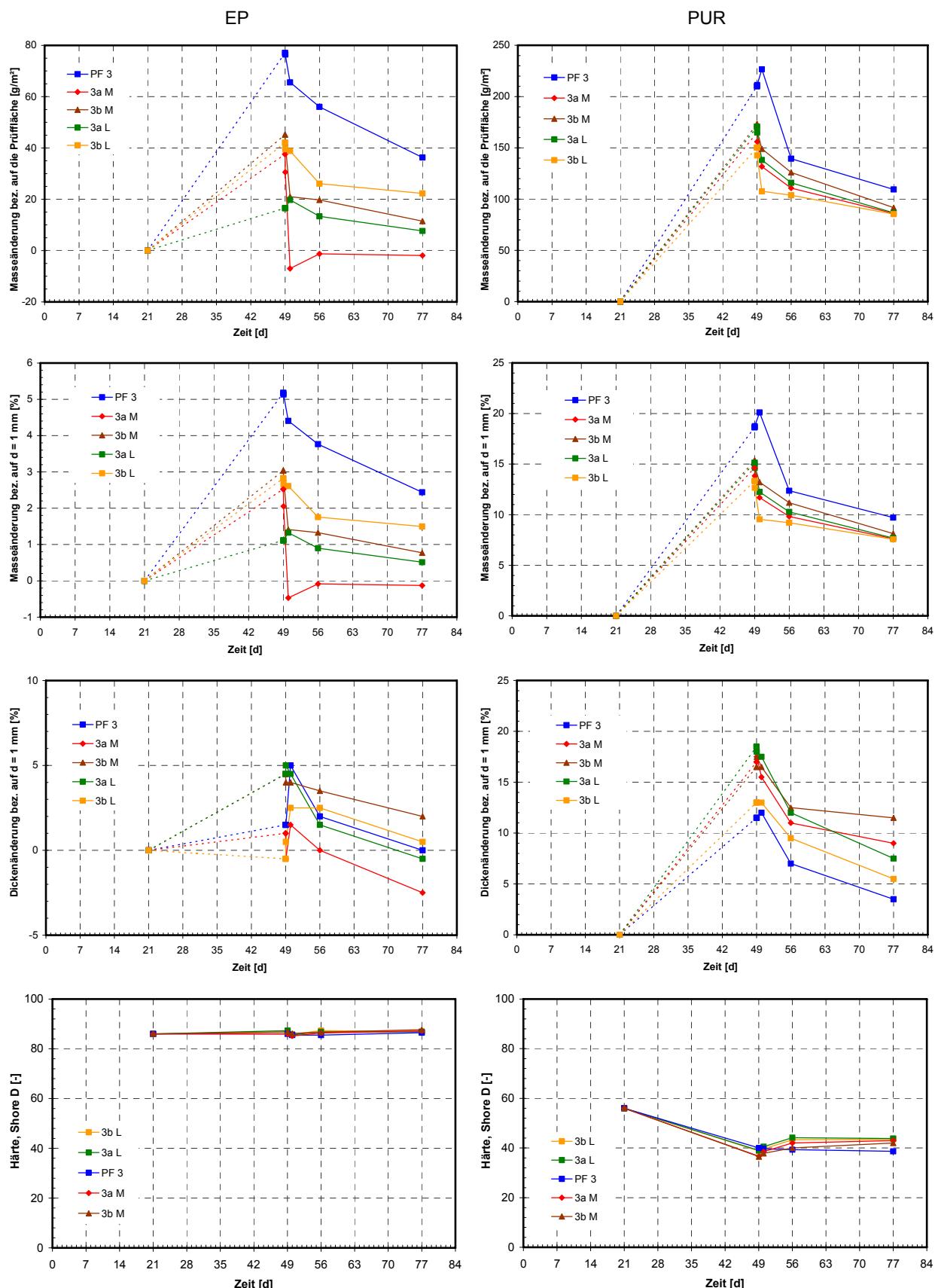
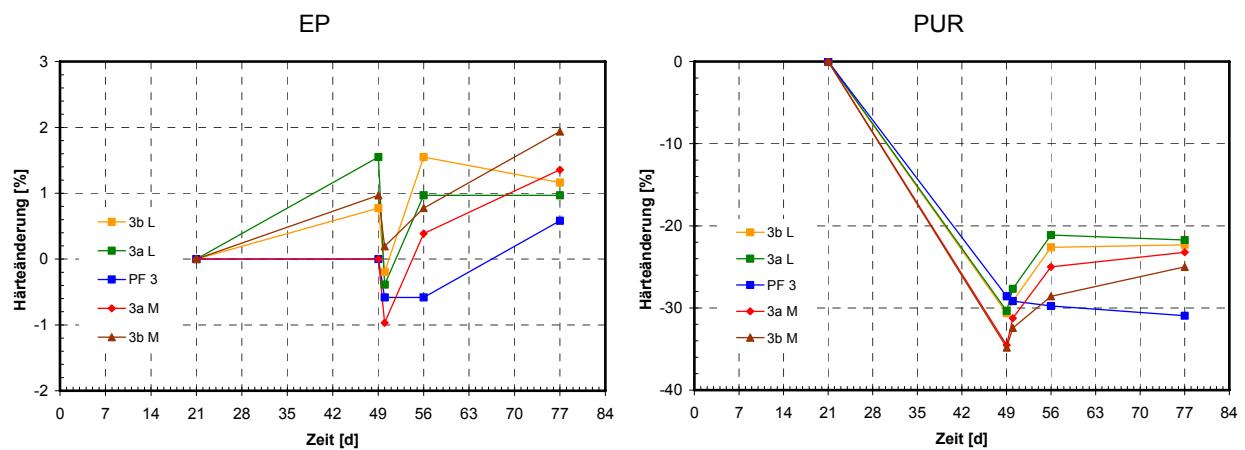


Bild 2a: Druckversuche (1 bar) an den Beschichtungen mit Gemischen aus Diesel und Biodiesel sowie entsprechenden PF, links: EP, rechts: PUR, von oben: flächenbezogene Masseänderung, Masseänderung bez. auf 1 mm Schichtdicke, Dickenänderung bez. auf 1 mm Schichtdicke (10 % = 0,10 mm), Änderung der Shore D-Härte (absolut)



Fortsetzung von Bild 2a:

Druckversuche (1 bar) an den Beschichtungen mit Gemischen aus Diesel und Biodiesel sowie entsprechenden PF, links: EP, rechts: PUR

Änderung der Shore D-Härte (relativ)

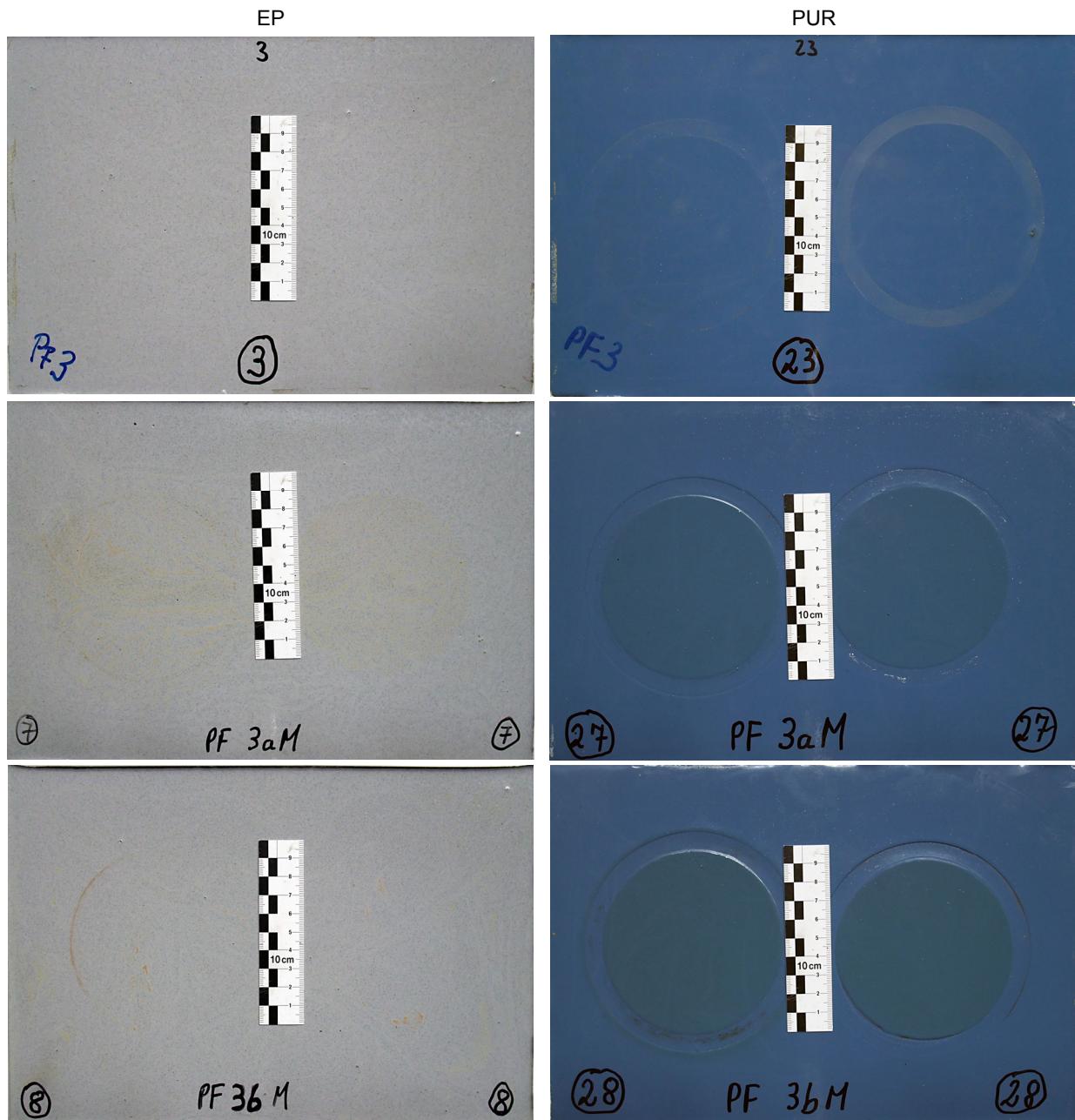
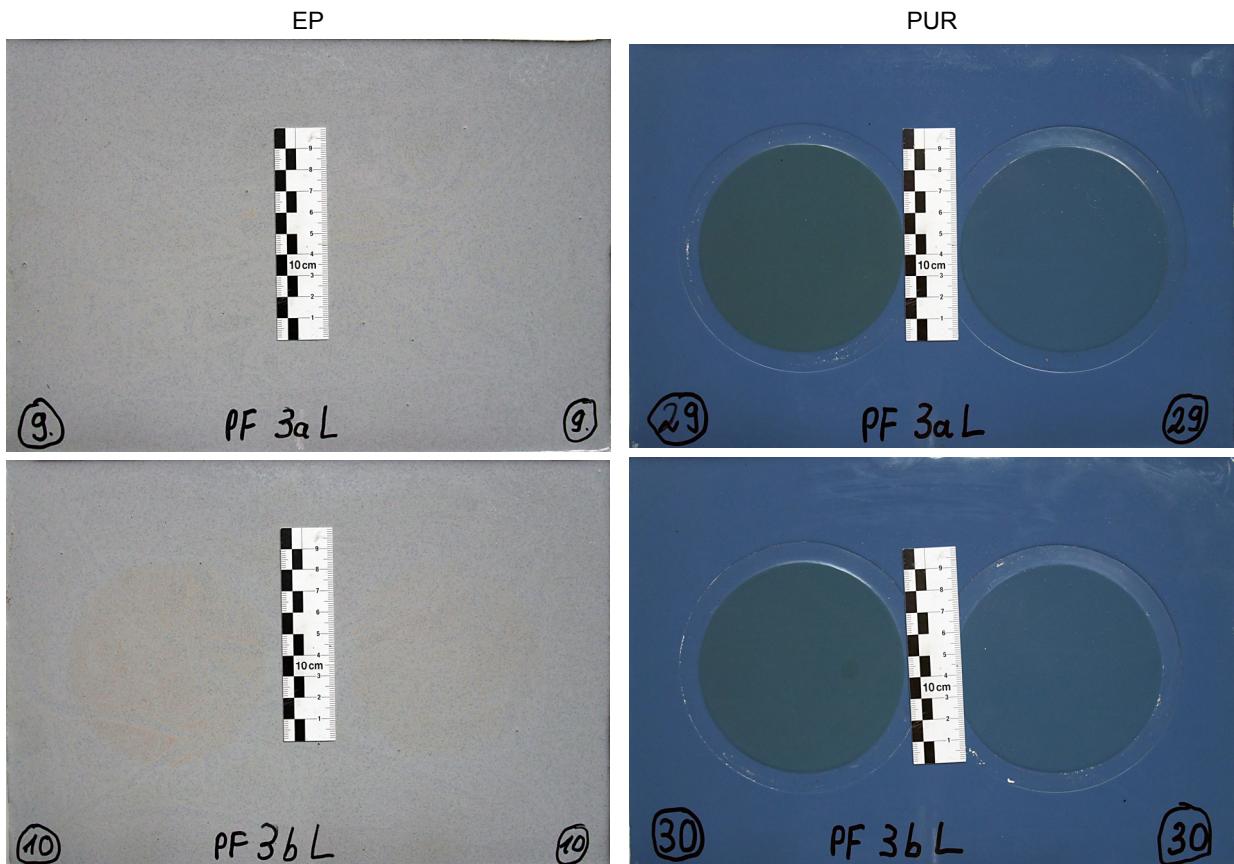


Bild 2b: Zustand der Prüfflächen der Beschichtungen nach den Druckversuchen (1 bar) mit Gemischen aus Diesel und Biodiesel sowie entsprechenden PF, links: EP, rechts: PUR
Die Bezeichnung der Flüssigkeiten ist im jeweiligen Bild vermerkt.



Fortsetzung von Bild 2b:

Zustand der Prüfflächen der Beschichtungen nach den Druckversuchen (1 bar) mit Gemischen aus Diesel und Biodiesel sowie entsprechenden PF, links: EP, rechts: PUR

Die Bezeichnung der Flüssigkeiten ist im jeweiligen Bild vermerkt.

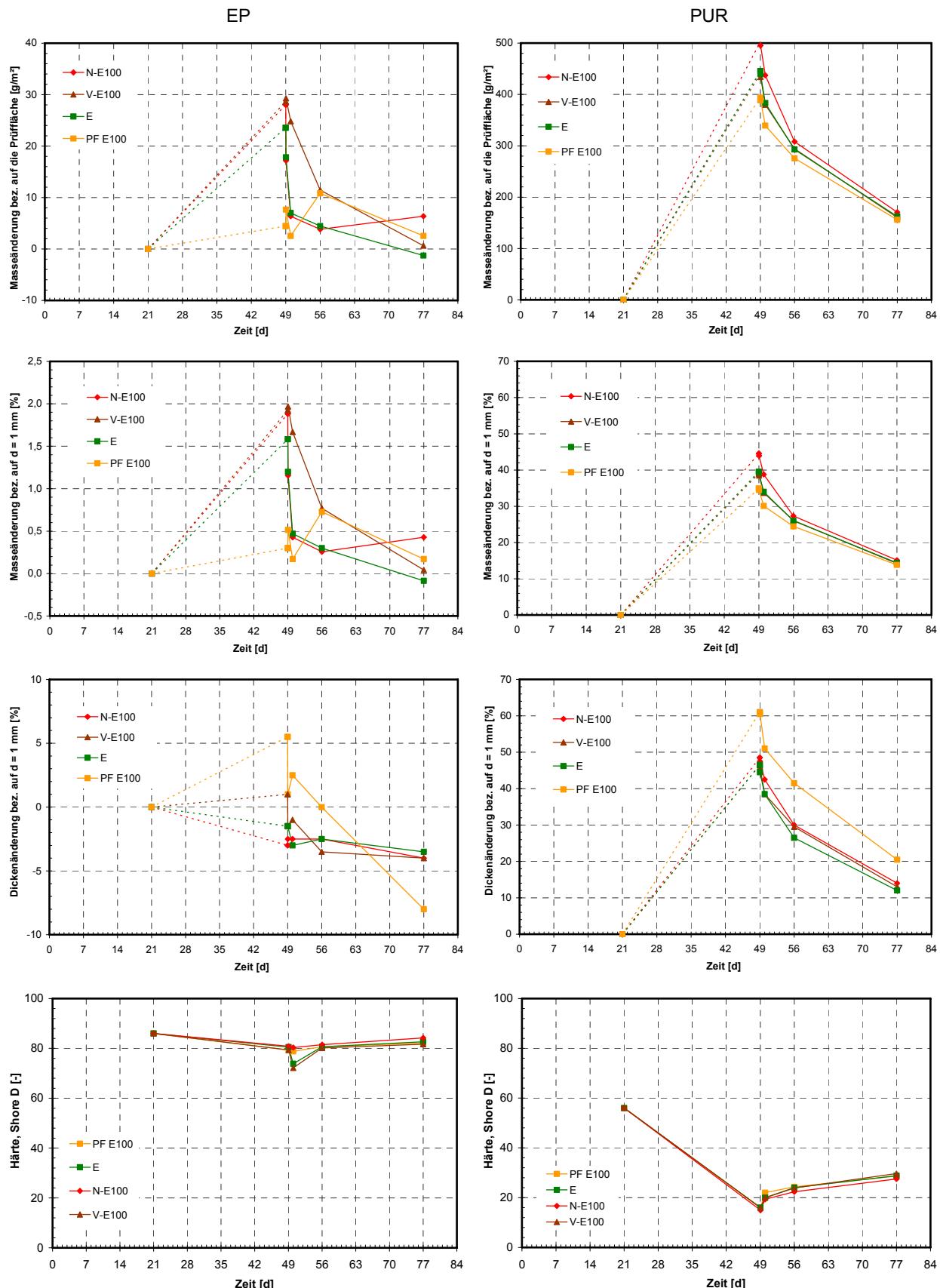
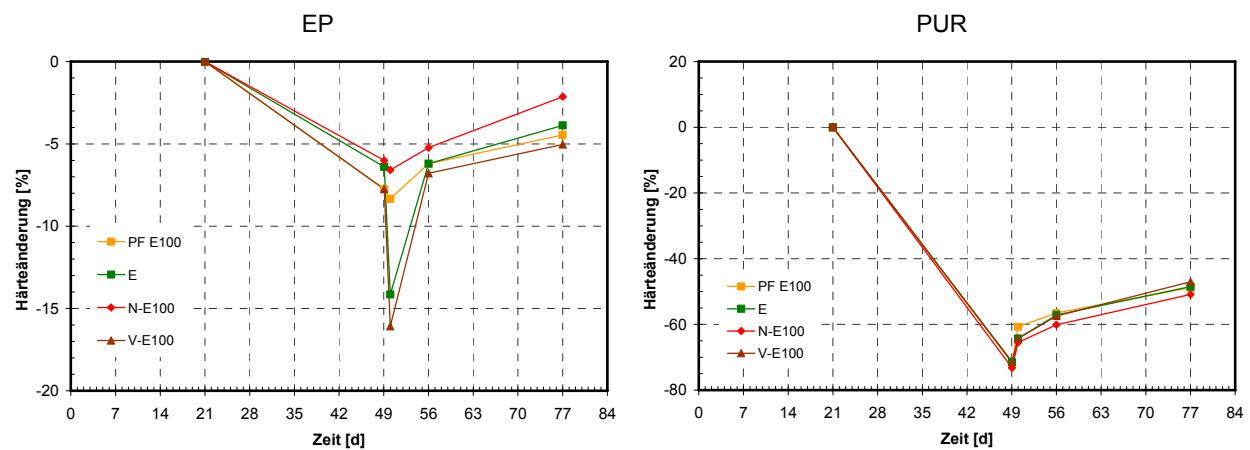


Bild 3a: Druckversuche (1 bar) an den Beschichtungen mit Bioethanol und Ethanol
 links: EP, rechts: PUR, von oben: flächenbezogene Masseänderung, Masseänderung bez. auf 1 mm Schichtdicke, Dickenänderung bez. auf 1 mm Schichtdicke (10 % = 0,10 mm), Änderung der Shore D-Härte (absolut)



Fortsetzung von Bild 3a:

Druckversuche (1 bar) an den Beschichtungen mit Bioethanol und Ethanol,

links: EP, rechts: PUR

Änderung der Shore D-Härte (relativ)

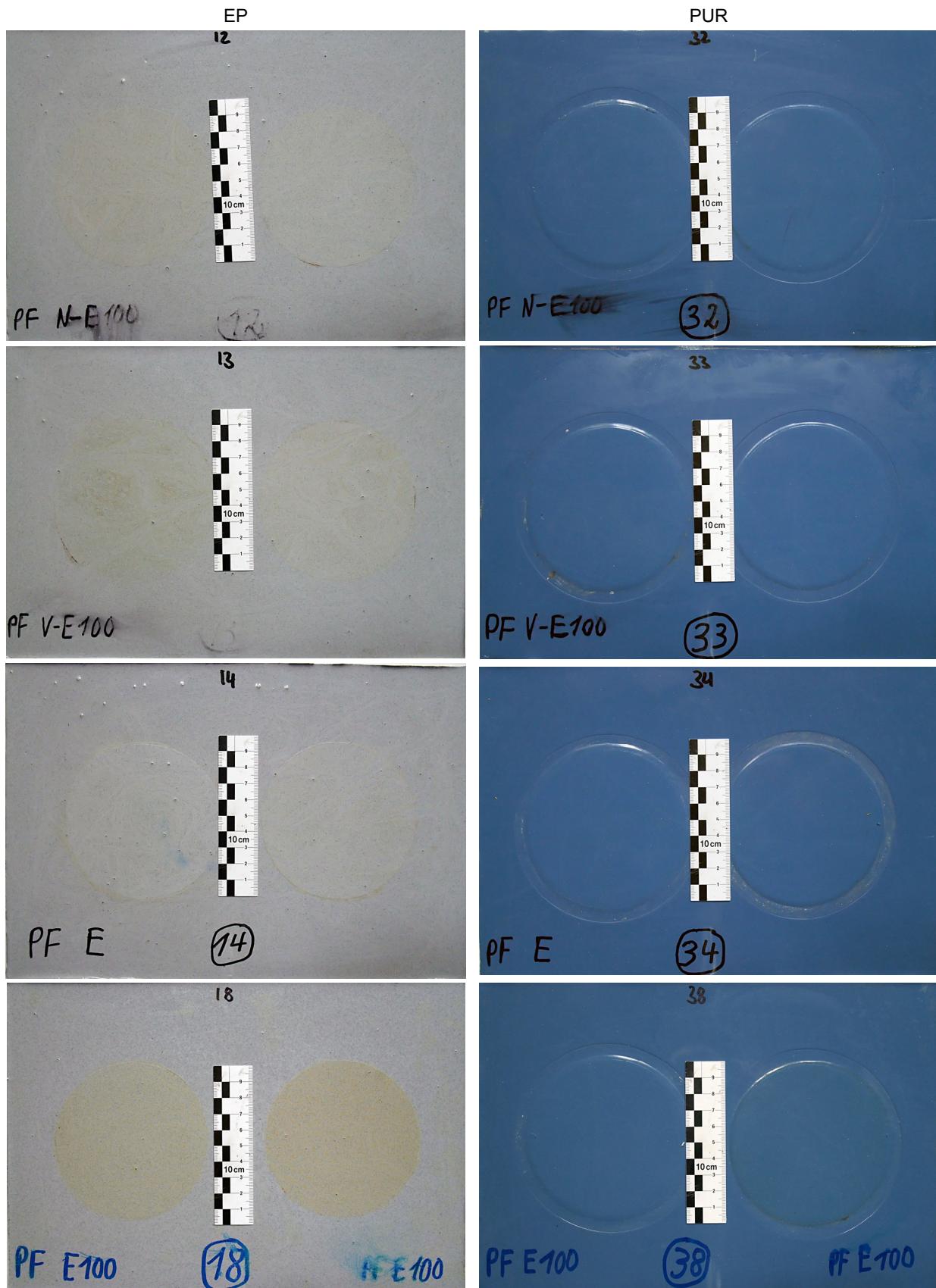


Bild 3b: Zustand der Prüfflächen der Beschichtungen nach den Druckversuchen (1 bar) mit Bioethanol und Ethanol, links: EP, rechts: PUR
Die Bezeichnung der Flüssigkeiten ist im jeweiligen Bild vermerkt.

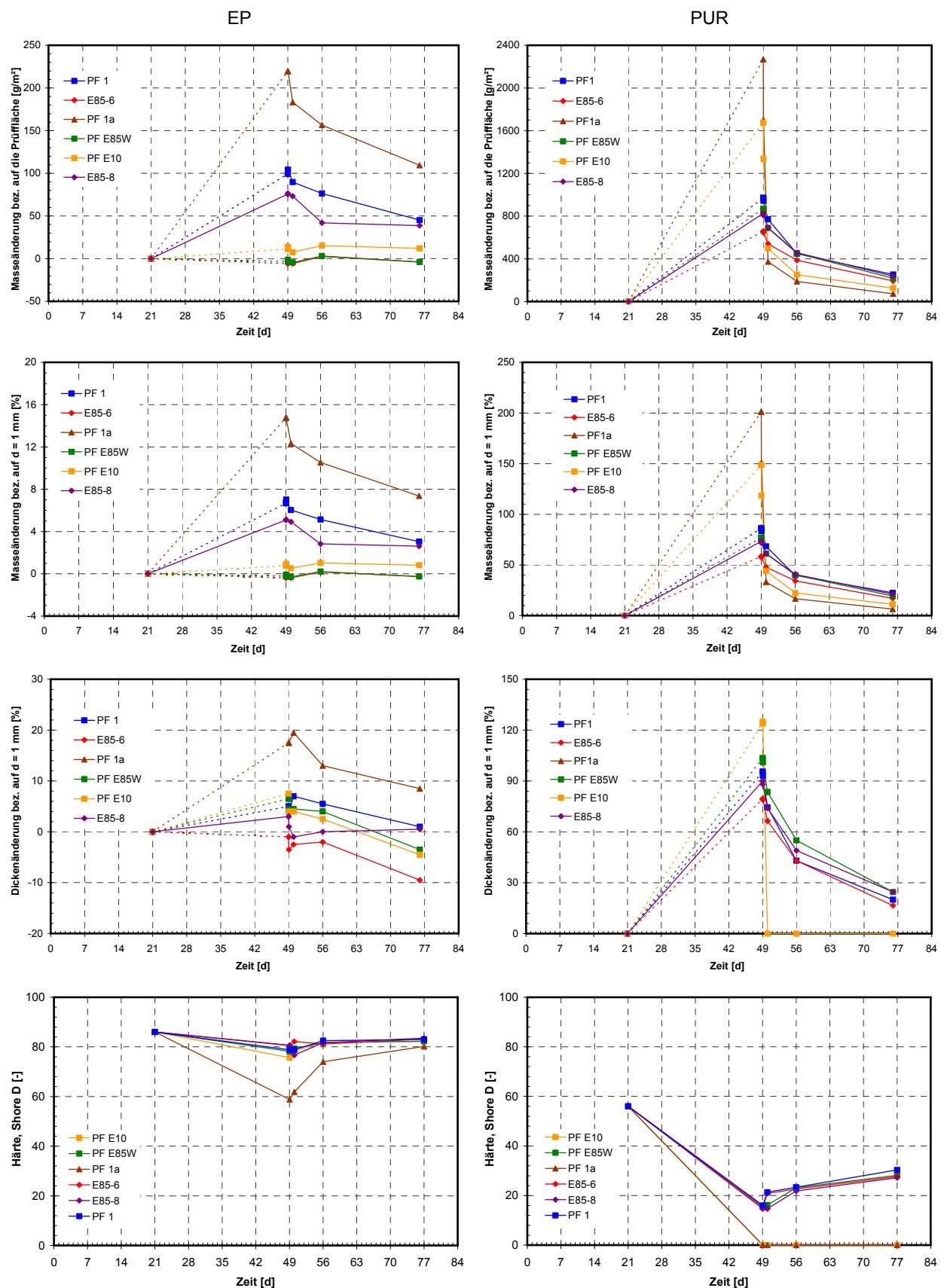
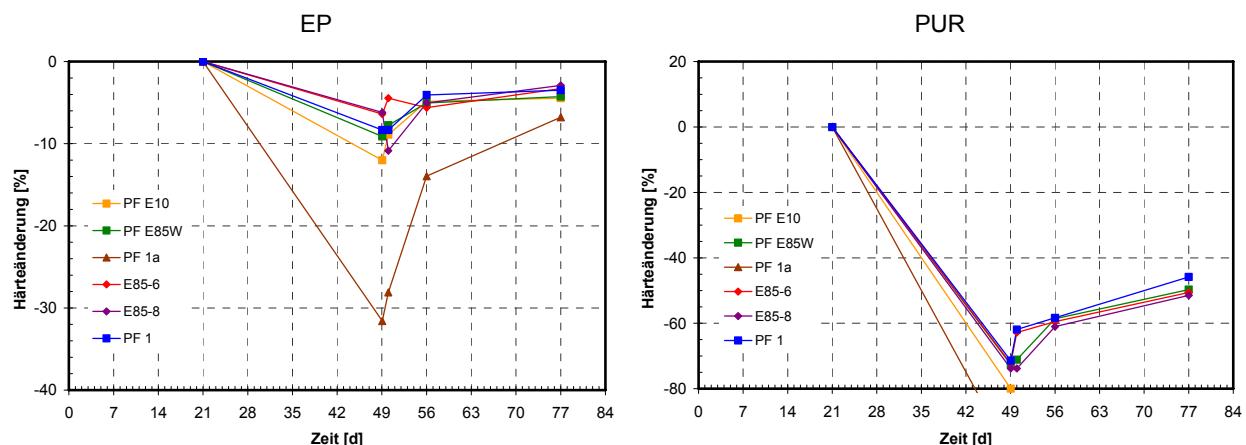


Bild 4a: Druckversuche (1 bar) an den Beschichtungen mit Ethanol- und Ottokraftstoffen sowie entsprechenden PF, PUR mit PF 1a, PF E10: zerstört, keine Dicken- und Härtemessungen möglich von oben: flächenbez. Masseänderung, Masseänderung bez. auf 1 mm Schichtdicke, Dickenänderung bez. auf 1 mm Schichtdicke (10 % = 0,10 mm), Änderung der Shore D-Härte (absolut)



Fortsetzung von Bild 4a:

Druckversuche (1 bar) an den Beschichtungen mit Ethanol- und Ottokraftstoffen sowie entsprechenden PF, links: EP, rechts: PUR

Änderung der Shore D-Härte (relativ)

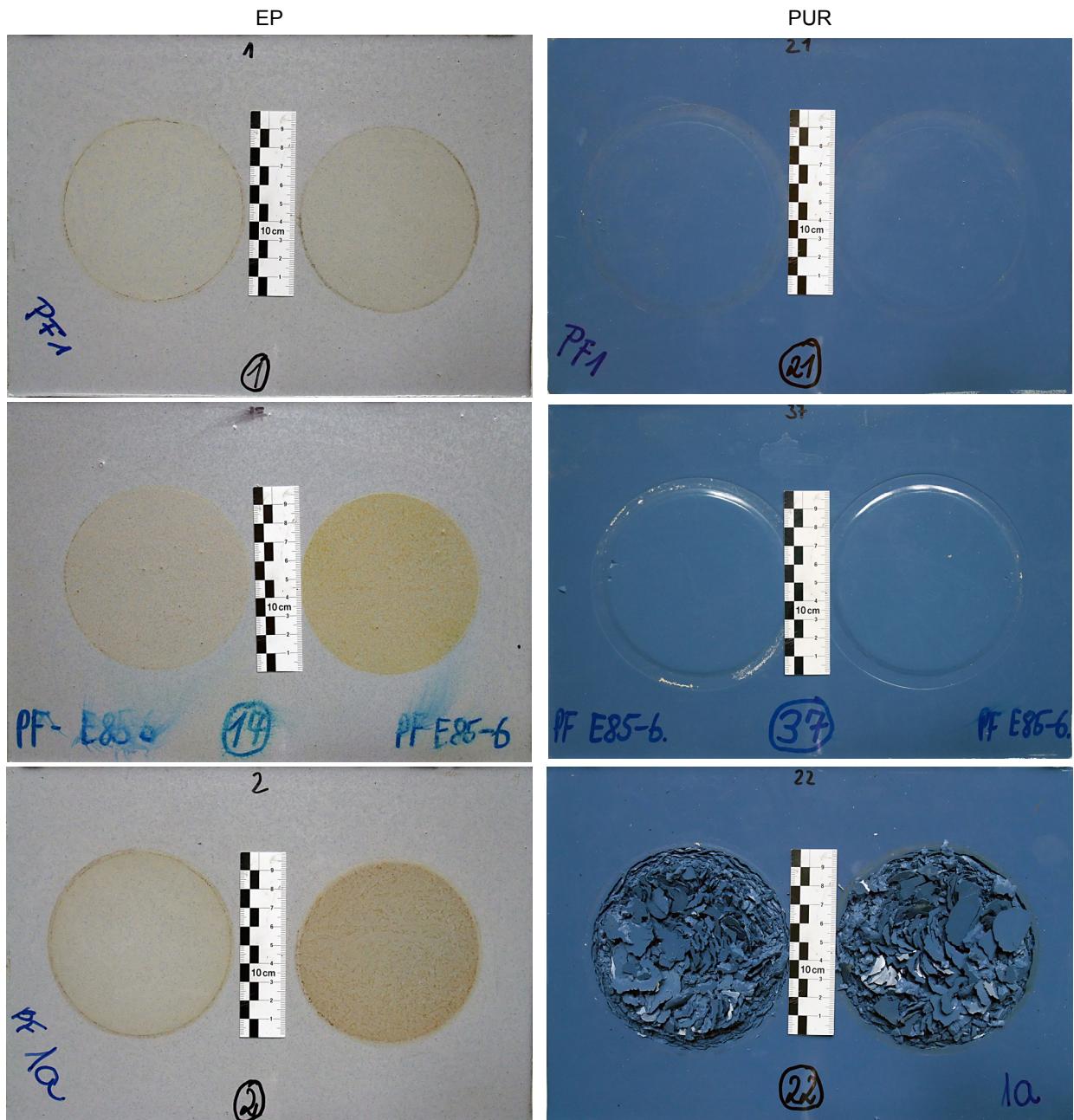
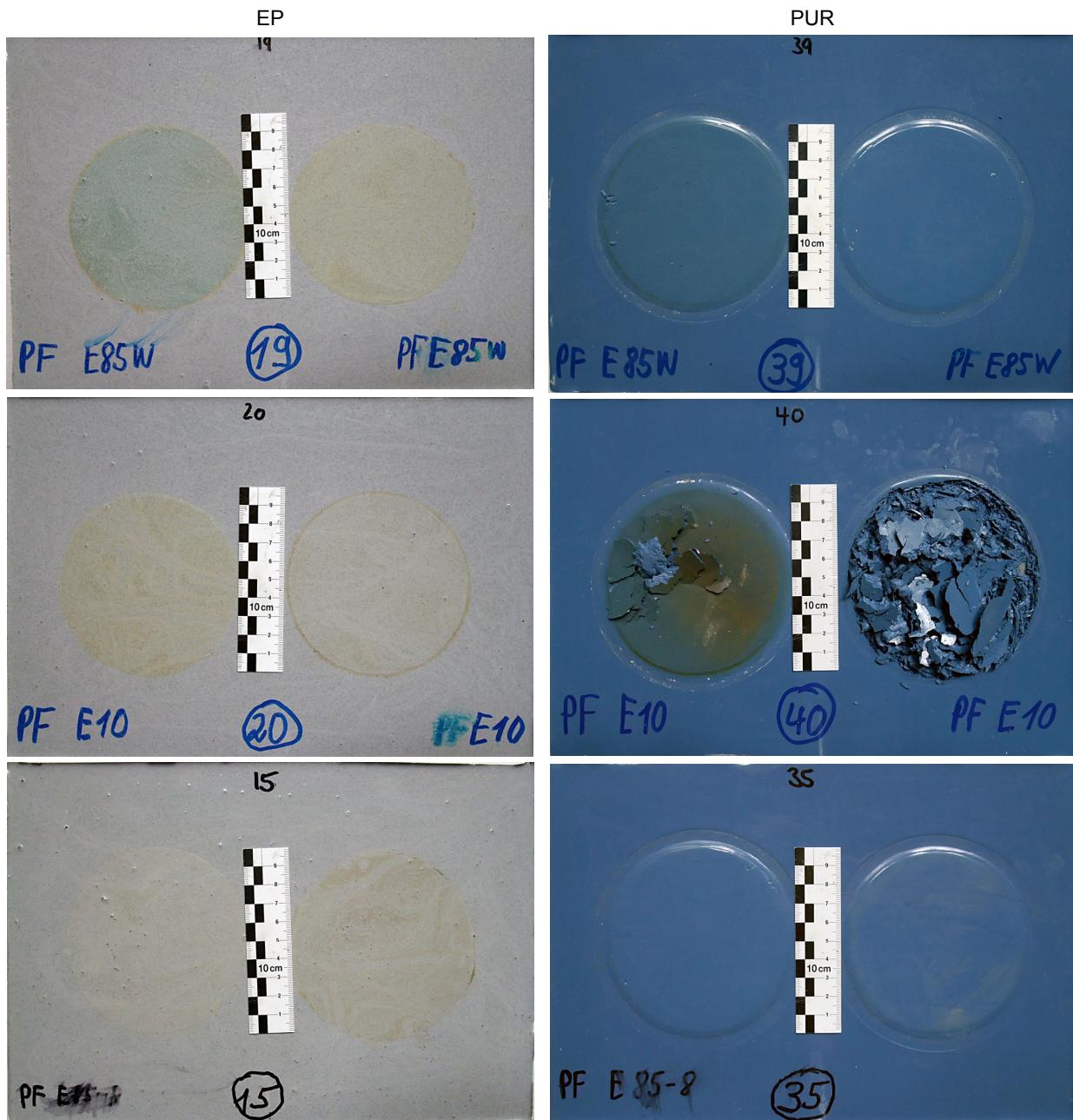


Bild 4b: Zustand der Prüfflächen der Beschichtungen nach den Druckversuchen (1 bar) mit Ethanol- und Ottokraftstoffen sowie entsprechenden PF, links: EP, rechts: PUR
Die Bezeichnung der Flüssigkeiten ist im jeweiligen Bild vermerkt.



Fortsetzung von Bild 4b:

Zustand der Prüfflächen der Beschichtungen nach den Druckversuchen (1 bar) mit Ethanol- und Ottokraftstoffen sowie entsprechenden PF, links: EP, rechts: PUR
Die Bezeichnung der Flüssigkeiten ist im jeweiligen Bild vermerkt.

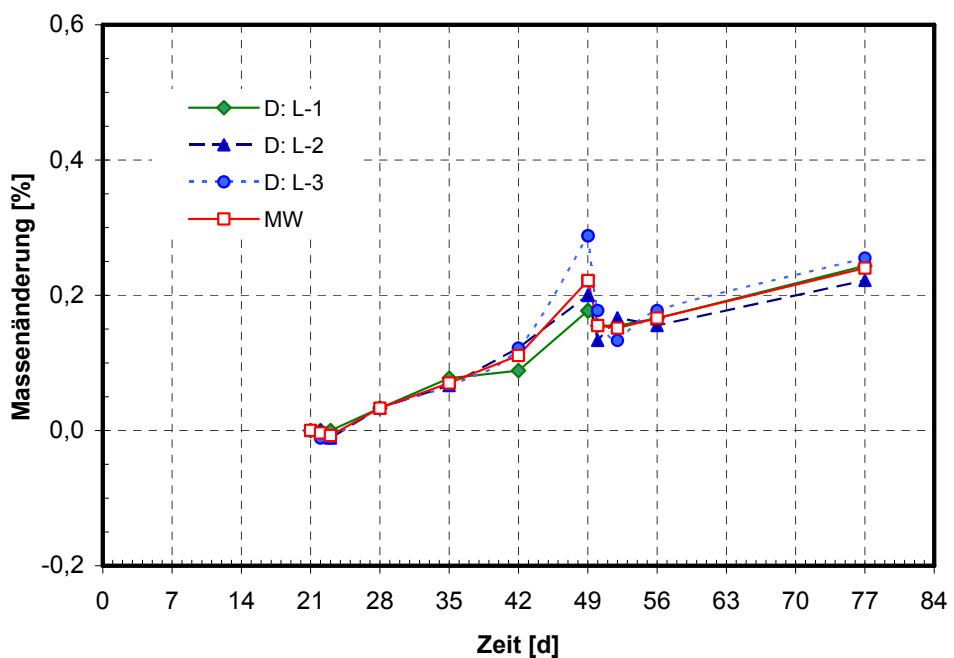


Bild 1: EP-Beschichtung, Einlagerung in Luft (23 °C, 50 % r. F.), Masseänderung

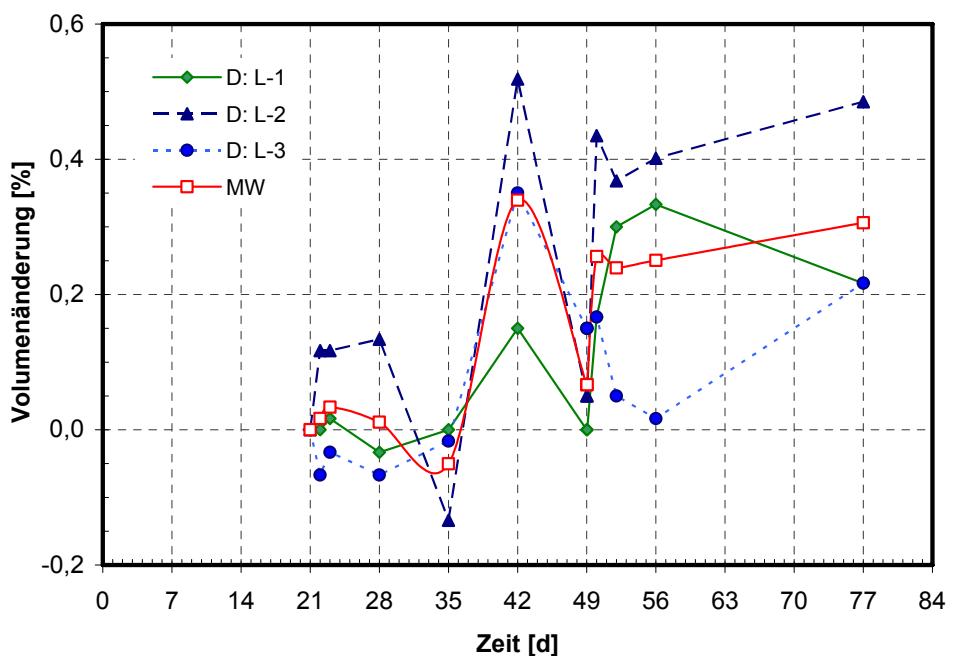


Bild 2: EP-Beschichtung, Einlagerung in Luft (23 °C, 50 % r. F.), Volumenänderung

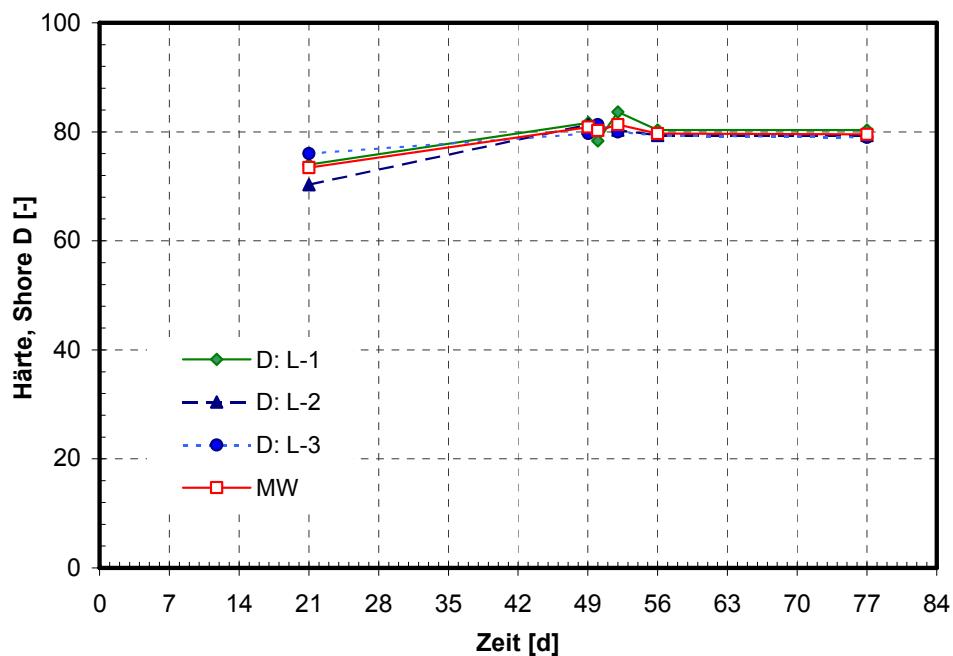


Bild 3: EP-Beschichtung, Einlagerung in Luft (23 °C, 50 % r. F.), Härteänderung (Shore-Einheiten)

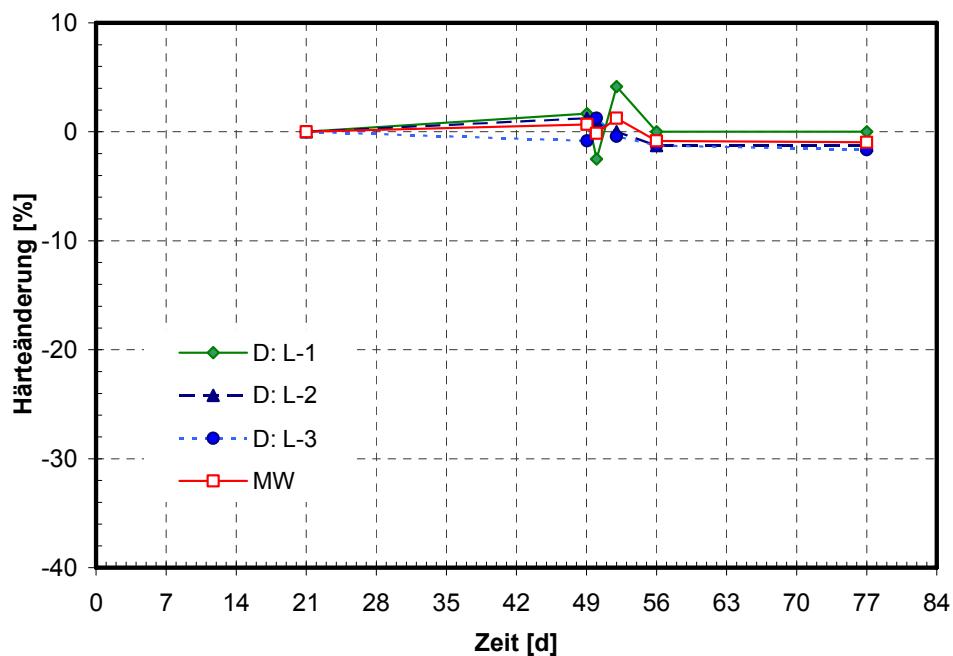


Bild 4: EP-Beschichtung, Einlagerung in Luft (23 °C, 50 % r. F.), Härteänderung, bezogen auf den Mittelwert der Probe

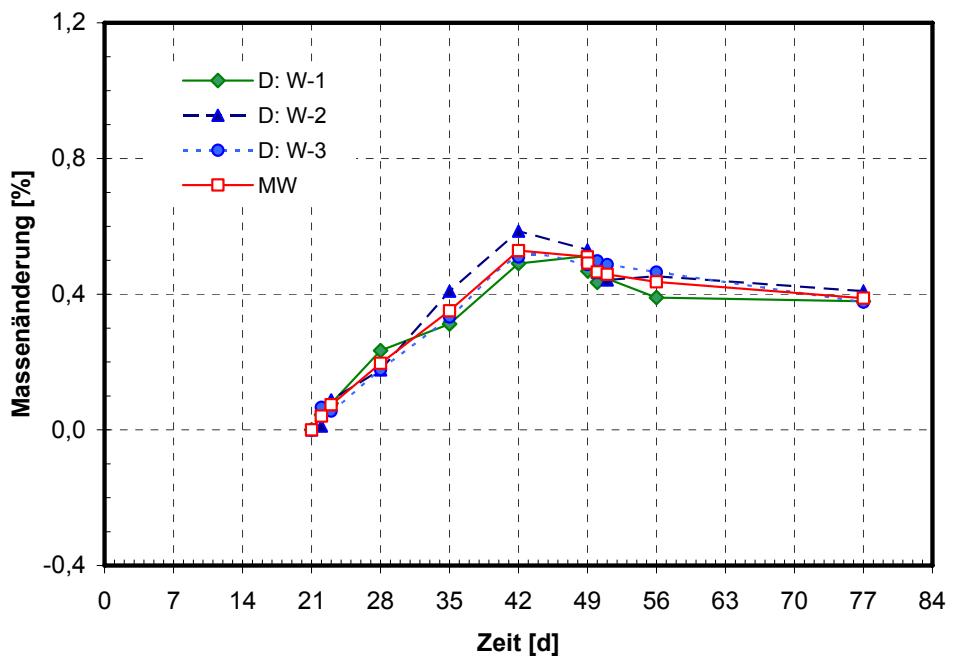


Bild 5: EP-Beschichtung, Einlagerung in Wasser, Masseänderung

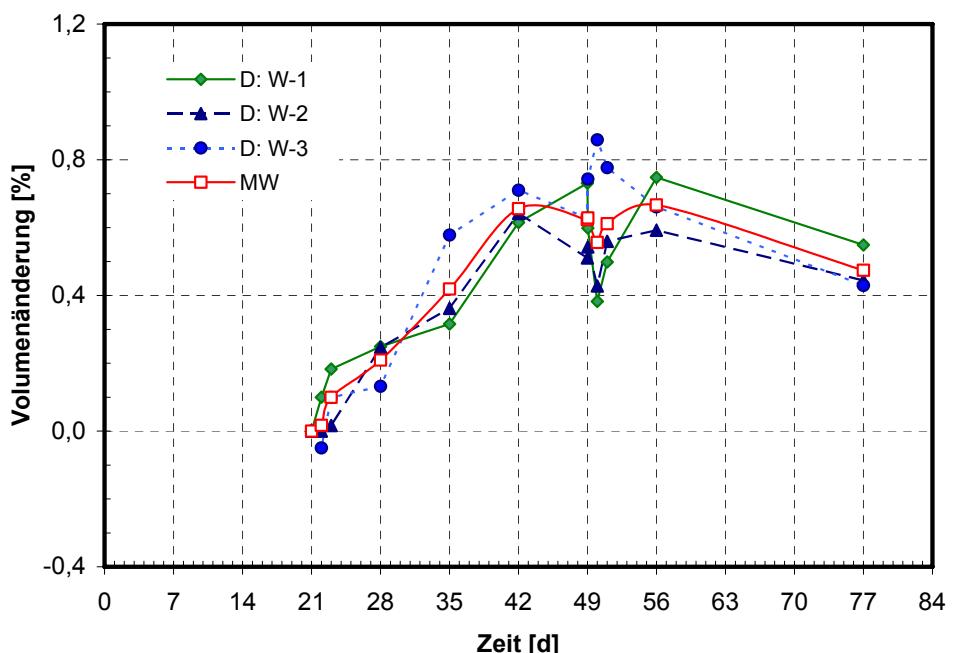


Bild 6: EP-Beschichtung, Einlagerung in Wasser, Volumenänderung

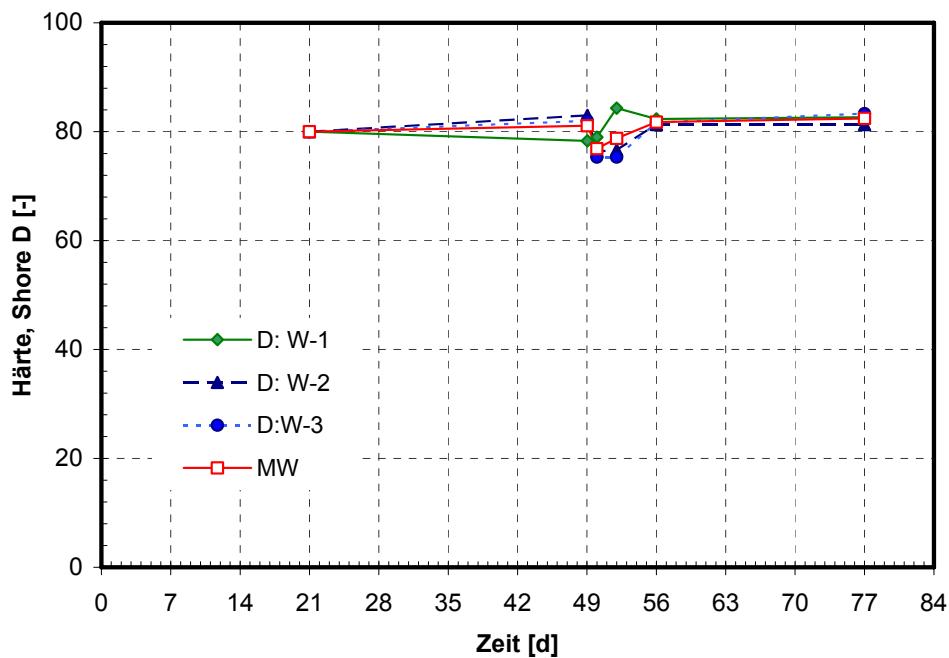


Bild 7: EP-Beschichtung, Einlagerung in Wasser, Härteänderung (Shore-Einheiten)

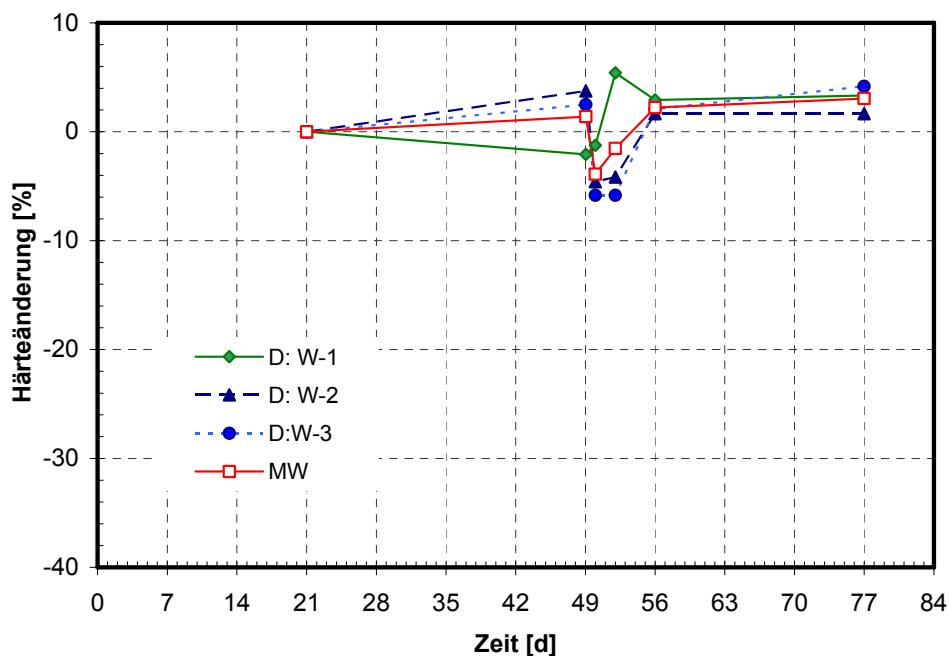


Bild 8: EP-Beschichtung, Einlagerung in Wasser, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

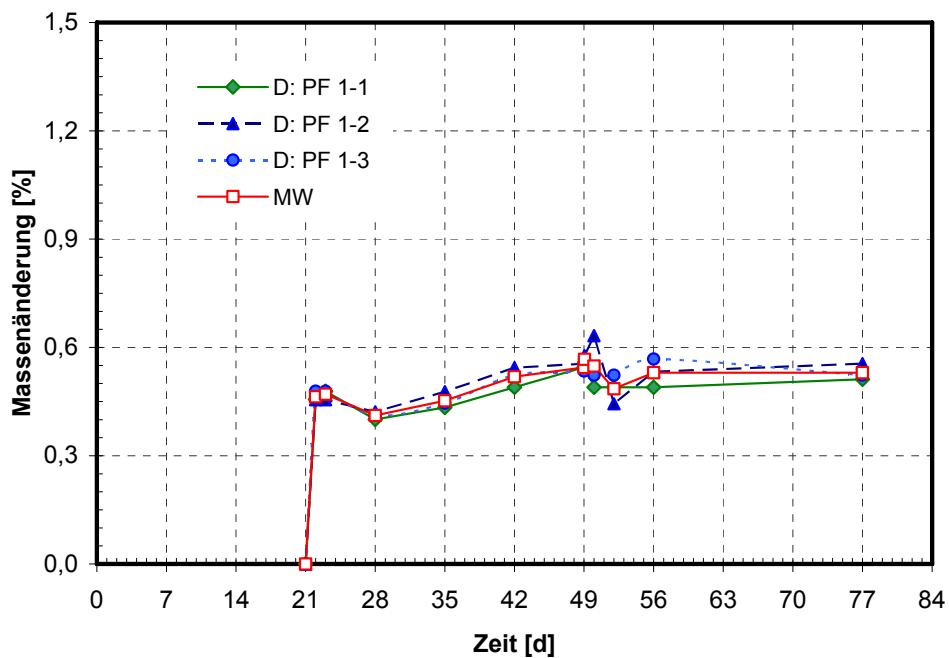


Bild 9: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 1, Masseänderung

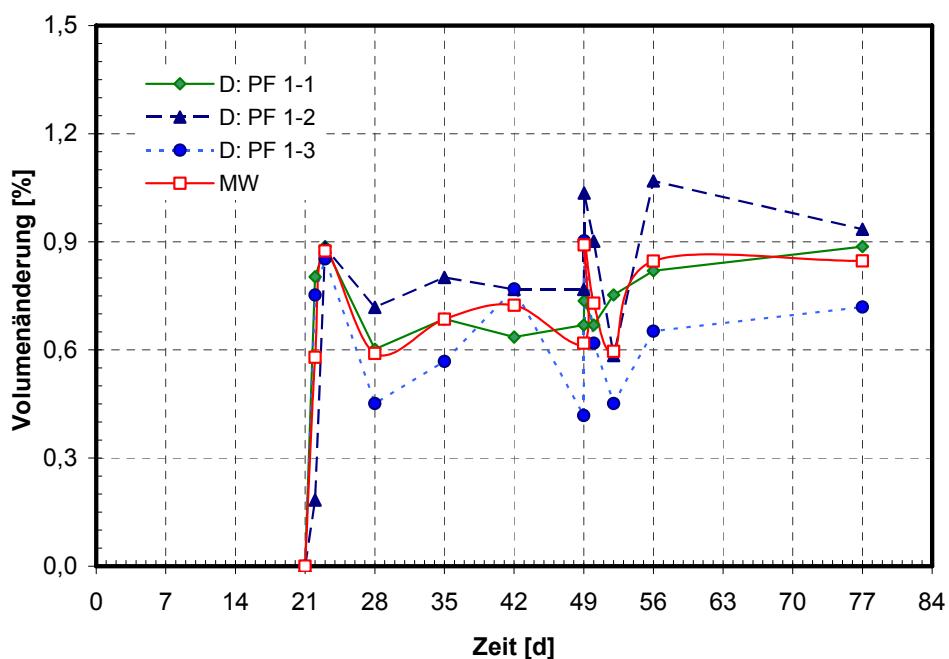


Bild 10: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 1, Volumenänderung

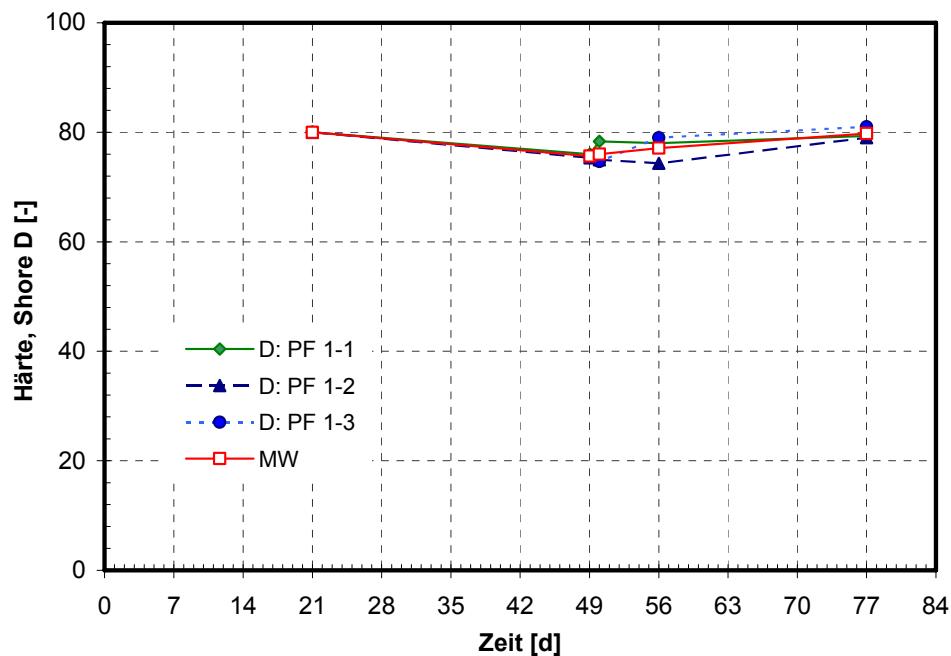


Bild 11: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 1, Härteänderung (Shore-Einheiten)

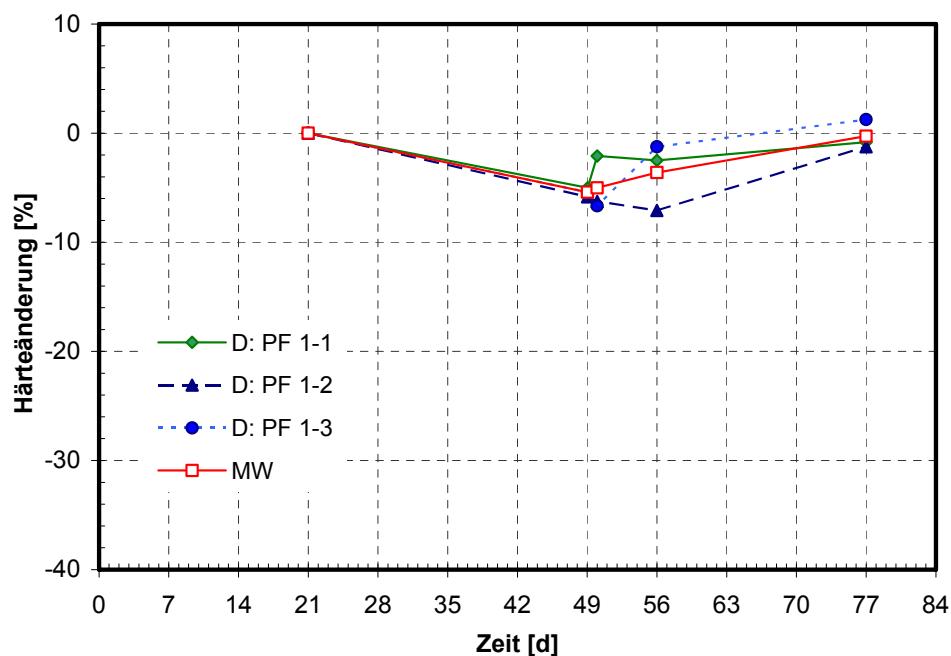


Bild 12: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 1, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

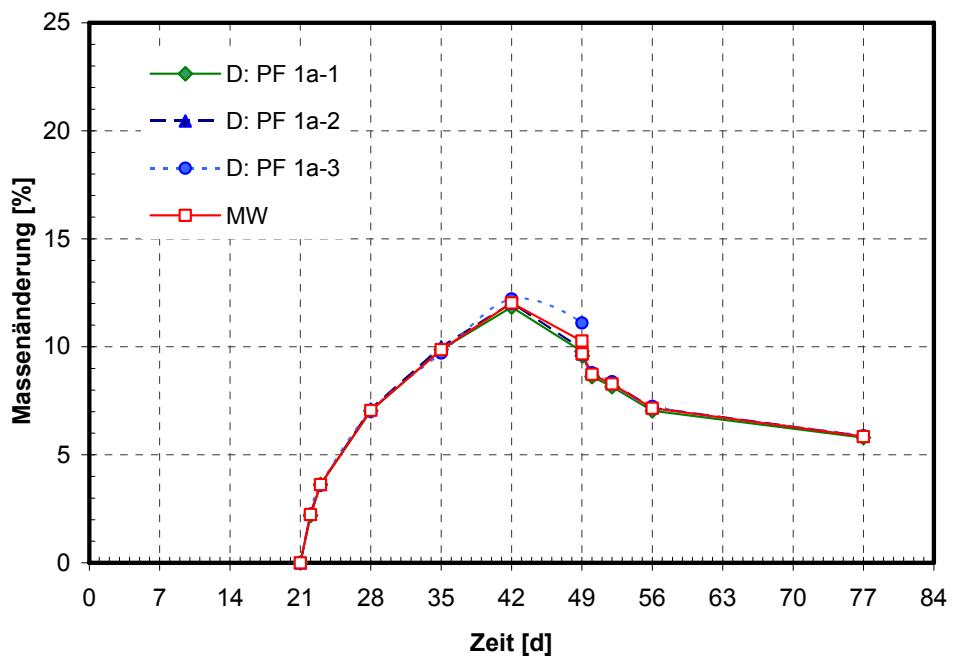


Bild 13: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 1a, Masseänderung

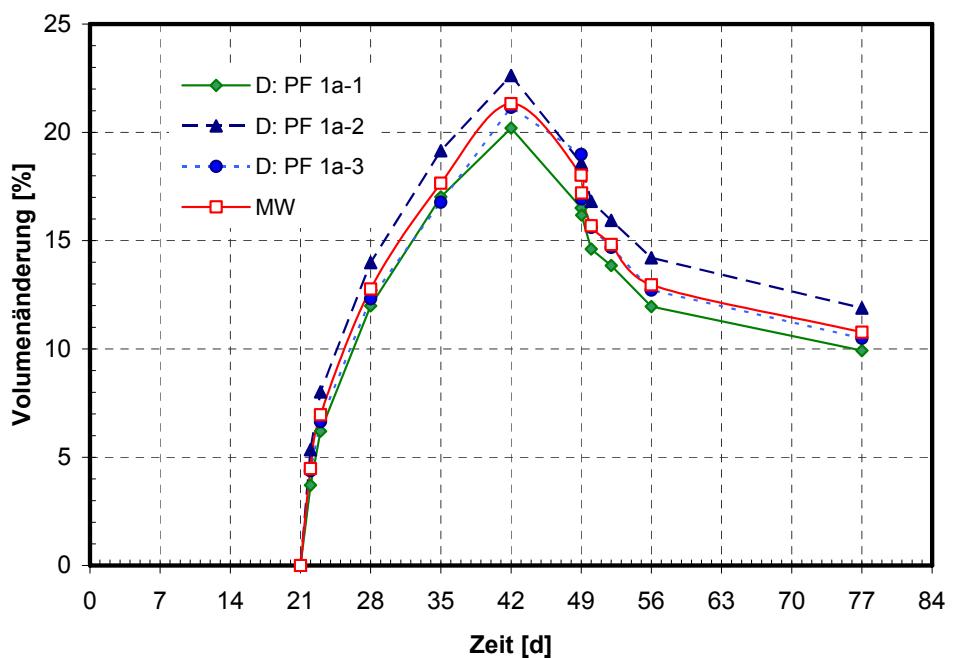


Bild 14: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 1a, Volumenänderung

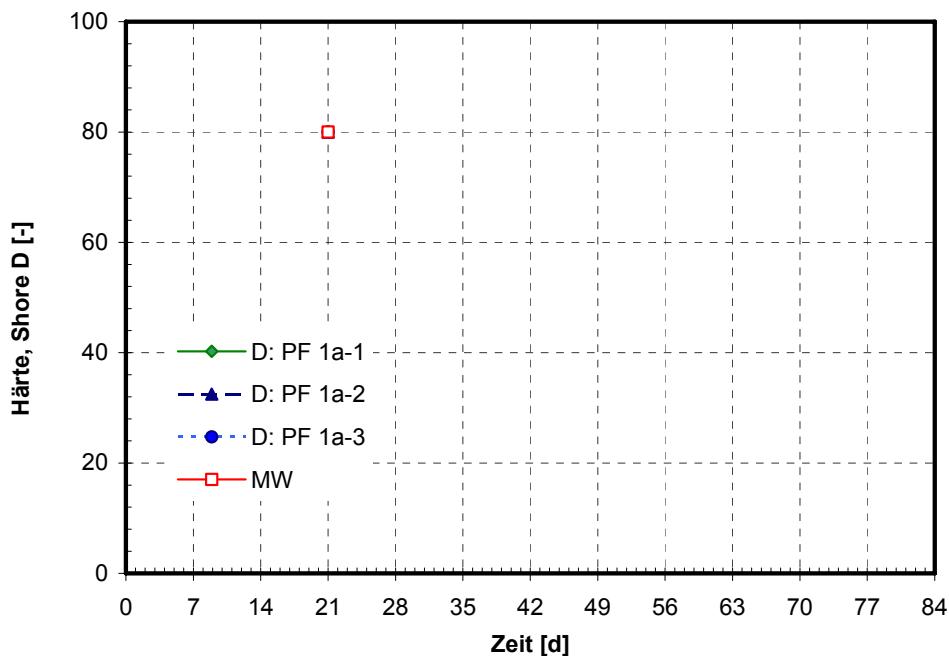


Bild 15: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 1a, Härteänderung (Shore-Einheiten)
Probe 1, 2, 3: Wölbungen und Risse, keine Messung

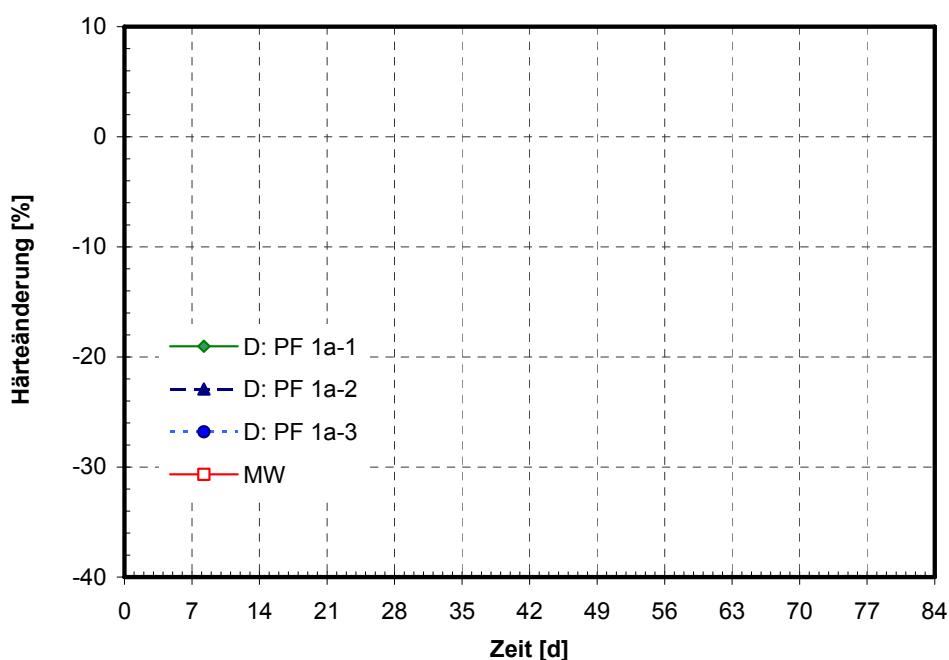


Bild 16: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 1a, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F.
gelagerte Probe
Probe 1, 2, 3: Wölbungen und Risse, keine Messung

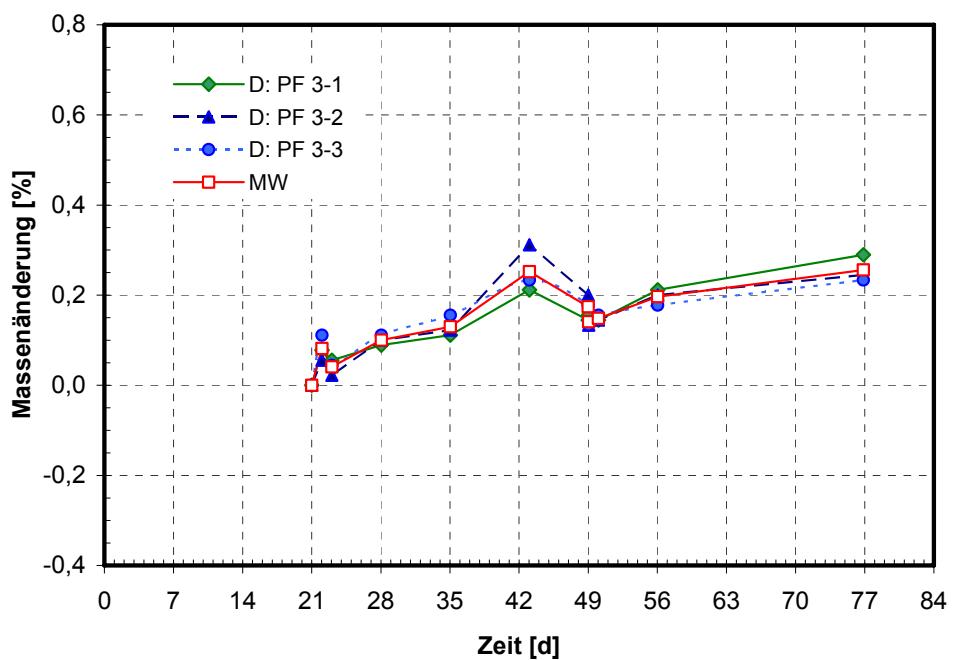


Bild 17: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 3, Masseänderung

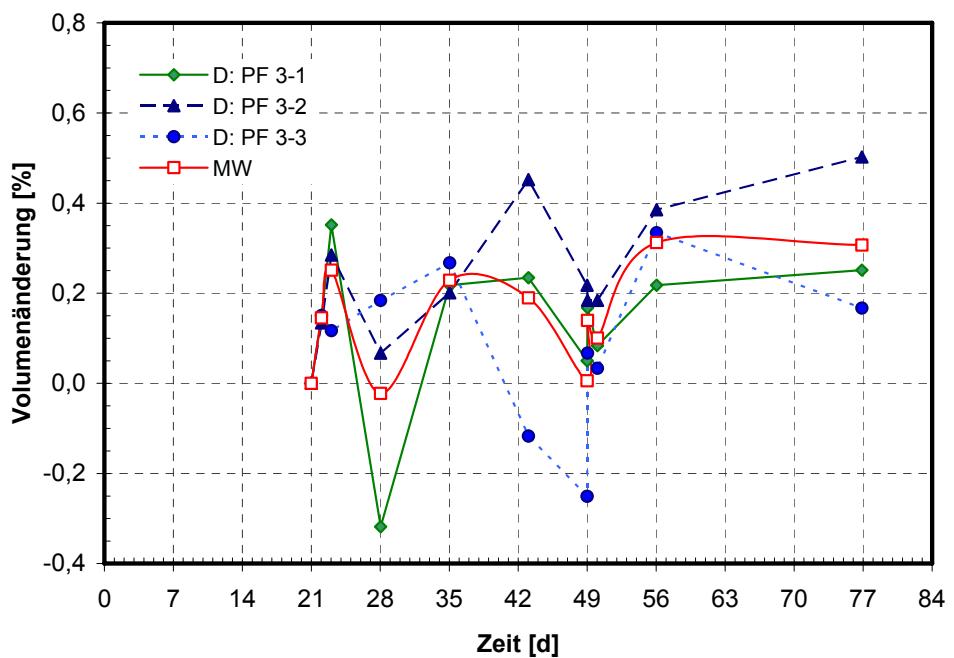


Bild 18: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 3, Volumenänderung

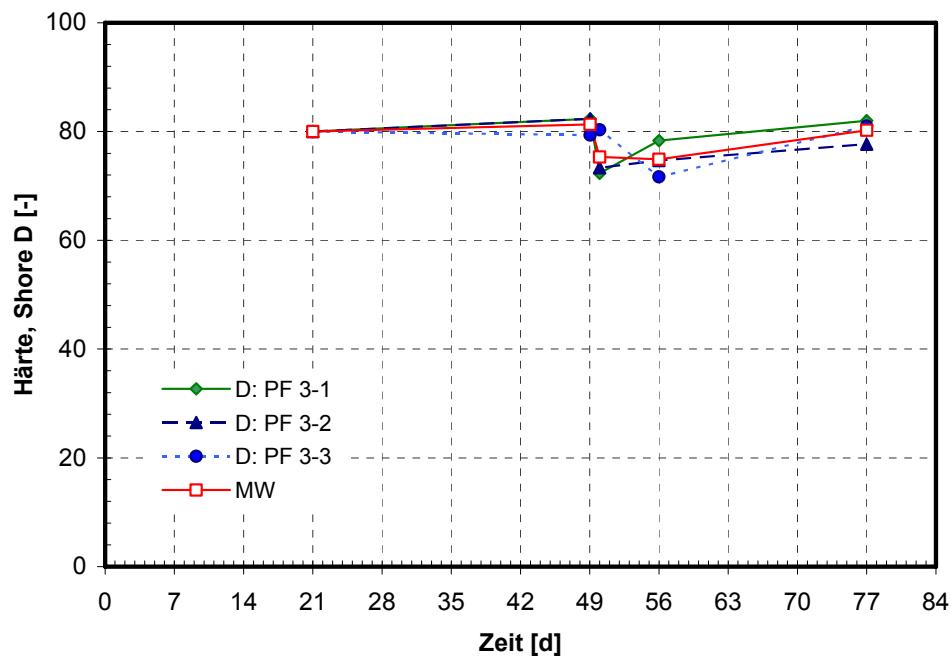


Bild 19: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 3, Härteänderung (Shore-Einheiten)

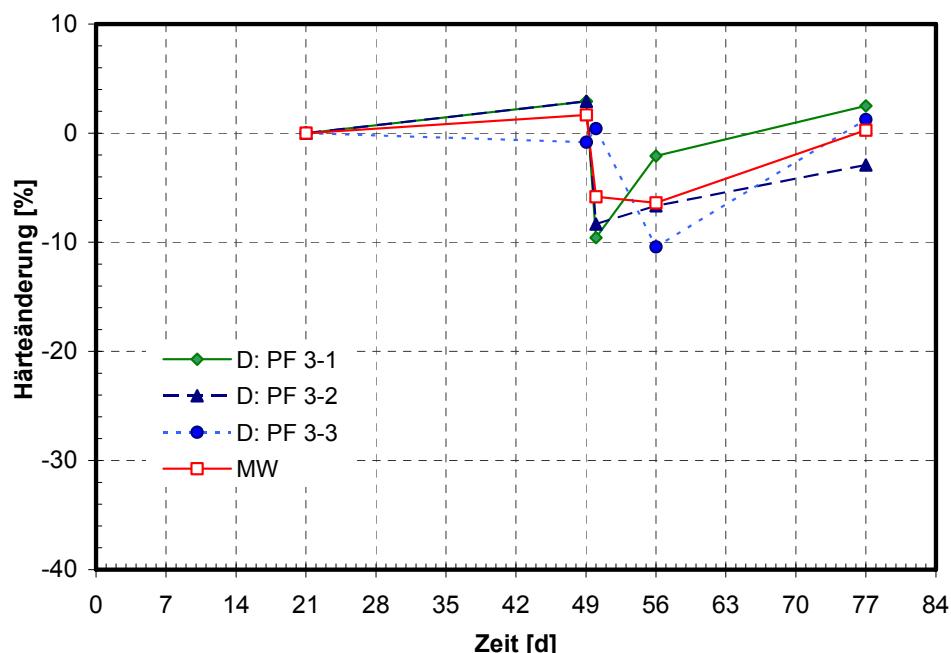


Bild 20: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 3, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

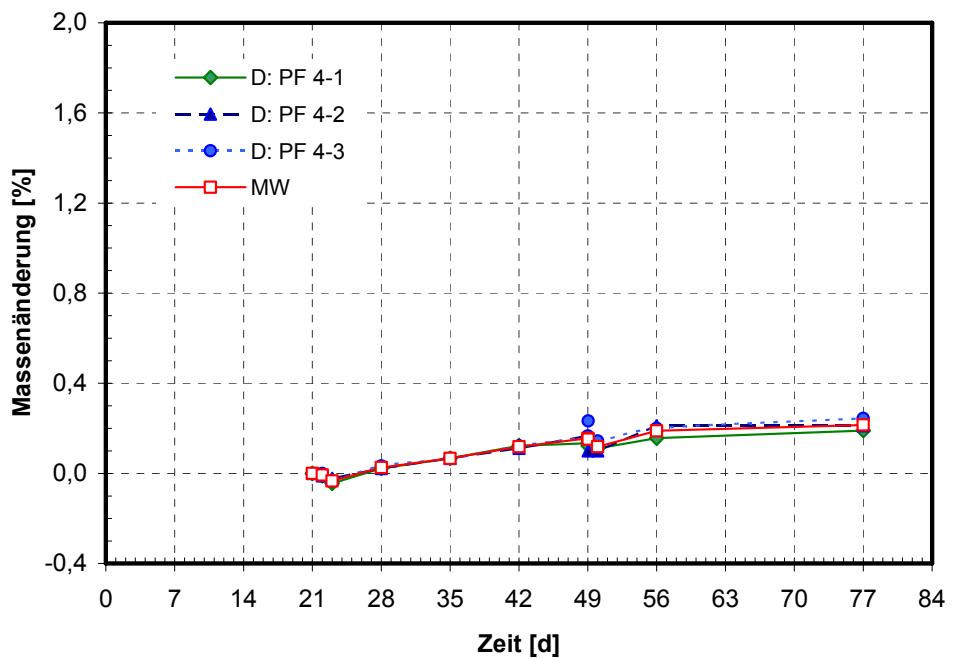


Bild 21: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 4, Masseänderung

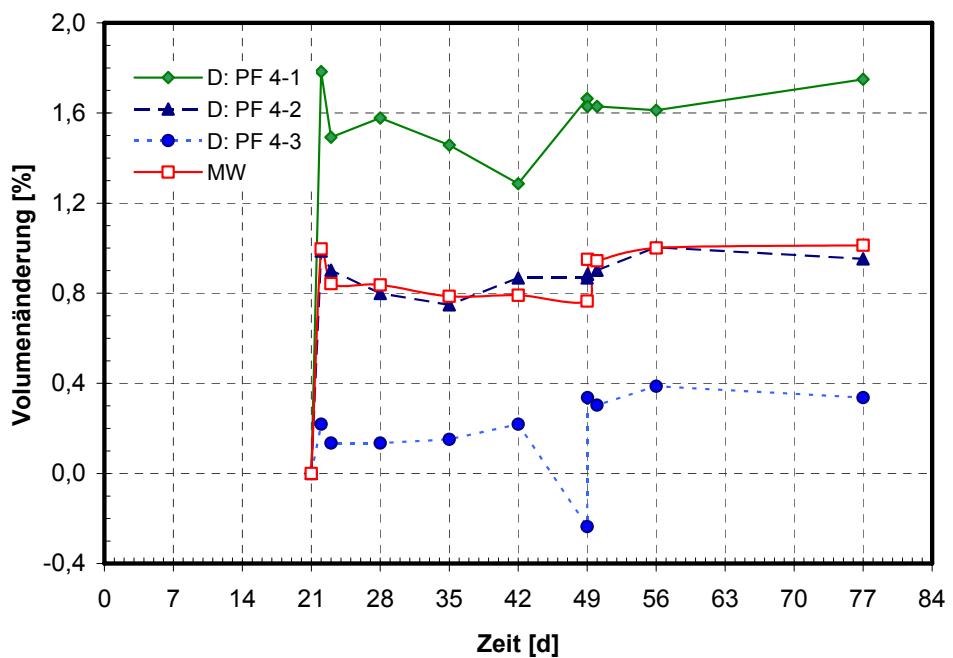


Bild 22: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 4, Volumenänderung

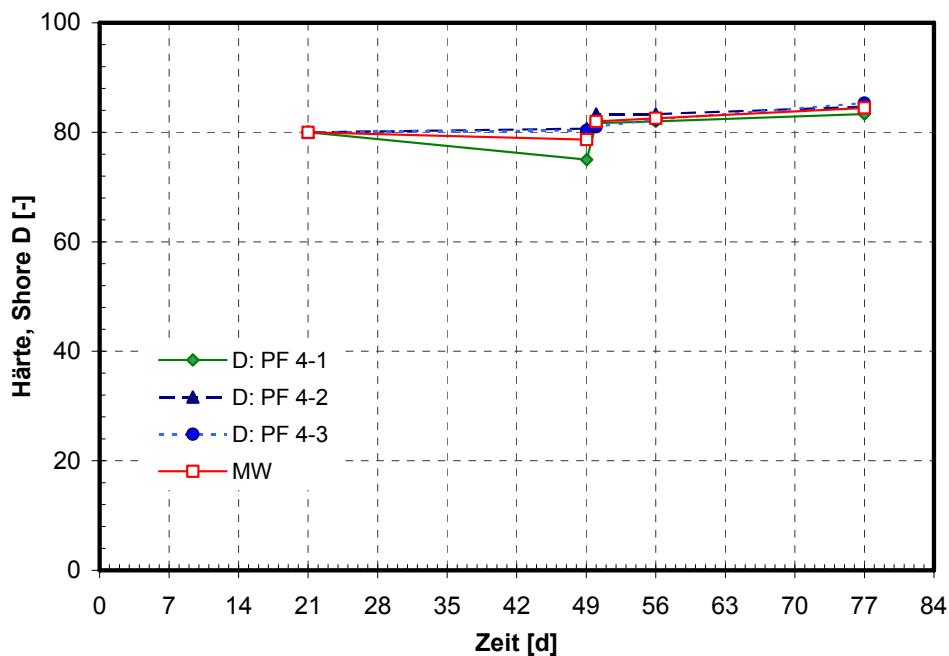


Bild 23: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 4, Härteänderung (Shore-Einheiten)

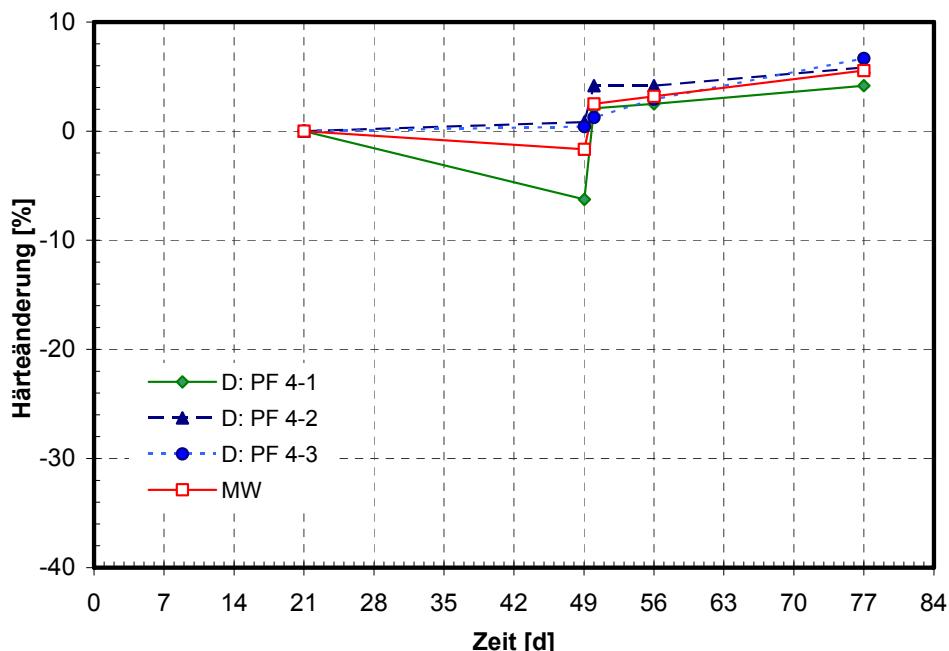


Bild 24: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 4, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

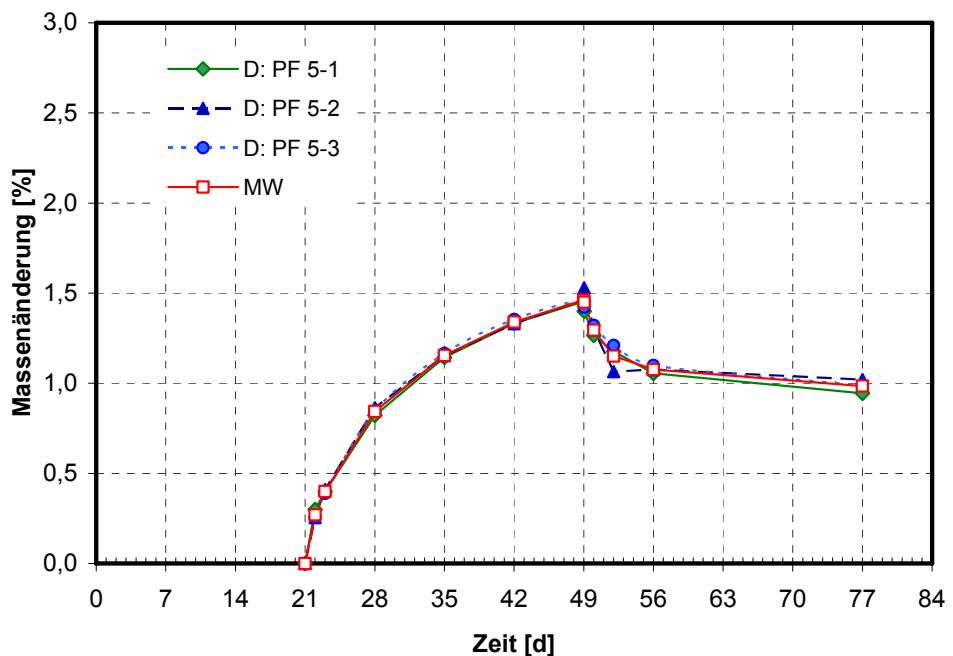


Bild 25: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 5, Masseänderung

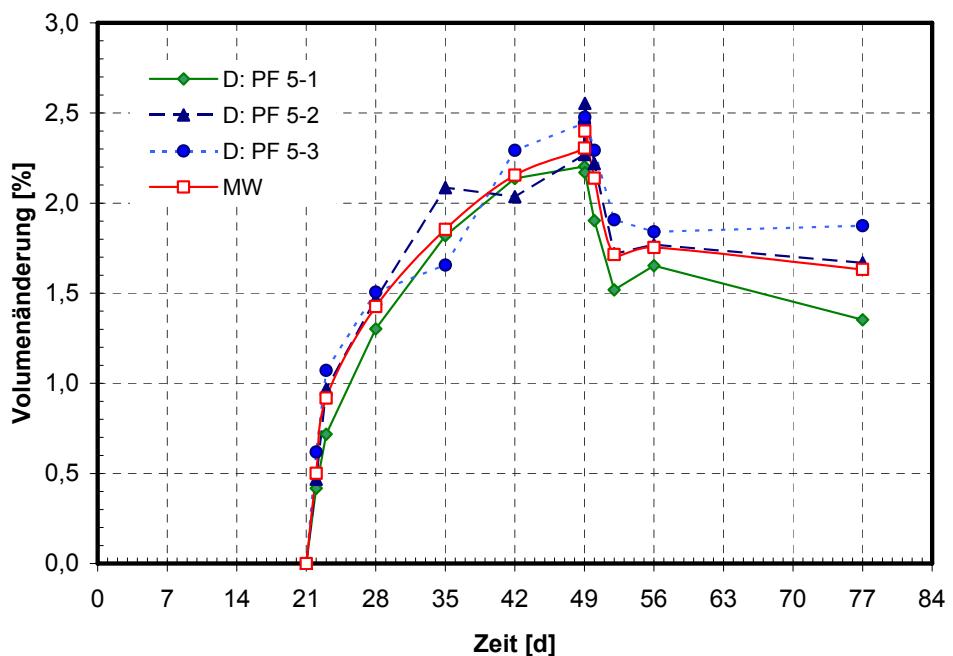


Bild 26: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 5, Volumenänderung

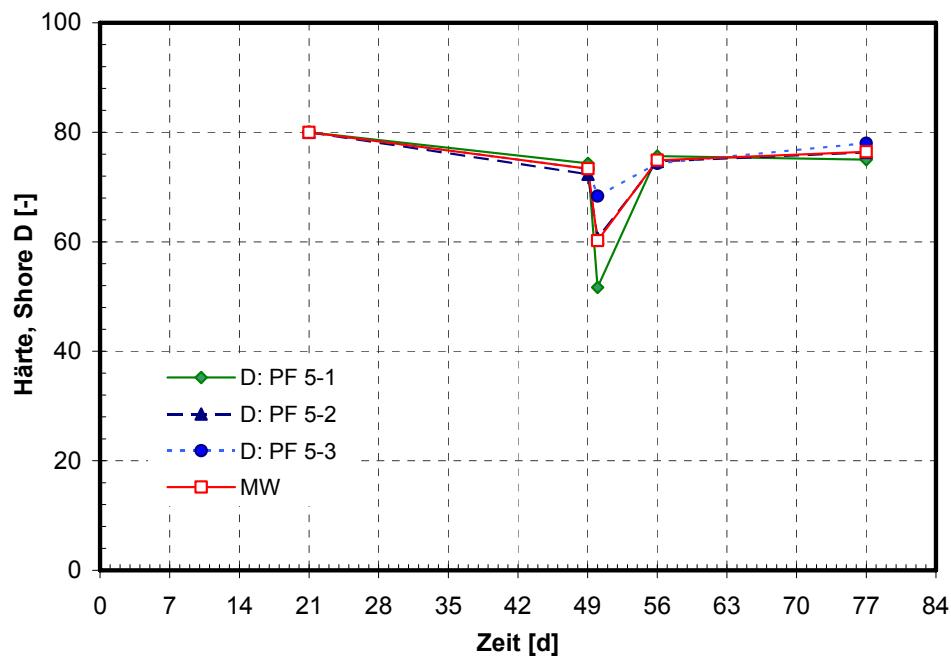


Bild 27: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 5, Härteänderung (Shore-Einheiten)

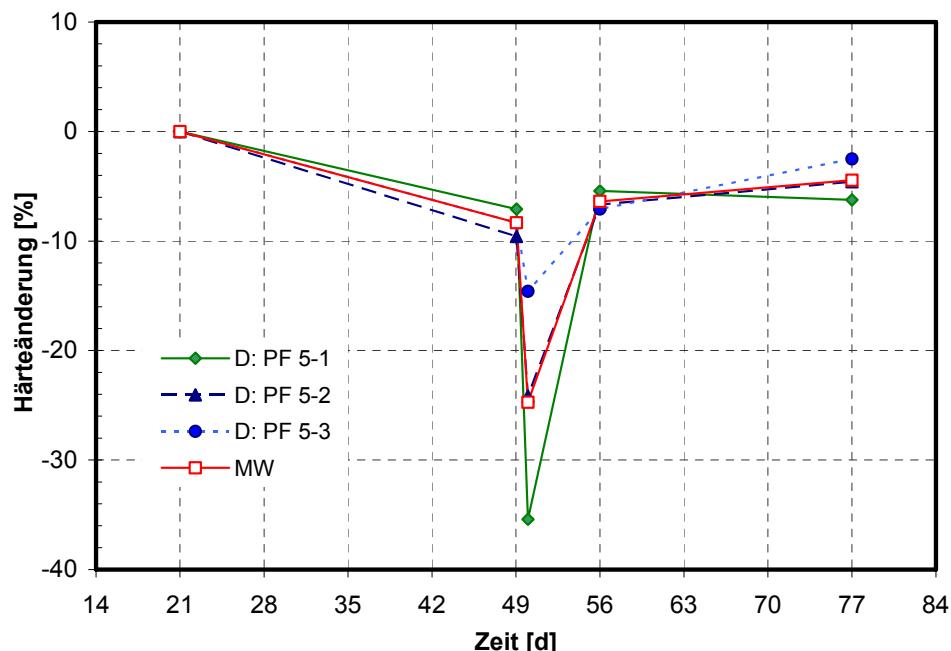


Bild 28: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 5, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

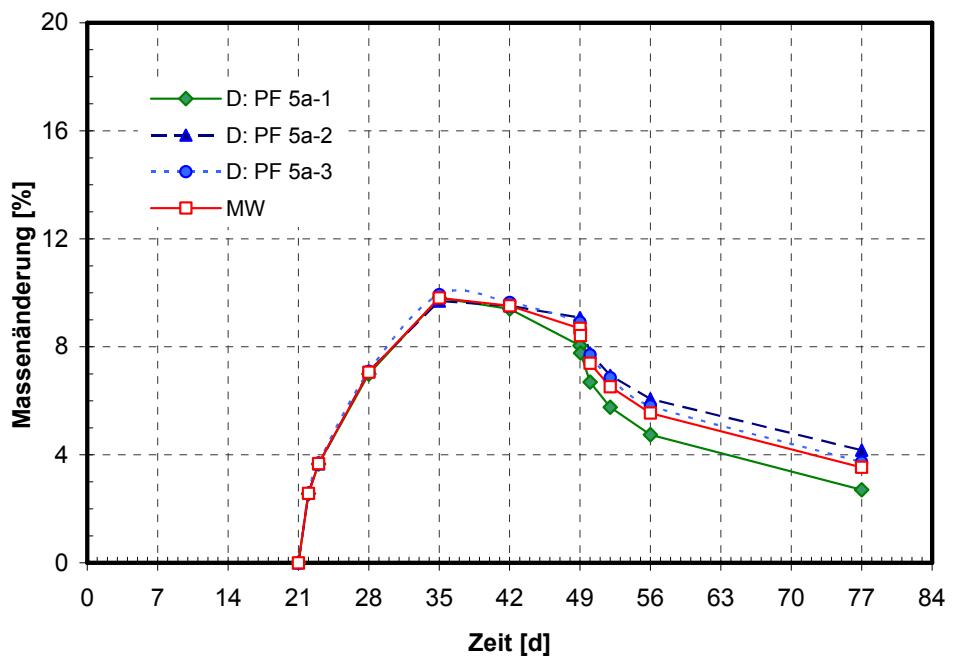


Bild 29: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 5a, Masseänderung

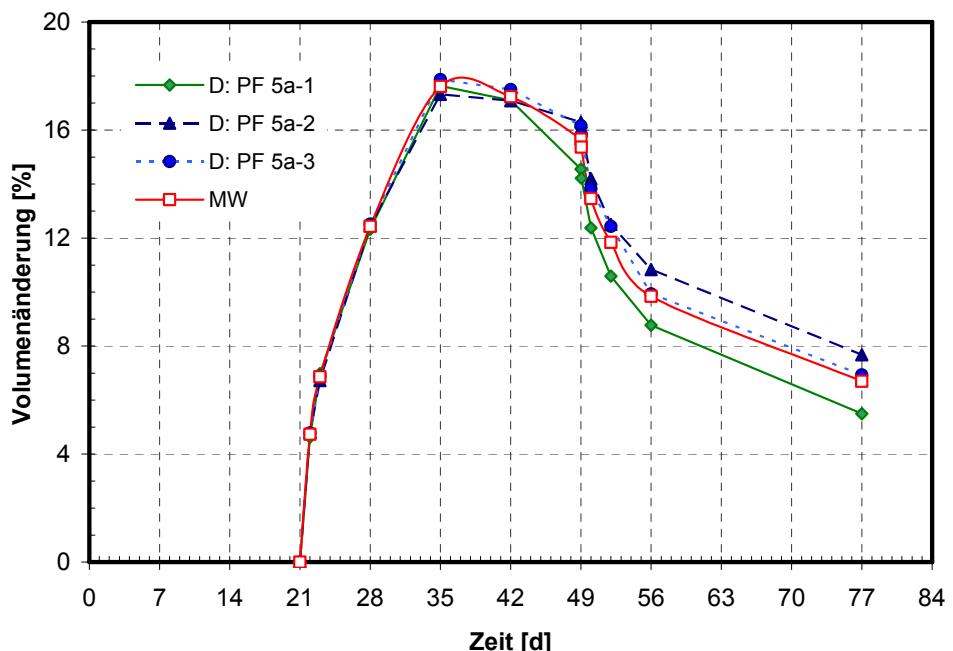


Bild 30: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 5a, Volumenänderung

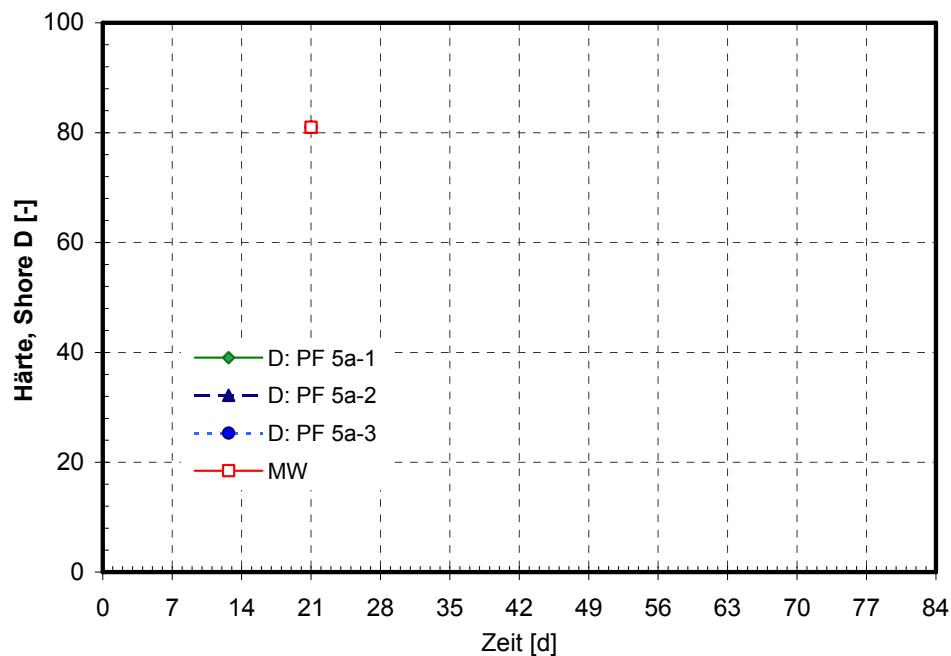


Bild 31: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 5a, Härteänderung (Shore-Einheiten)
Probe 1, 2, 3: Wölbungen und Risse, keine Messung

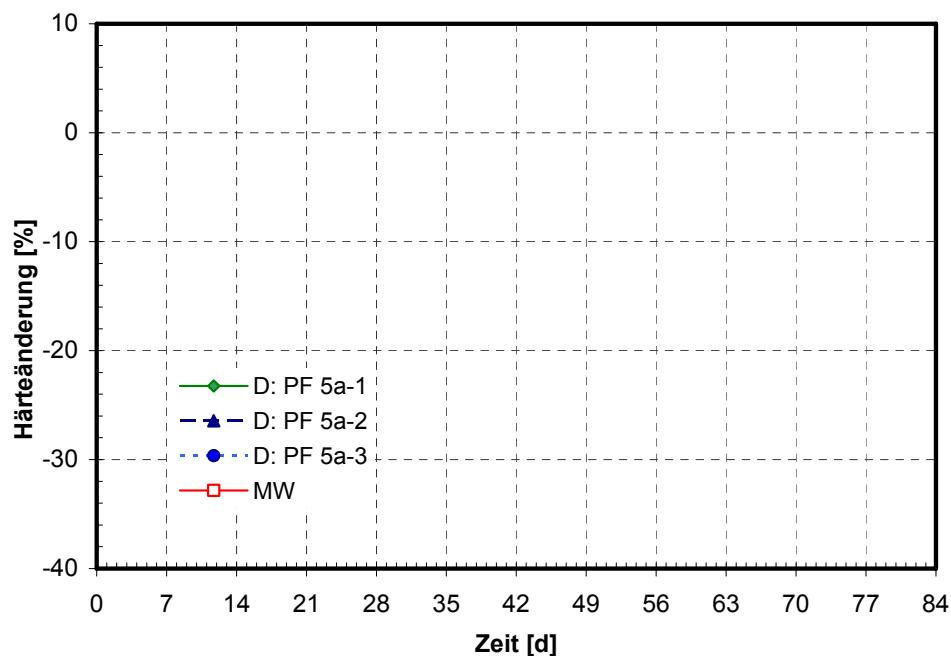


Bild 32: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 5a, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F.
gelagerte Probe
Probe 1, 2, 3: Wölbungen und Risse, keine Messung

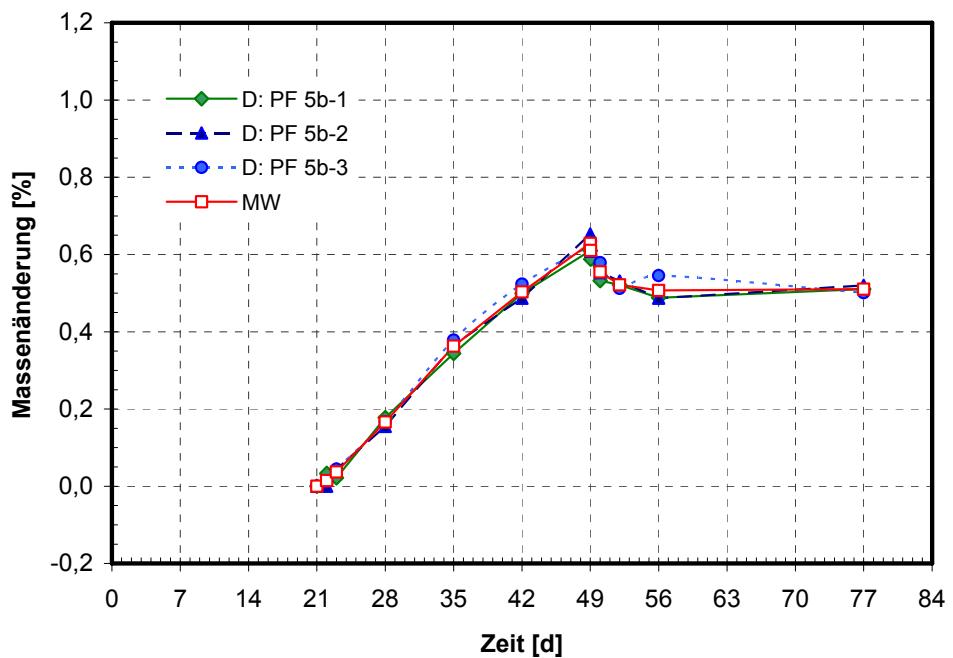


Bild 33: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 5b, Masseänderung

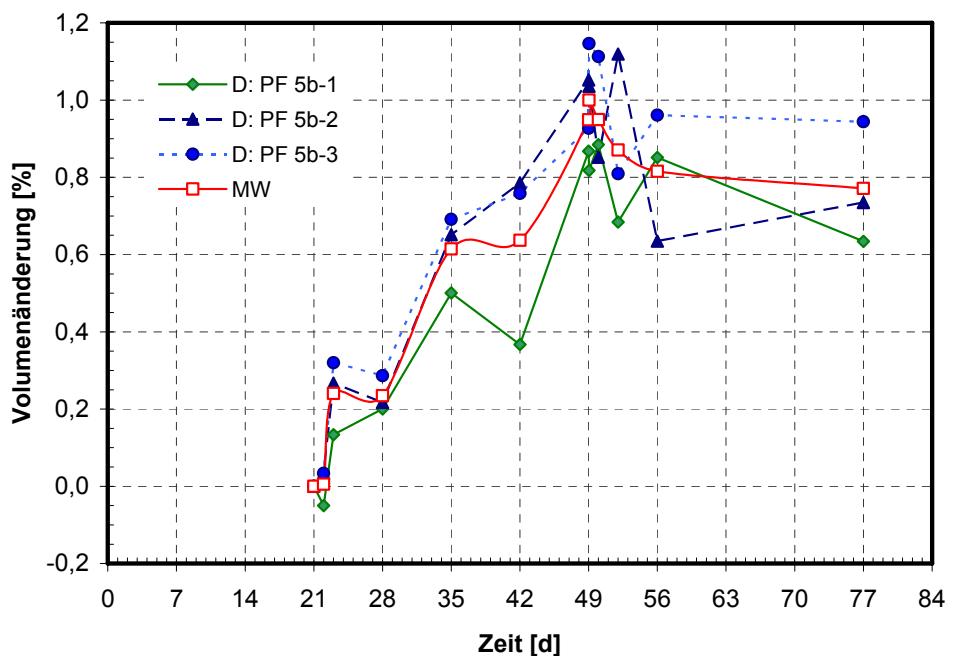


Bild 34: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 5b, Volumenänderung

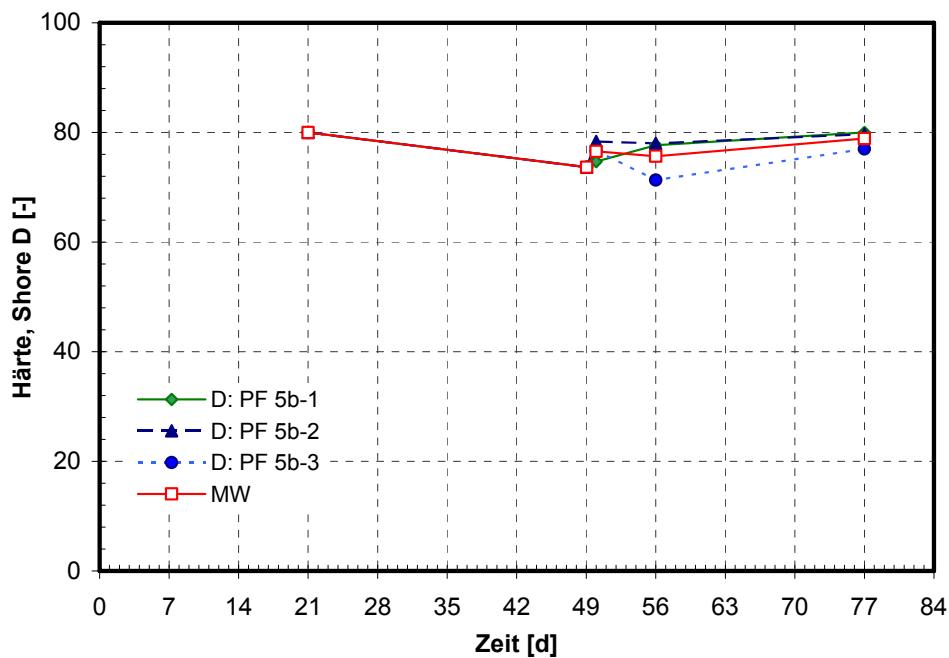


Bild 35: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 5b, Härteänderung (Shore-Einheiten)

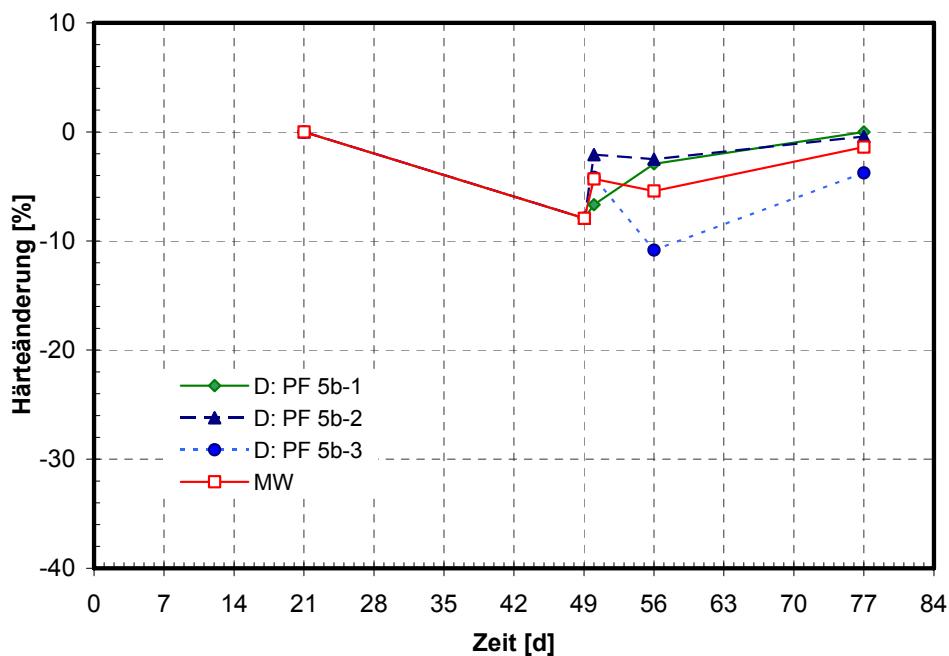


Bild 36: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 5b, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

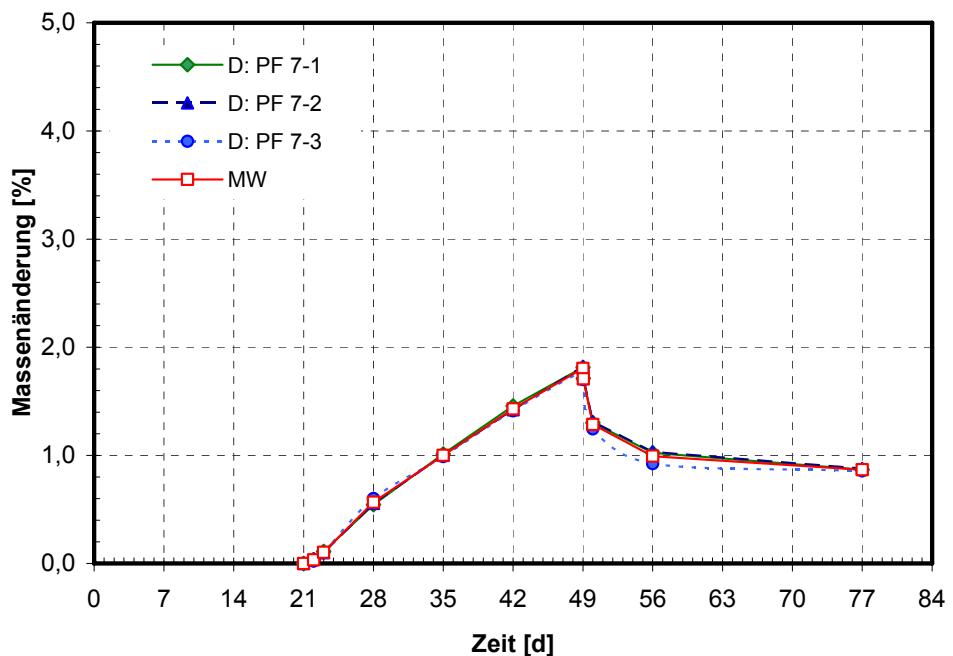


Bild 37: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 7, Masseänderung

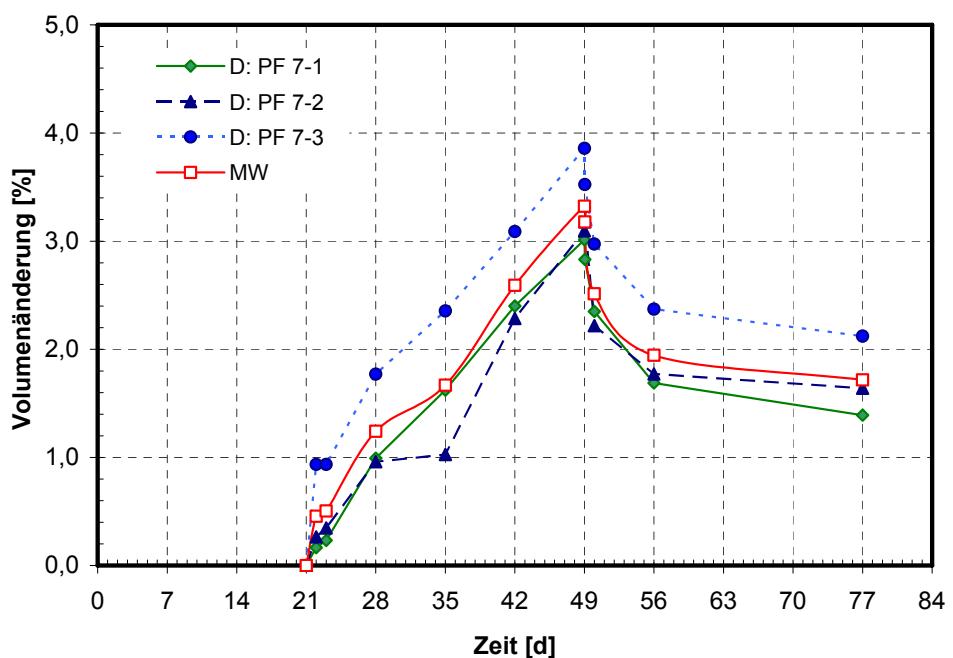


Bild 38: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 7, Volumenänderung

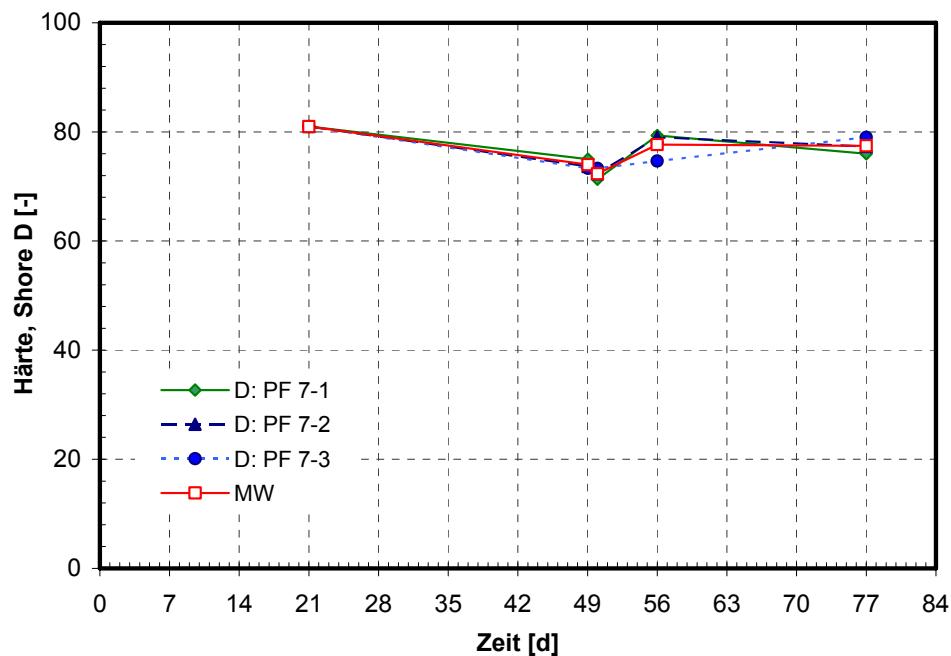


Bild 39: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 7, Härteänderung (Shore-Einheiten)

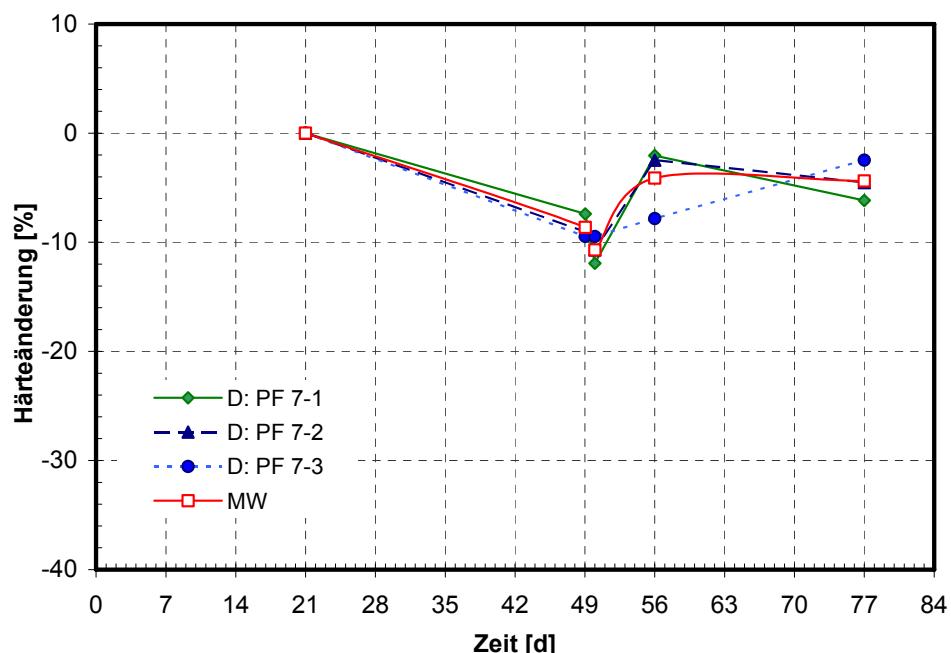


Bild 40: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 7, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

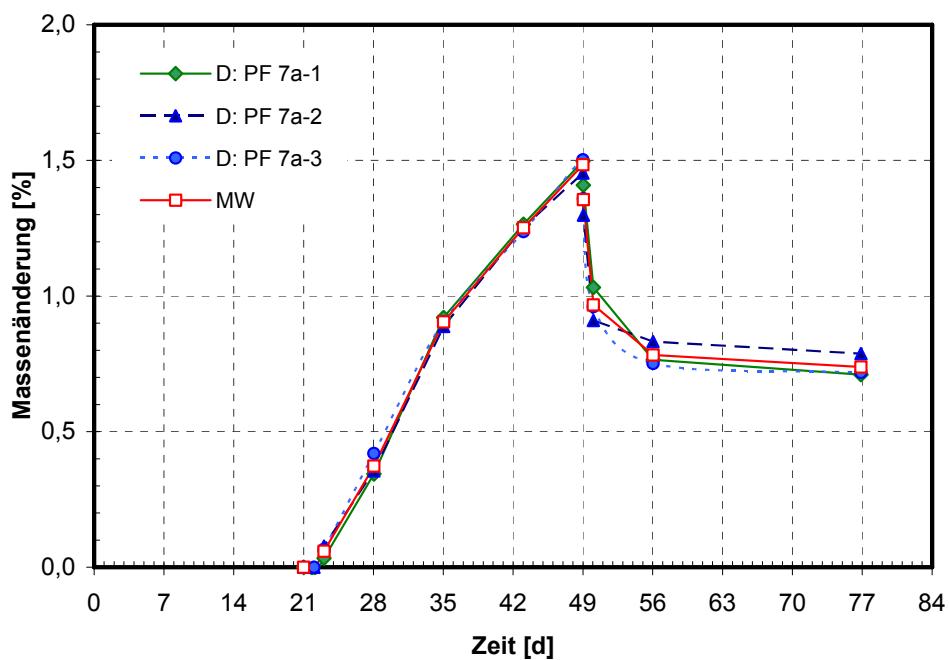


Bild 41: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 7a, Masseänderung

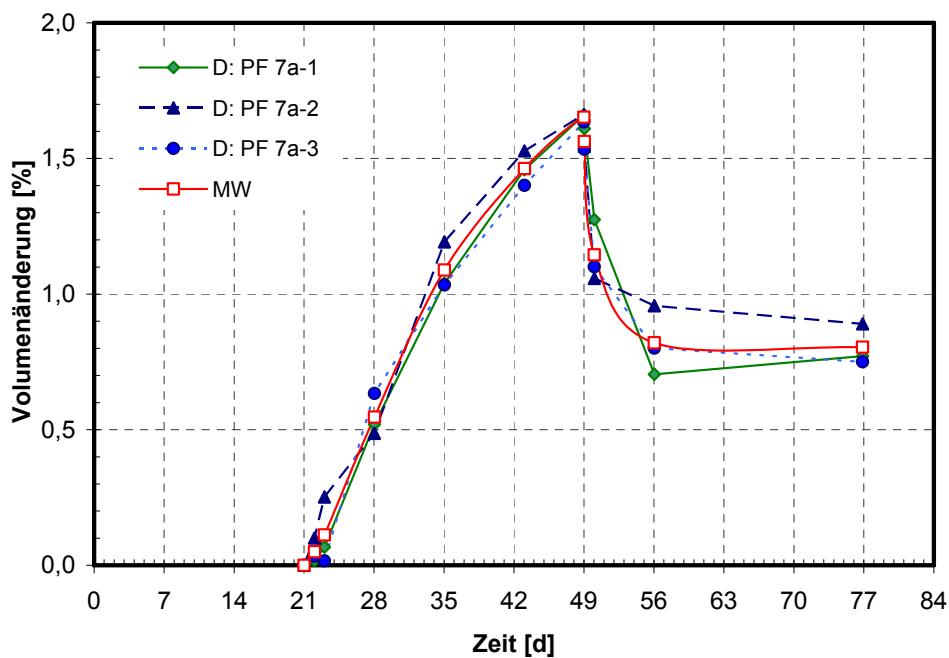


Bild 42: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 7a, Volumenänderung

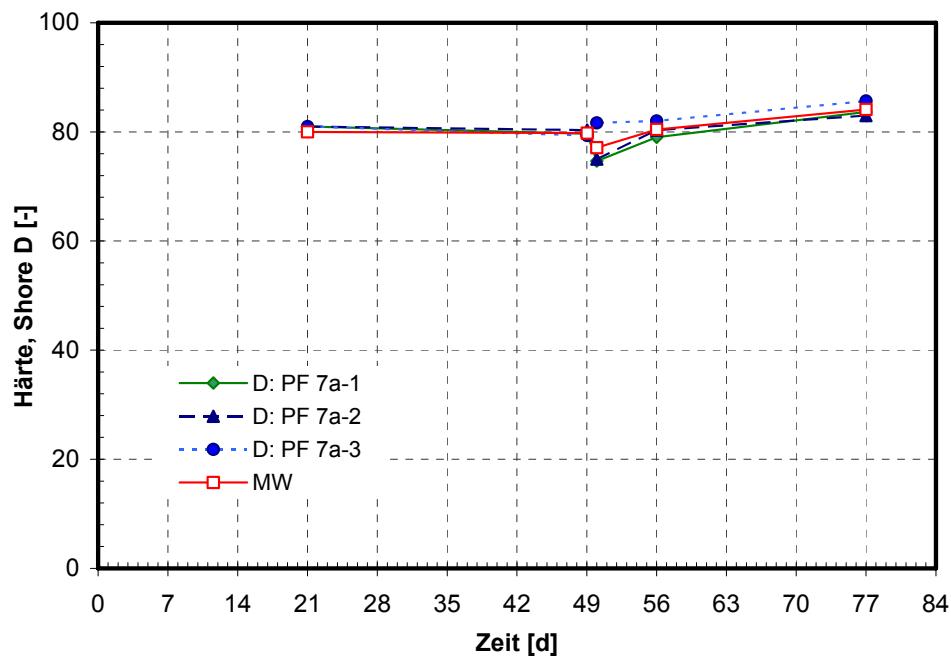


Bild 43: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 7a, Härteänderung (Shore-Einheiten)

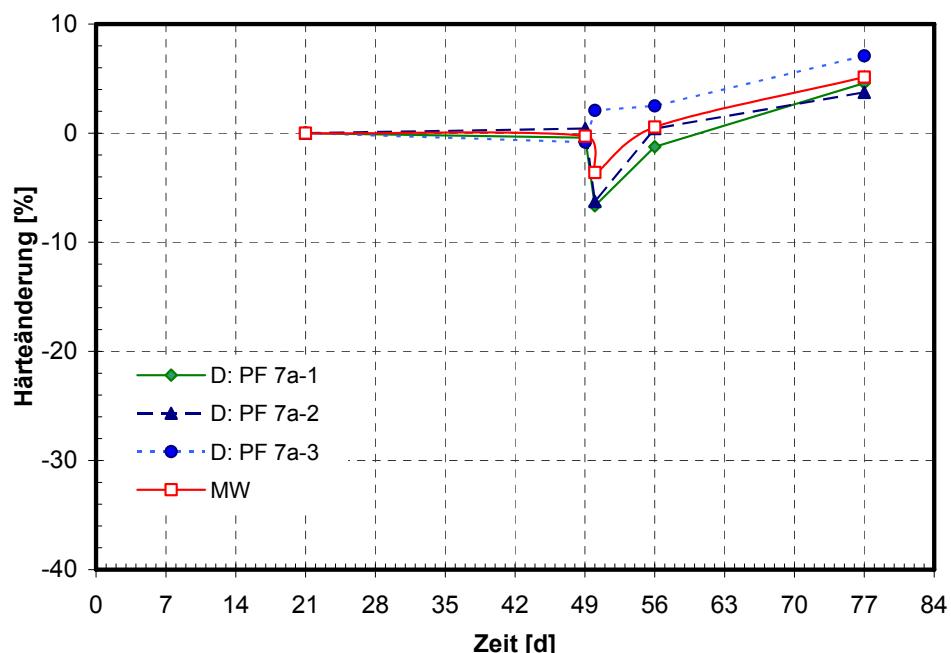


Bild 44: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF 7a, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

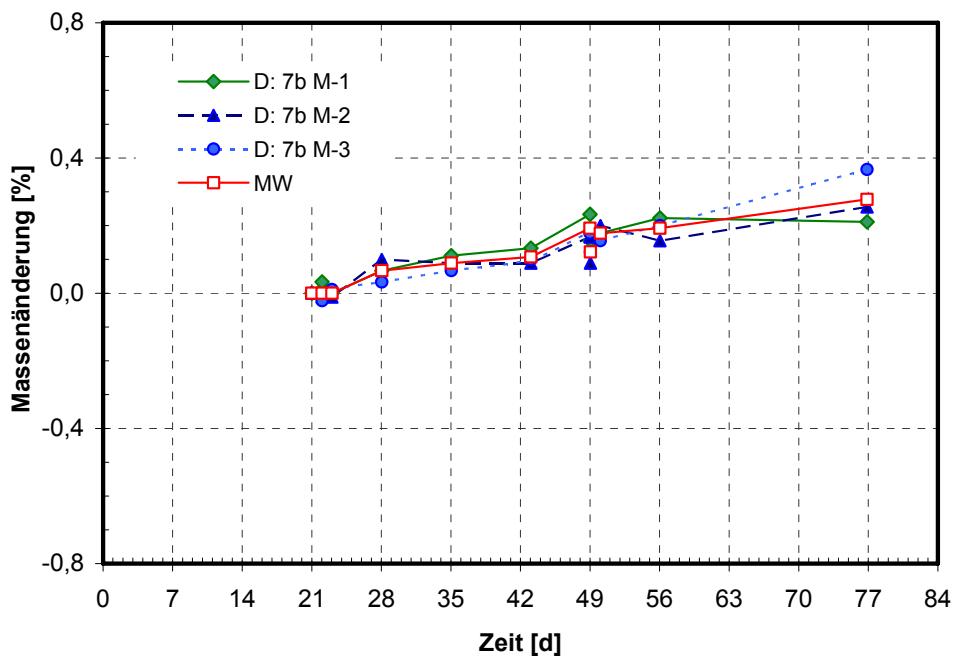


Bild 45: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b M, Masseänderung

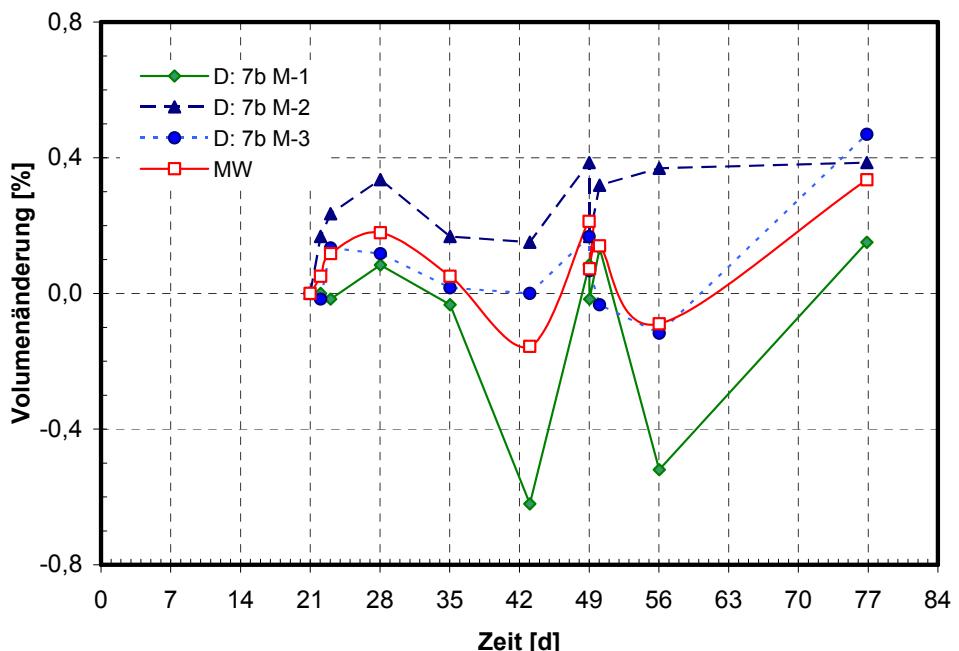


Bild 46: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b M, Volumenänderung

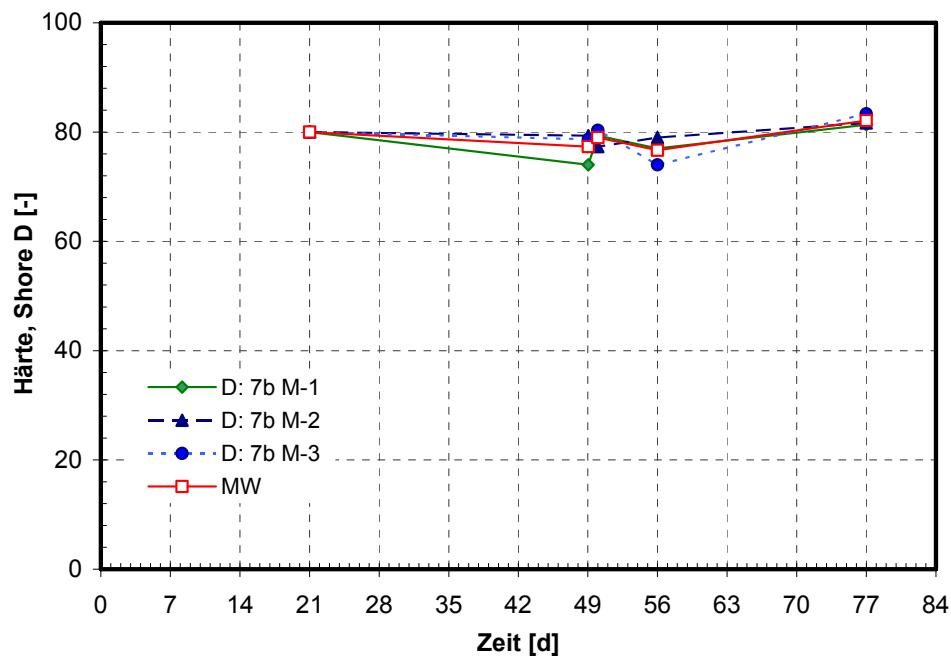


Bild 47: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b M, Härteänderung (Shore-Einheiten)

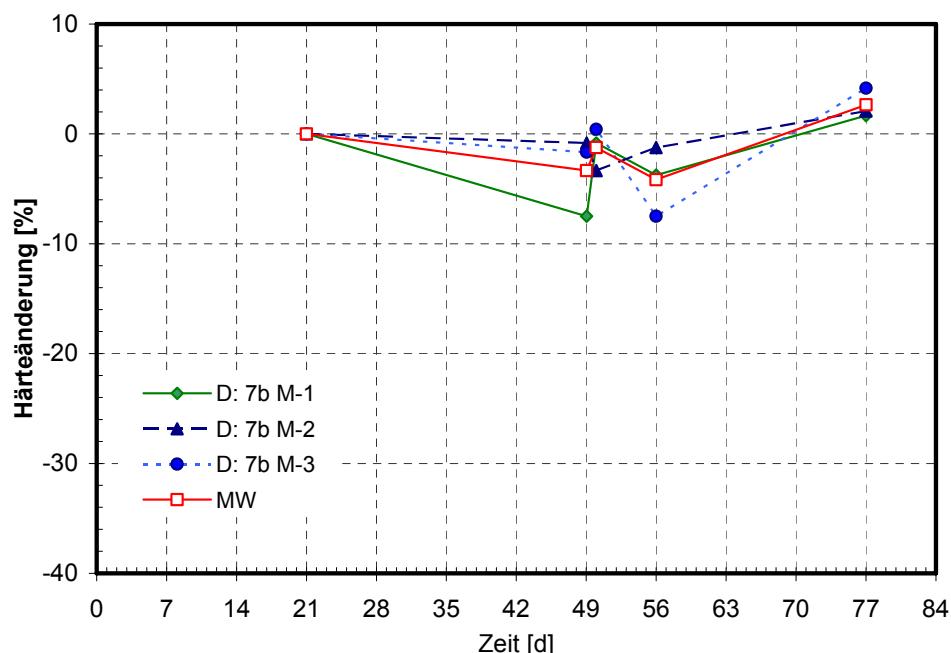


Bild 48: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b M, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

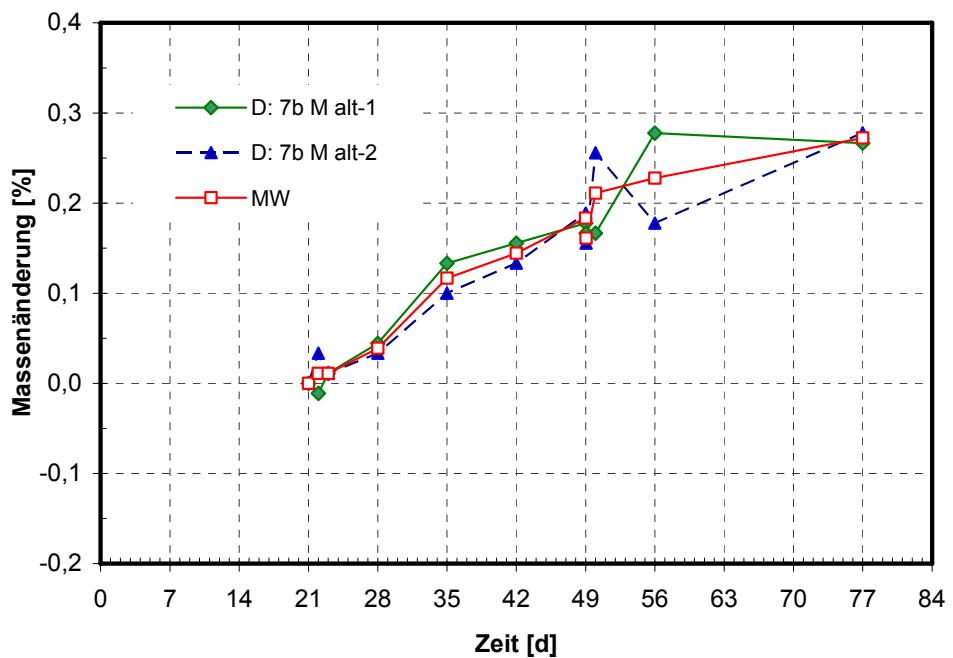


Bild 49: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b M alt, Masseänderung

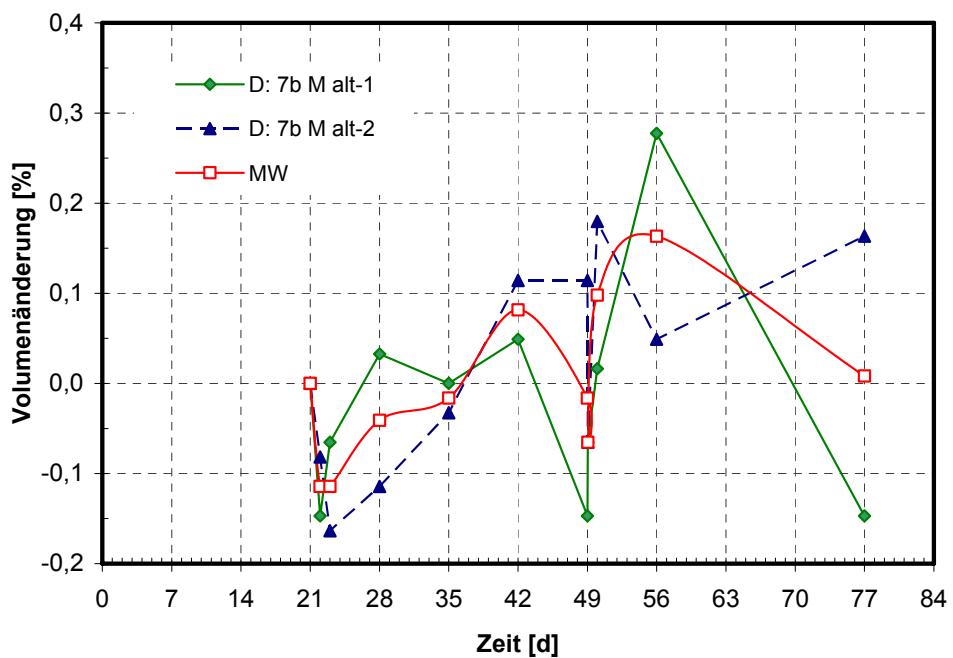


Bild 50: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b M alt, Volumenänderung

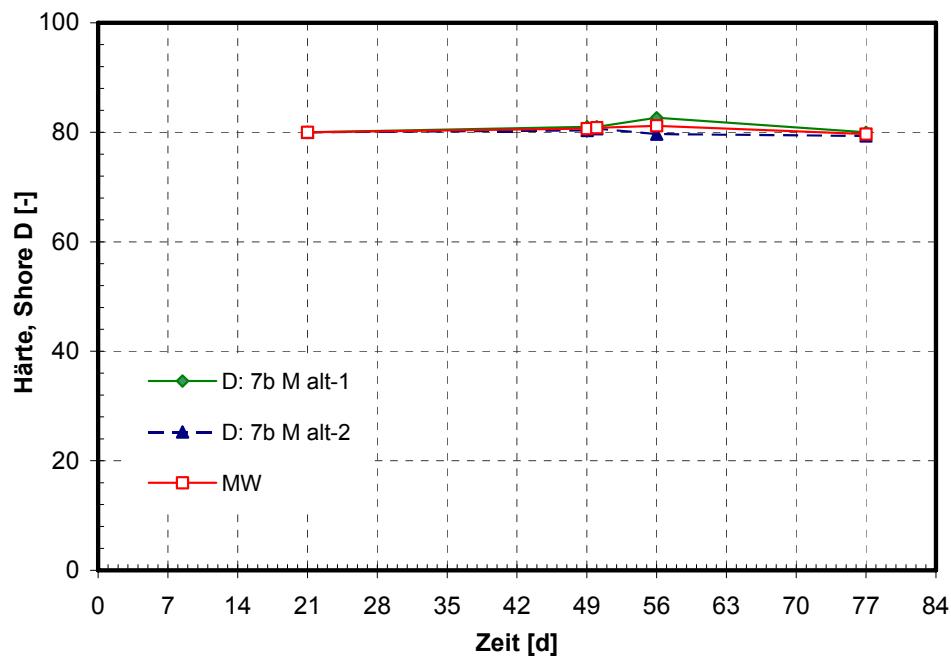


Bild 51: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b M alt, Härteänderung (Shore-Einheiten)

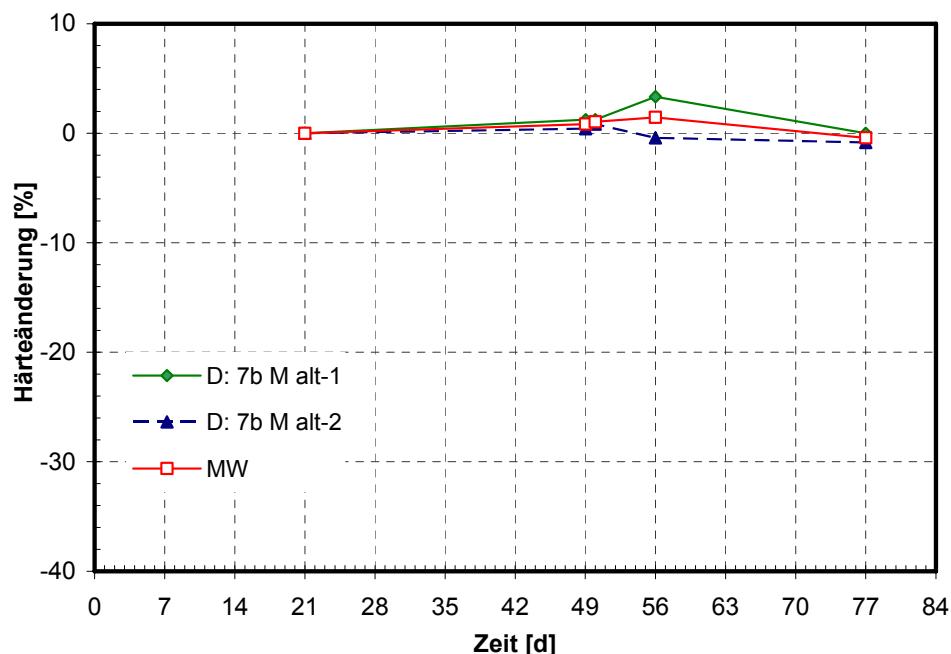


Bild 52: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b M alt, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

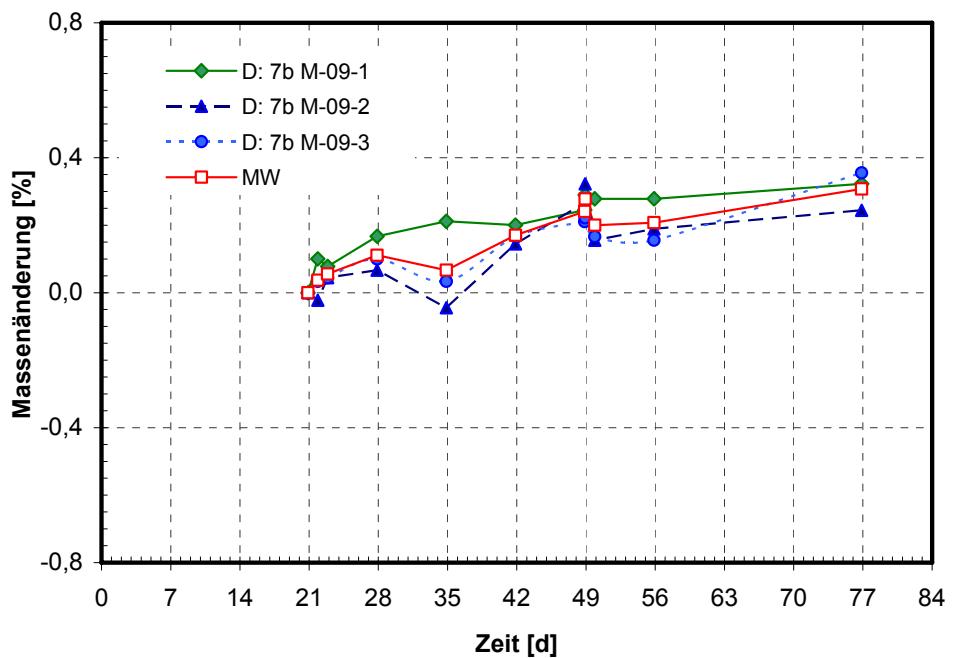


Bild 53: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b M-09, Masseänderung

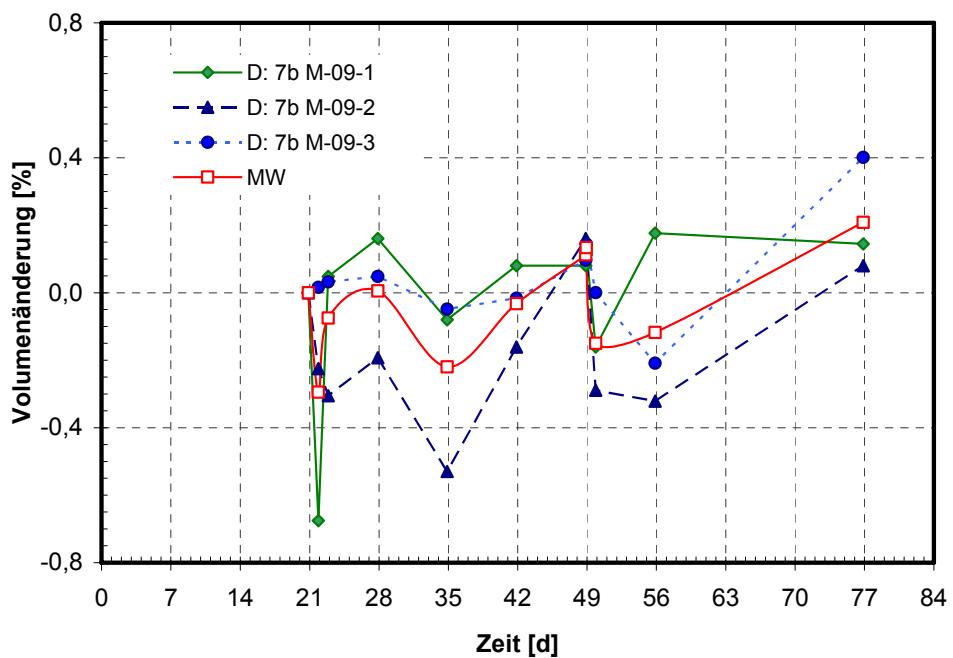


Bild 54: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b M-09, Volumenänderung

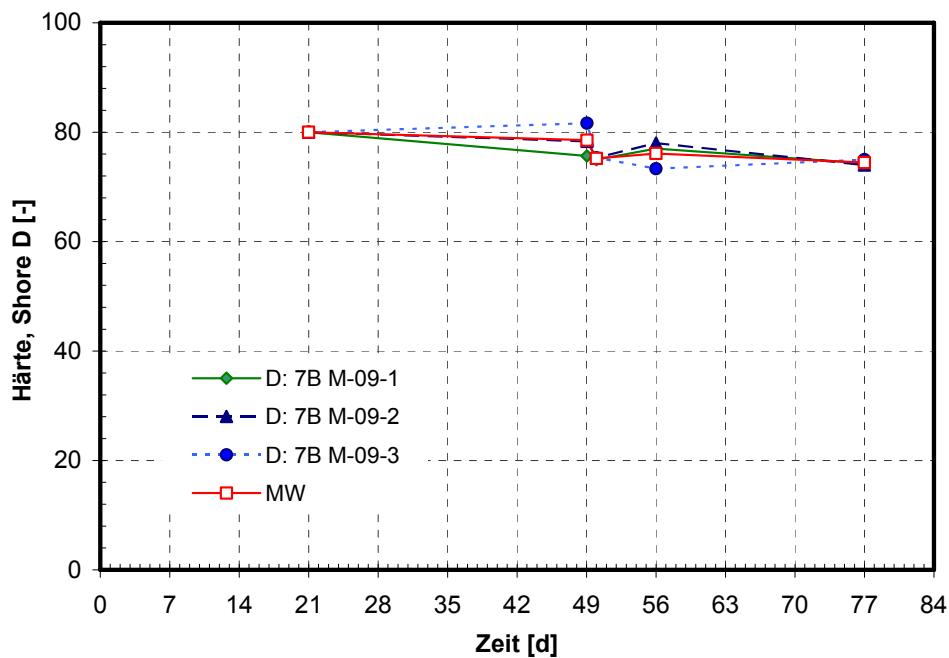


Bild 55: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b M 09, Härteänderung (Shore-Einheiten)

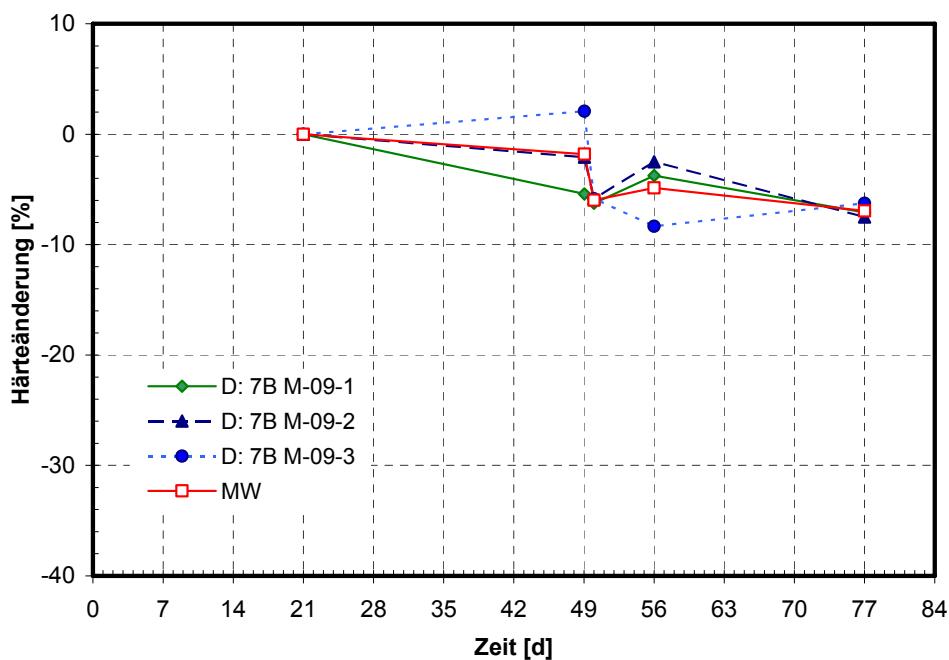


Bild 56: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b M 09, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

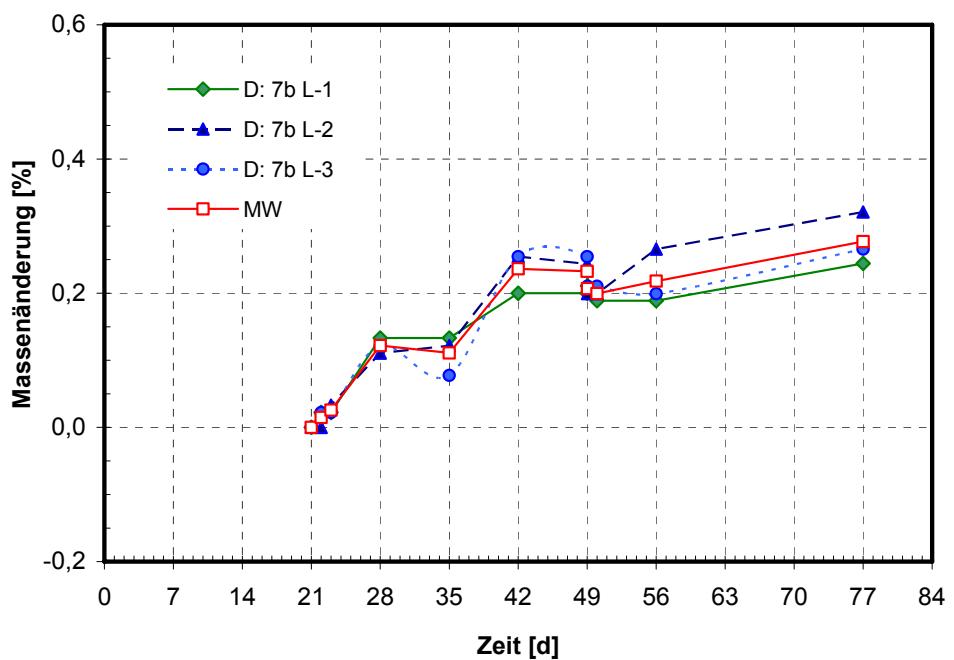


Bild 57: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b L, Masseänderung

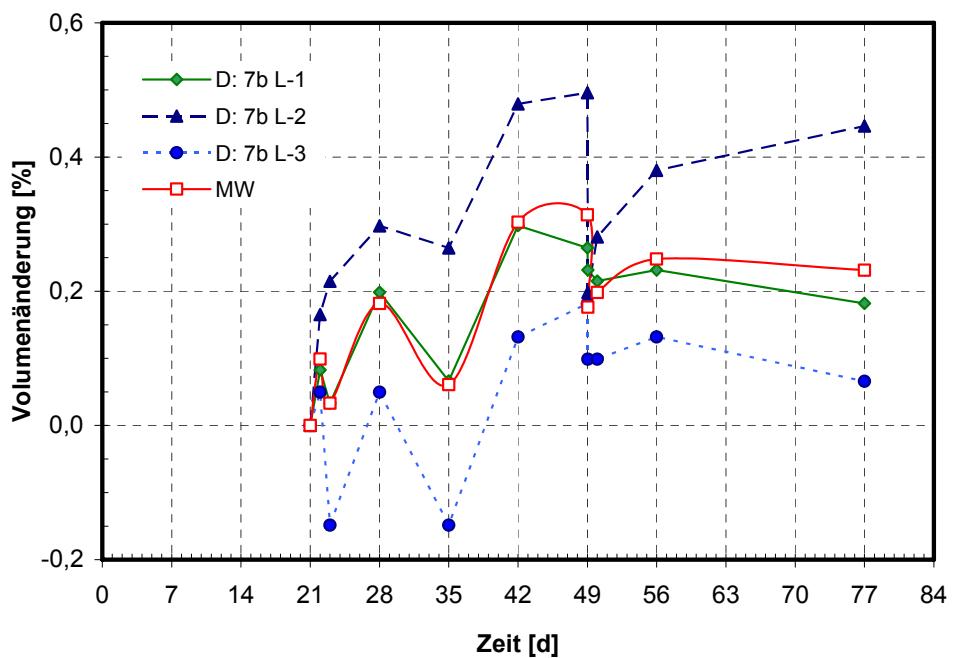


Bild 58: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b L, Volumenänderung

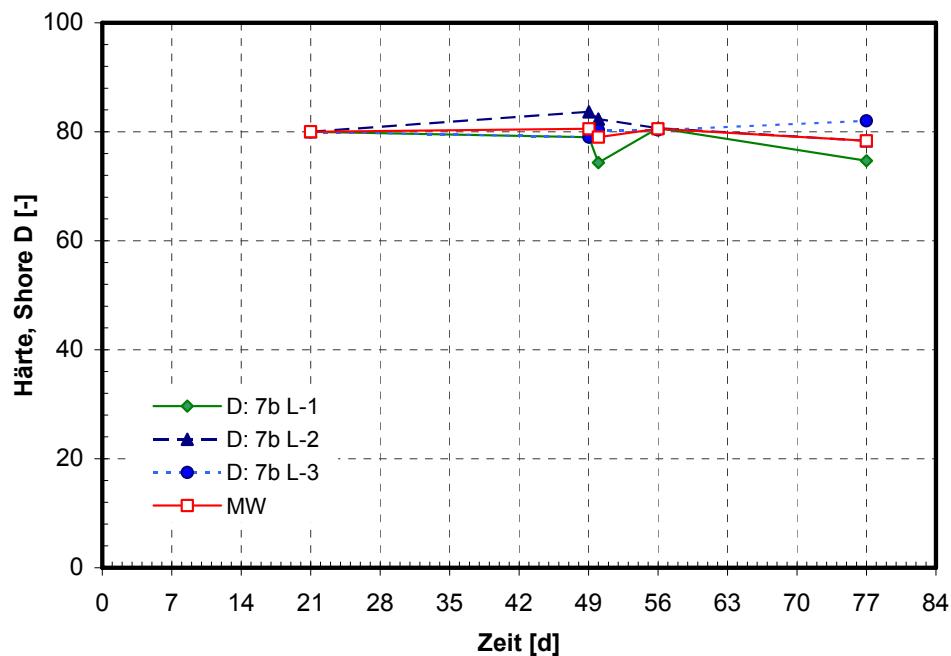


Bild 59: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b L, Härteänderung (Shore-Einheiten)

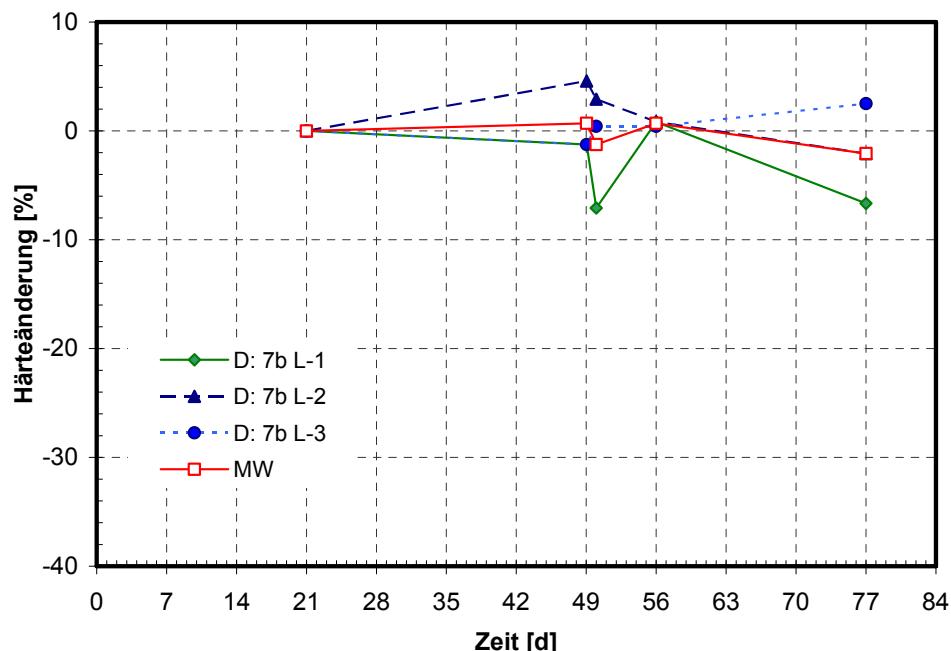


Bild 60: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b L, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

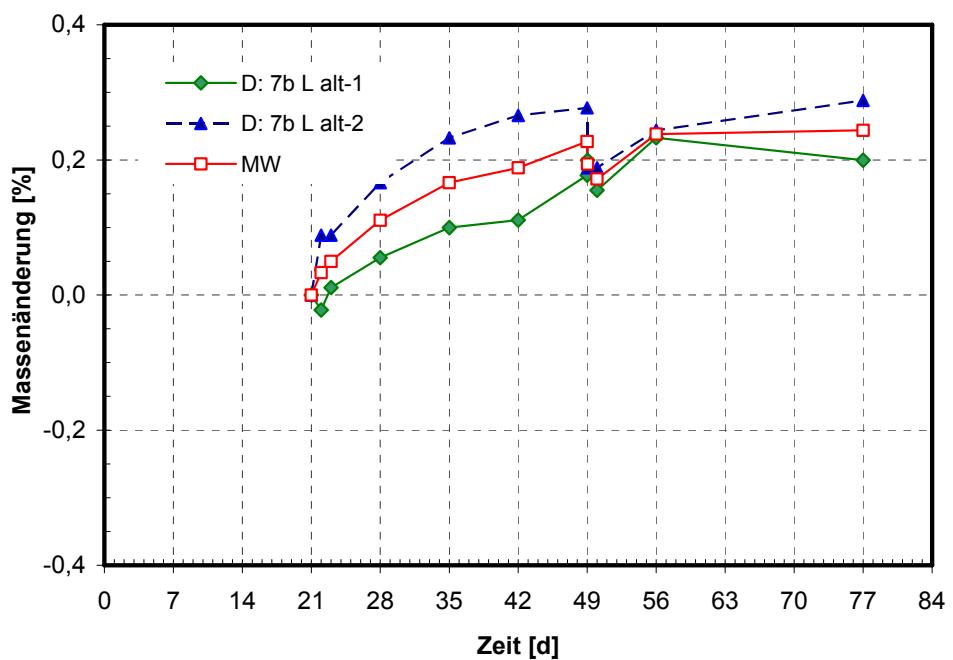


Bild 61: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b L alt, Masseänderung

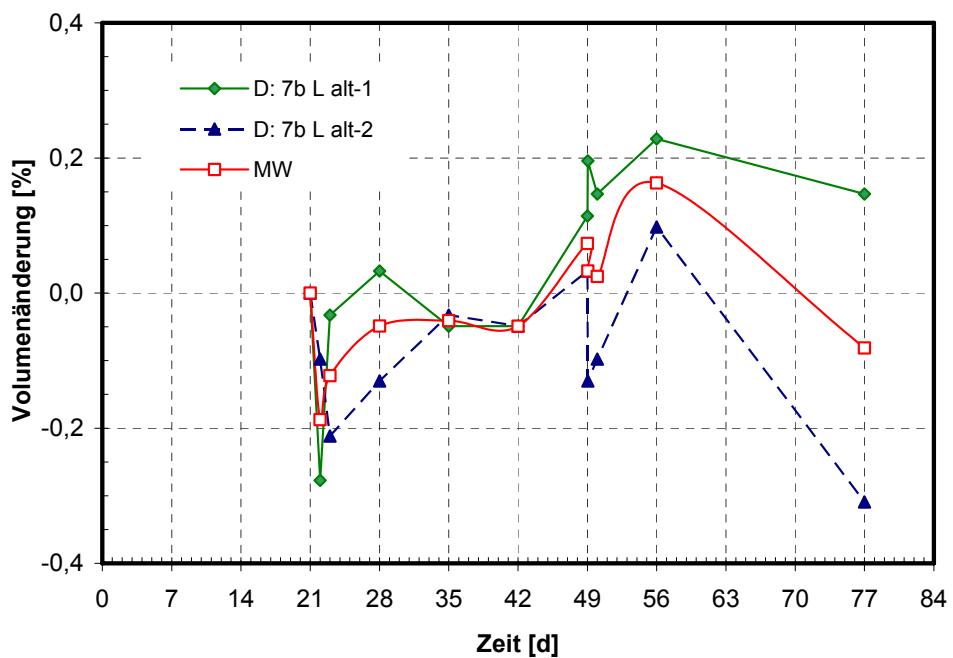


Bild 62: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b L alt, Volumenänderung

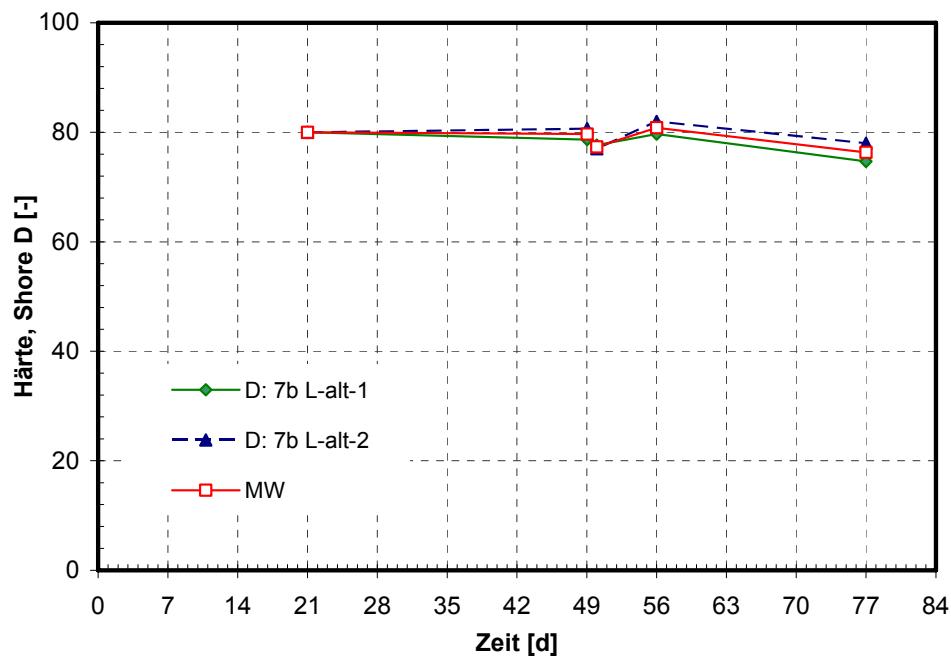


Bild 63: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b L alt, Härteänderung (Shore-Einheiten)

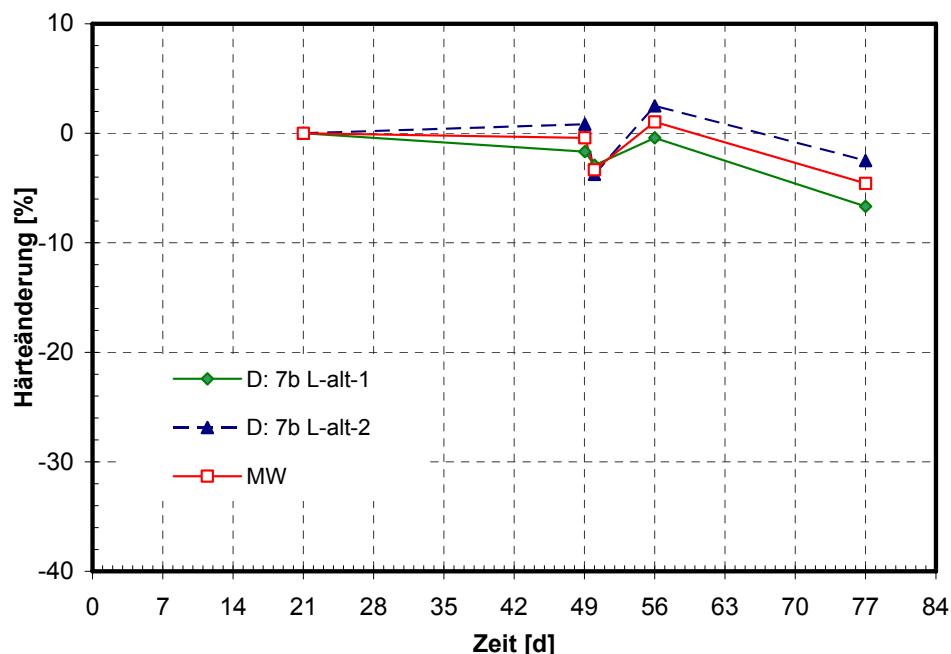


Bild 64: EP-Beschichtung, Einlagerung in 7b L alt, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

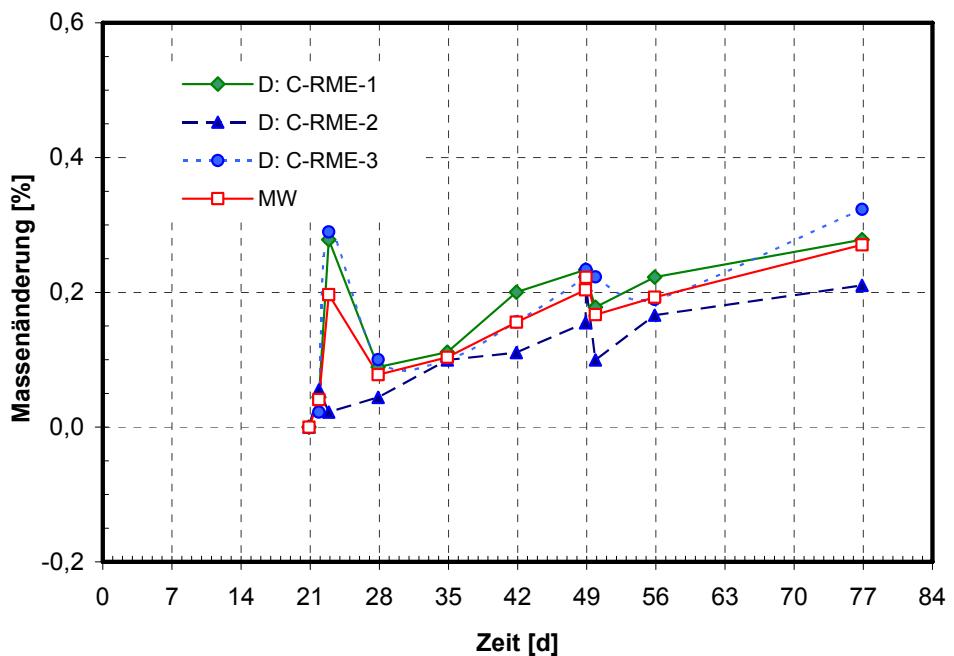


Bild 65: EP-Beschichtung, Einlagerung in C-RME, Masseänderung

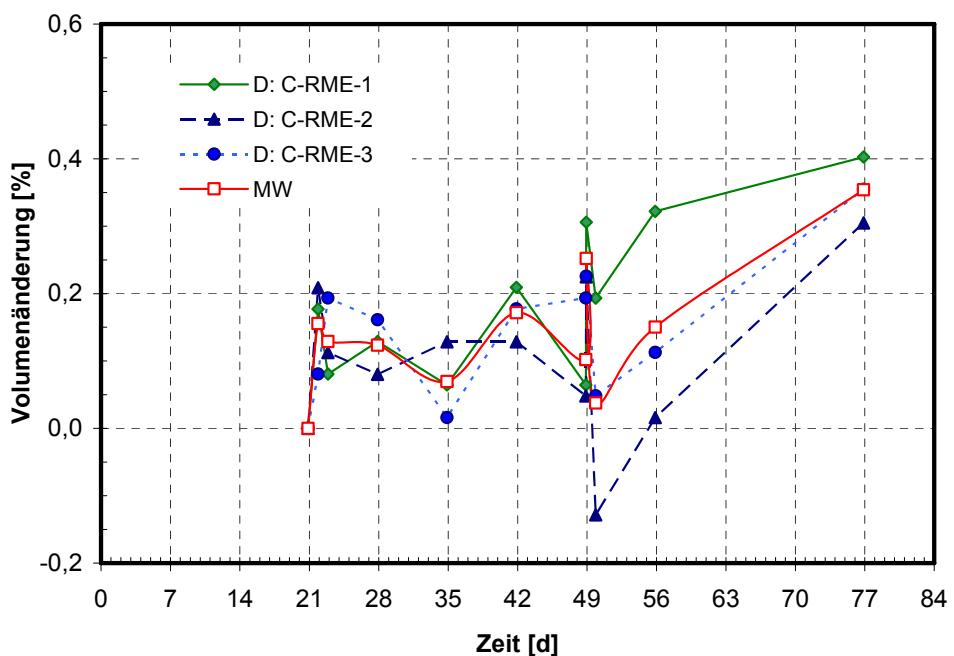


Bild 66: EP-Beschichtung, Einlagerung in C-RME, Volumenänderung

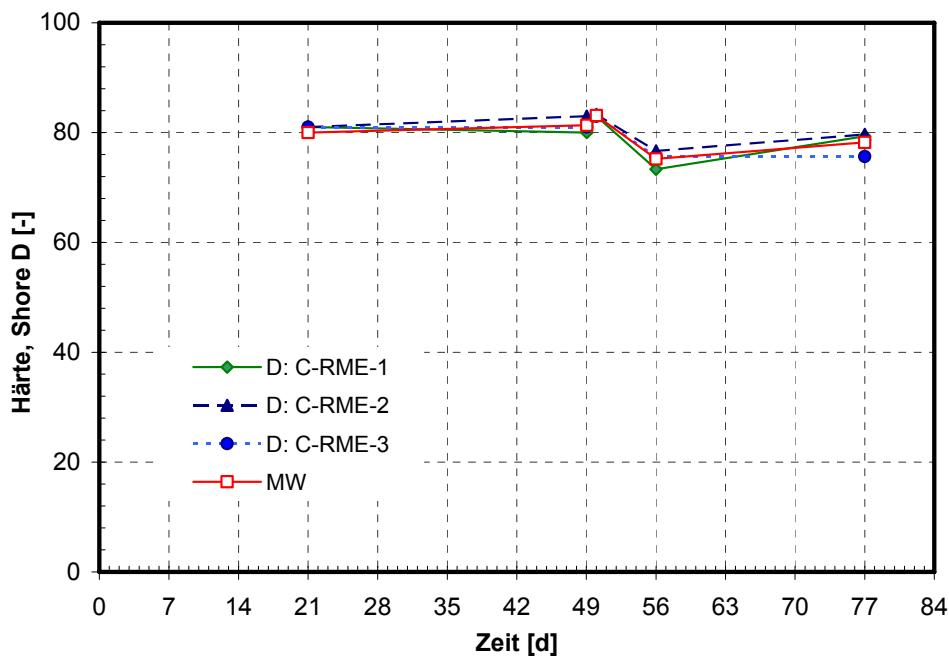


Bild 67: EP-Beschichtung, Einlagerung in C-RME, Härteänderung (Shore-Einheiten)

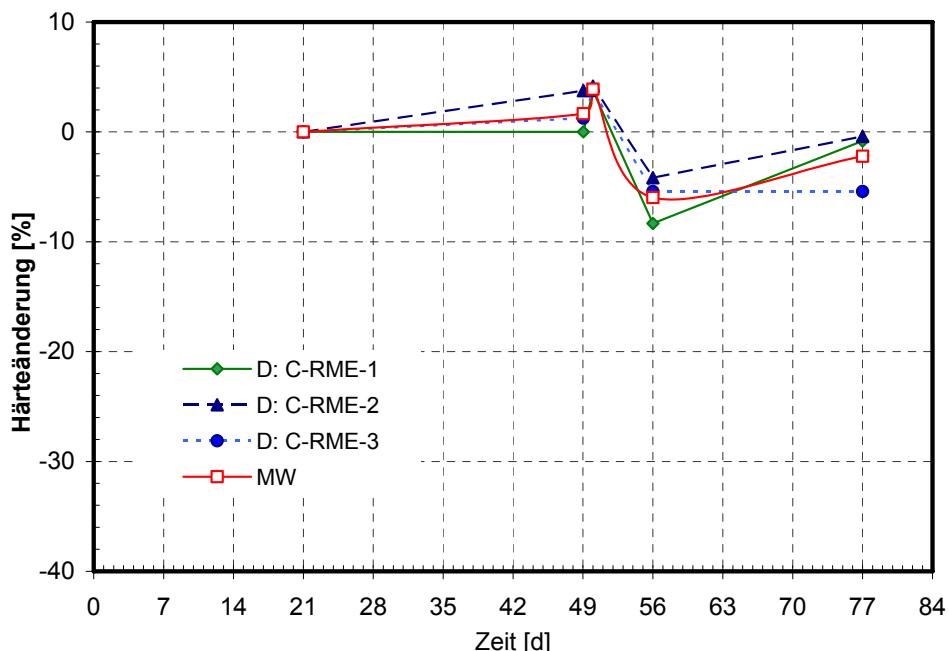


Bild 68: EP-Beschichtung, Einlagerung in C-RME, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

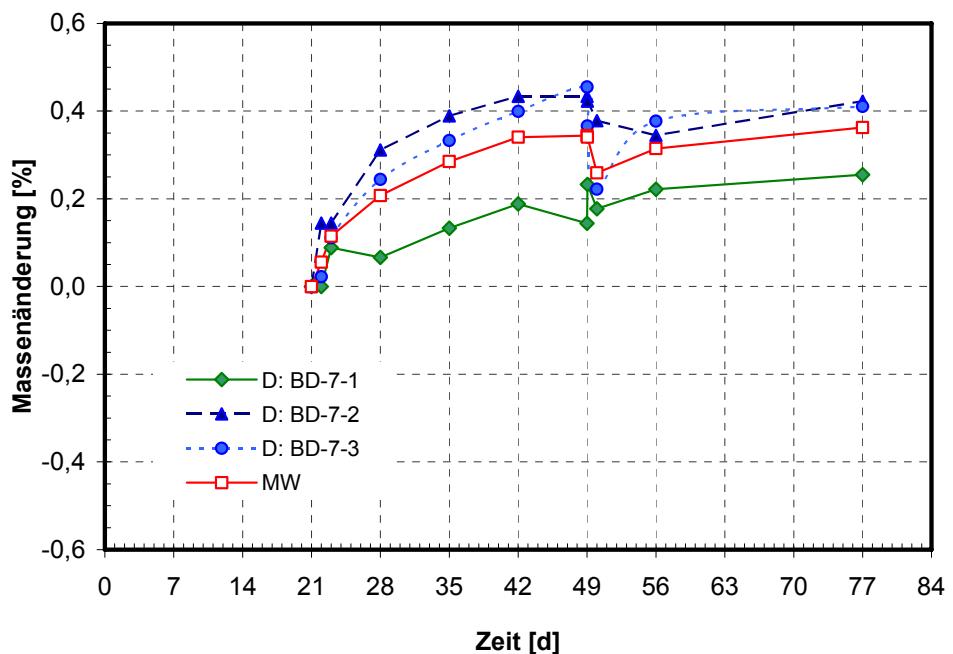


Bild 69: EP-Beschichtung, Einlagerung in BD-7, Masseänderung

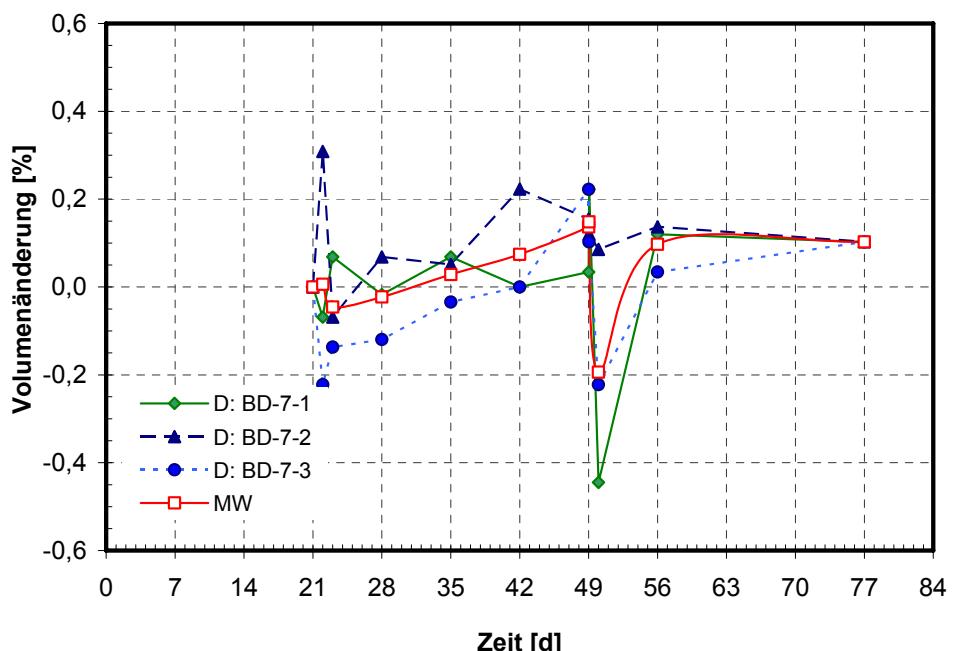


Bild 70: EP-Beschichtung, Einlagerung in BD-7, Volumenänderung

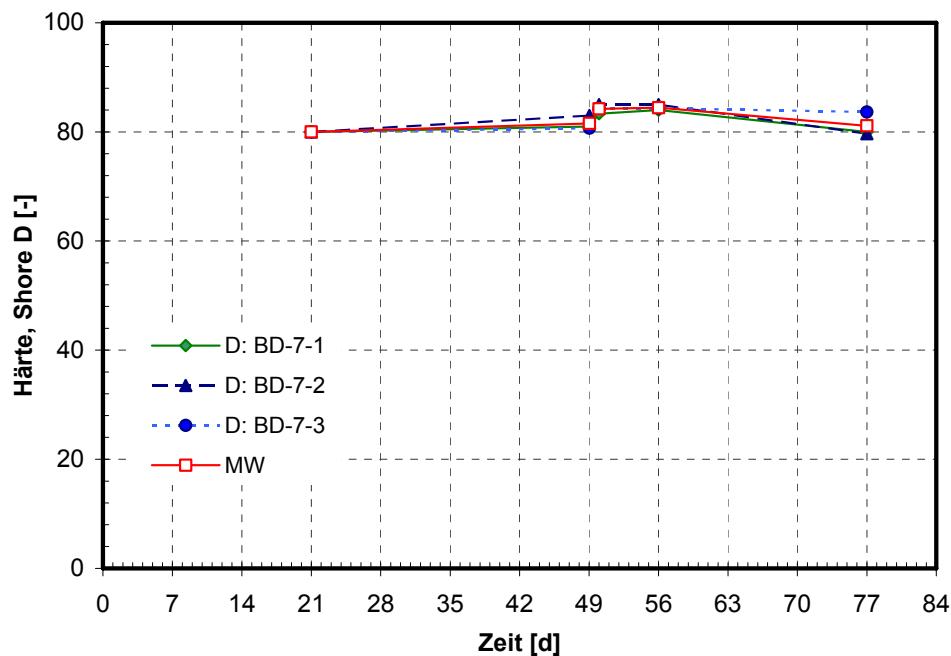


Bild 71: EP-Beschichtung, Einlagerung in BD-7, Härteänderung (Shore-Einheiten)

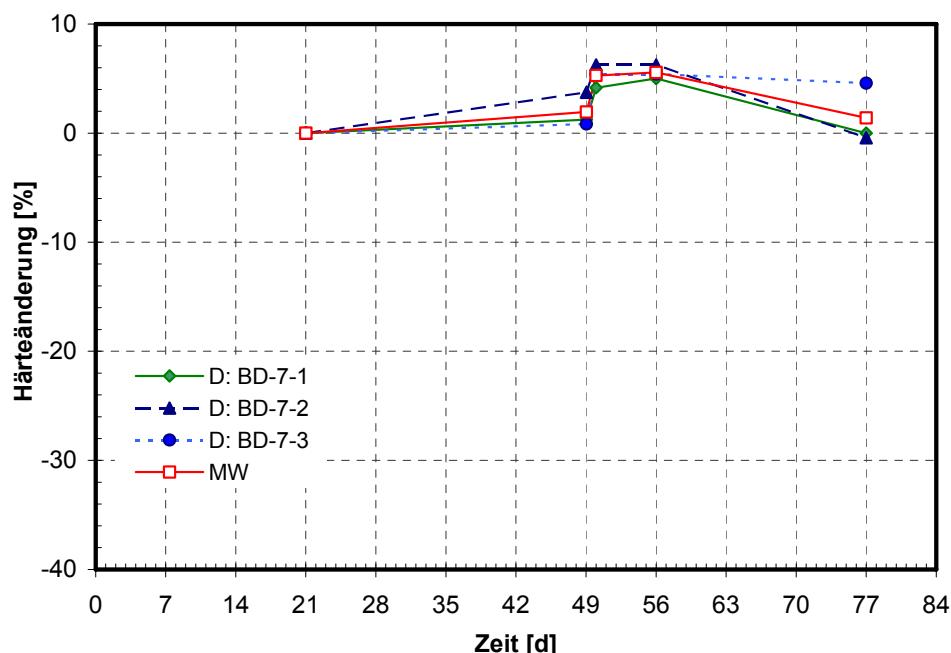


Bild 72: EP-Beschichtung, Einlagerung in BD-7, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

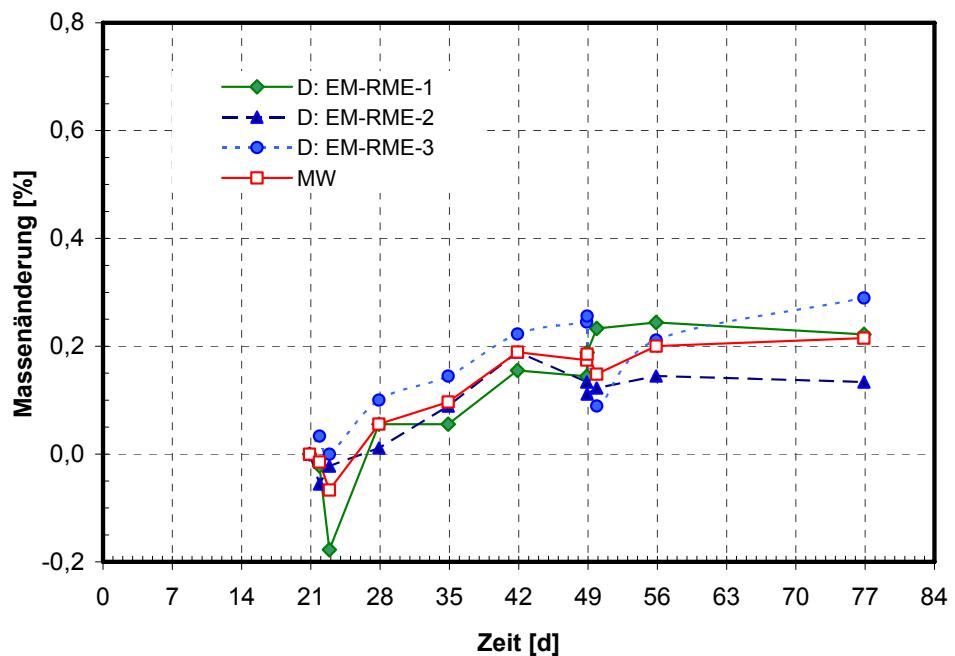


Bild 73: EP-Beschichtung, Einlagerung in EM-RME, Masseänderung

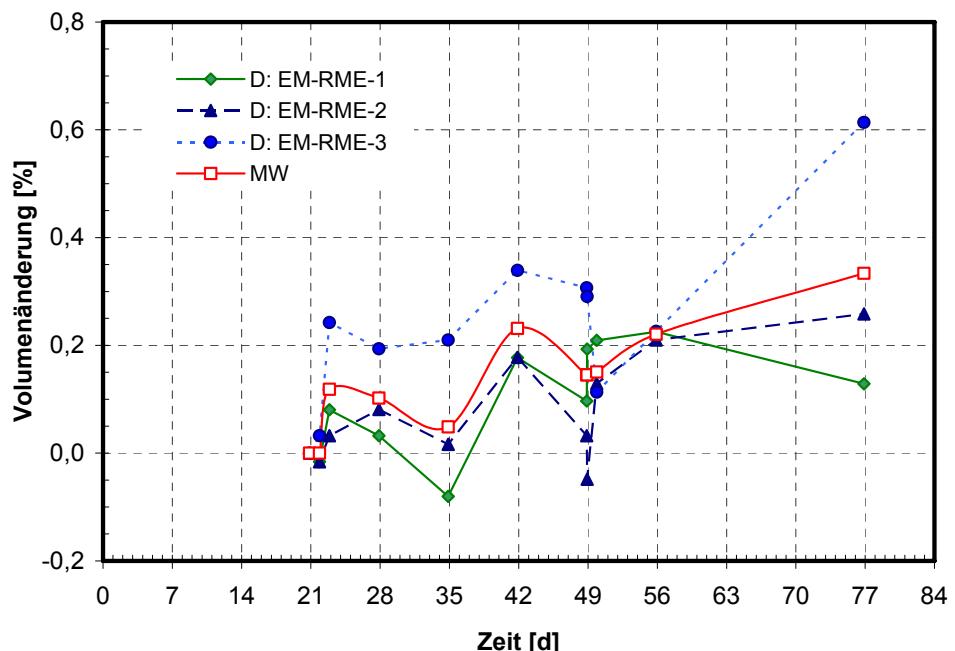


Bild 74: EP-Beschichtung, Einlagerung in EM-RME, Volumenänderung

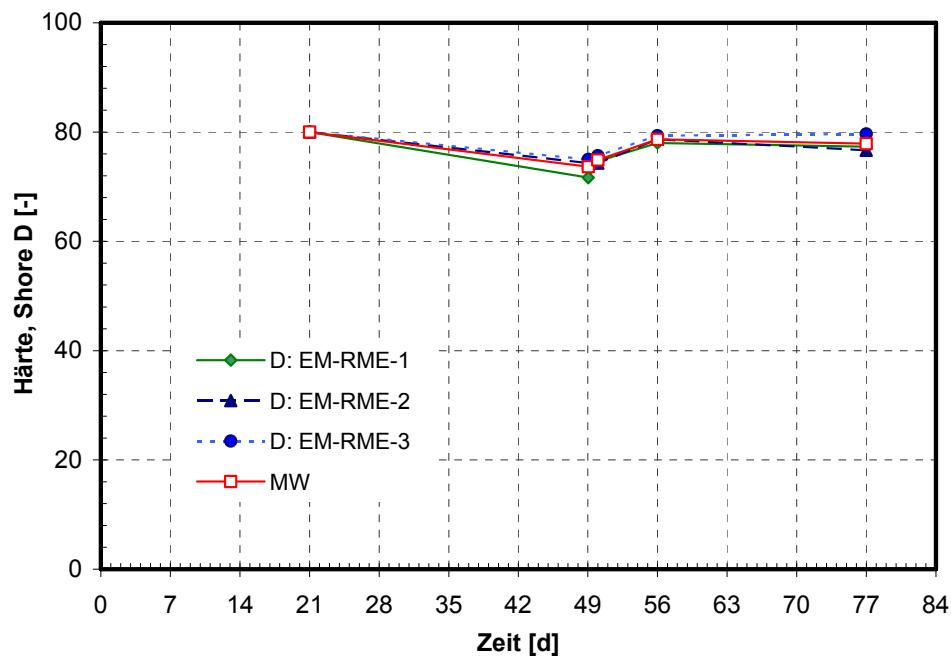


Bild 75: EP-Beschichtung, Einlagerung in EM-RME, Härteänderung (Shore-Einheiten)

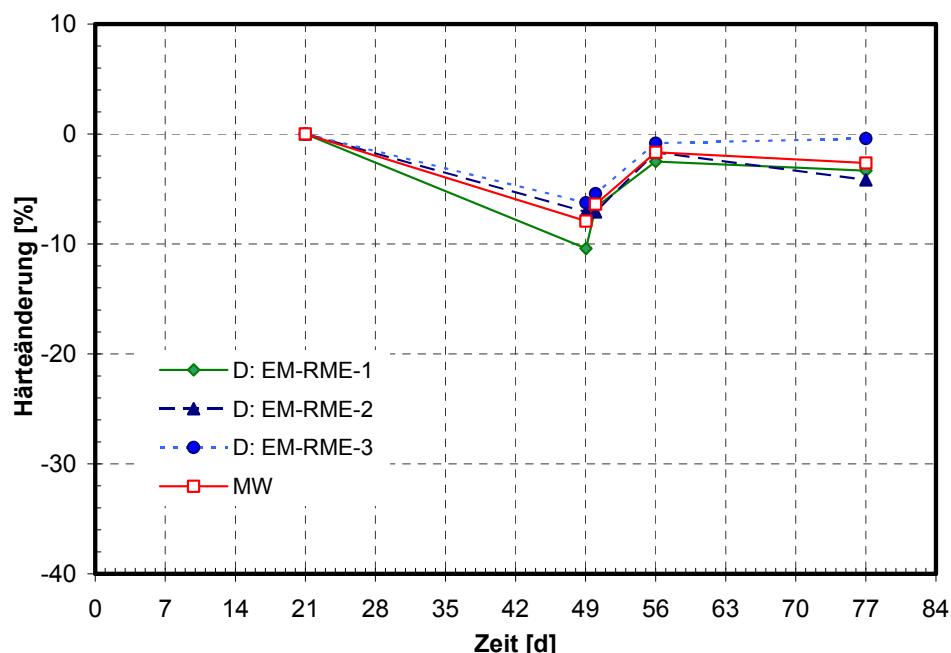


Bild 76: EP-Beschichtung, Einlagerung in EM-RME, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

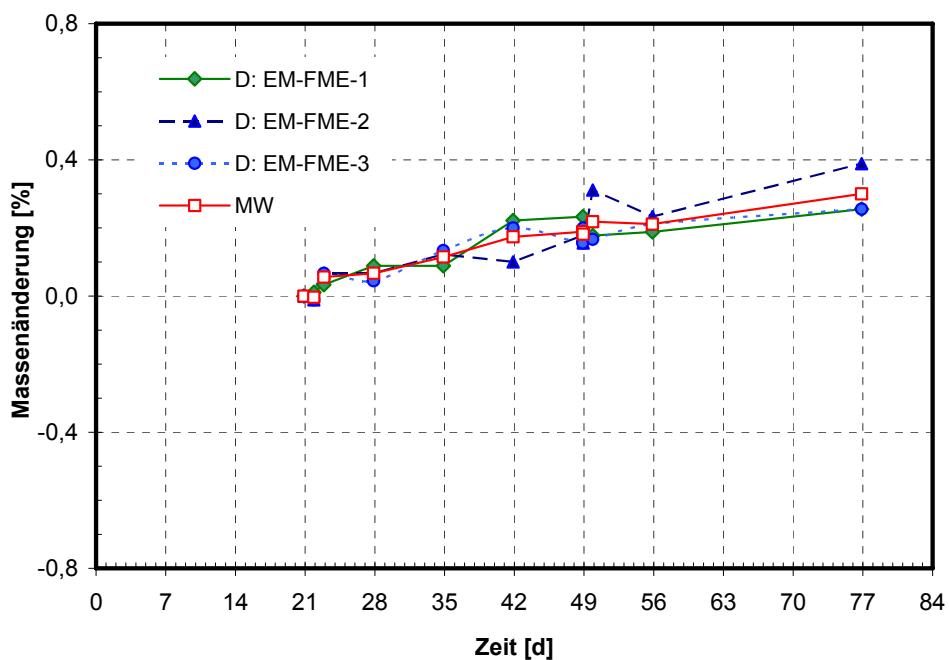


Bild 77: EP-Beschichtung, Einlagerung in EM-FME, Masseänderung

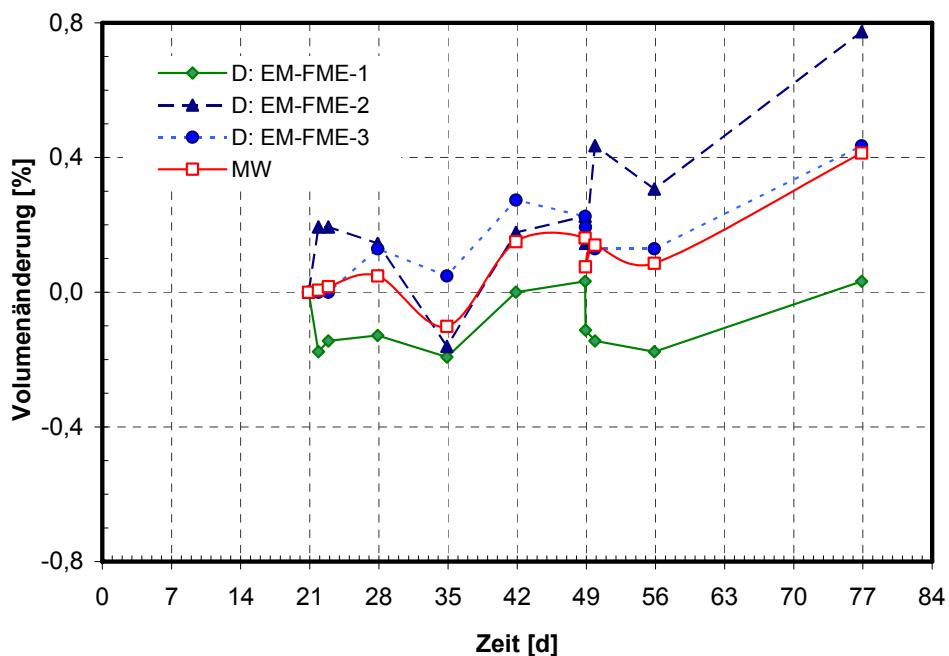


Bild 78: EP-Beschichtung, Einlagerung in EM-FME, Volumenänderung

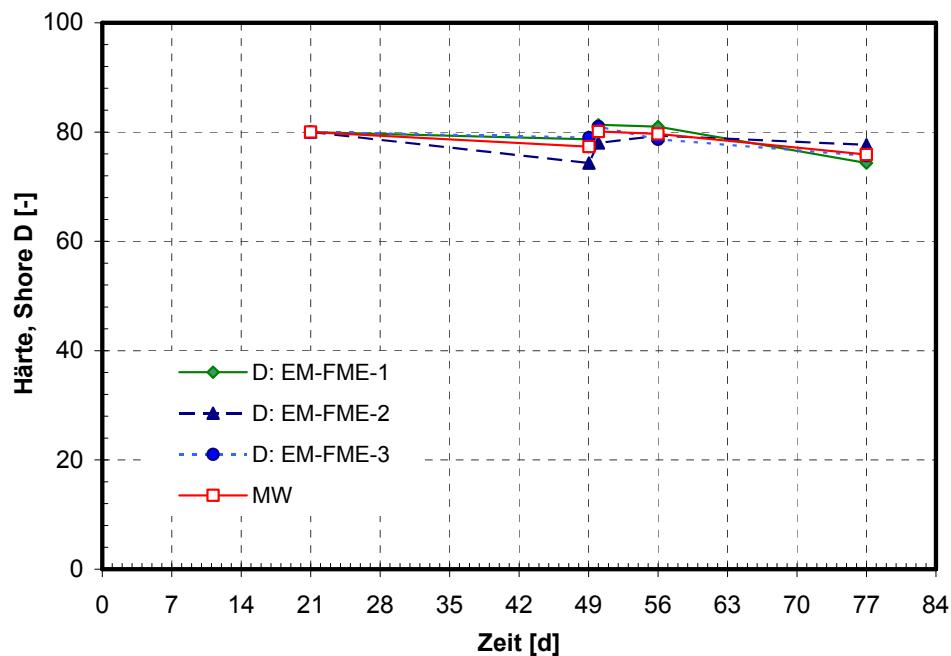


Bild 79: EP-Beschichtung, Einlagerung in EM-FME, Härteänderung (Shore-Einheiten)

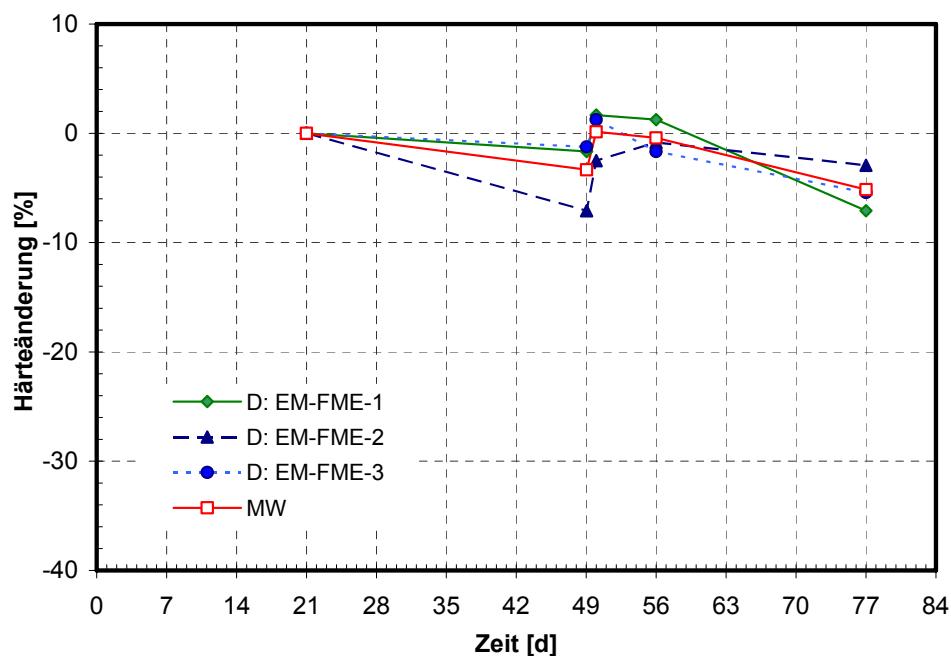


Bild 80: EP-Beschichtung, Einlagerung in EM-FME, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

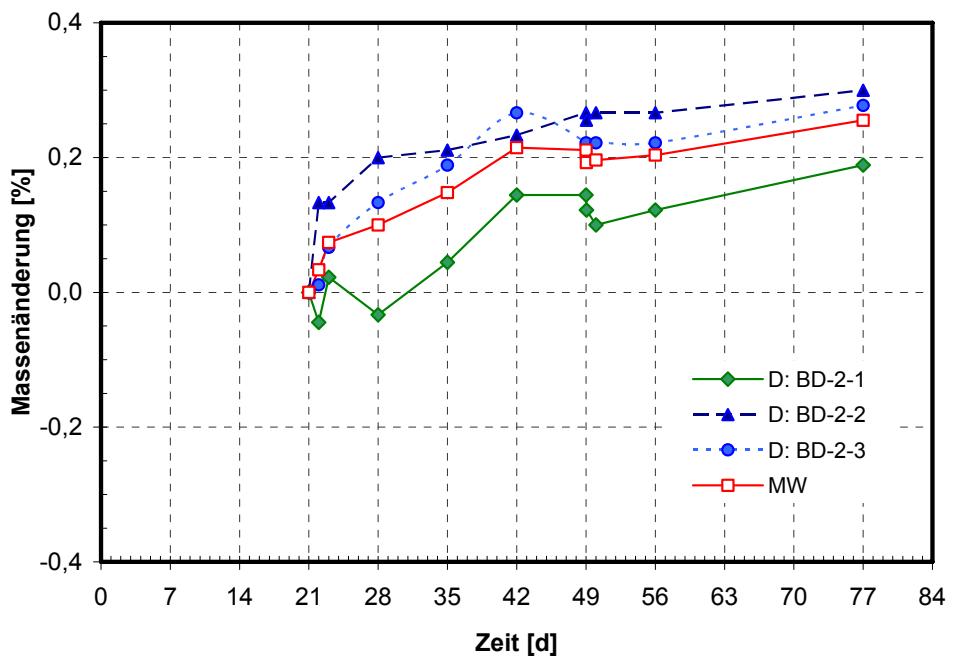


Bild 81: EP-Beschichtung, Einlagerung in BD-2, Masseänderung

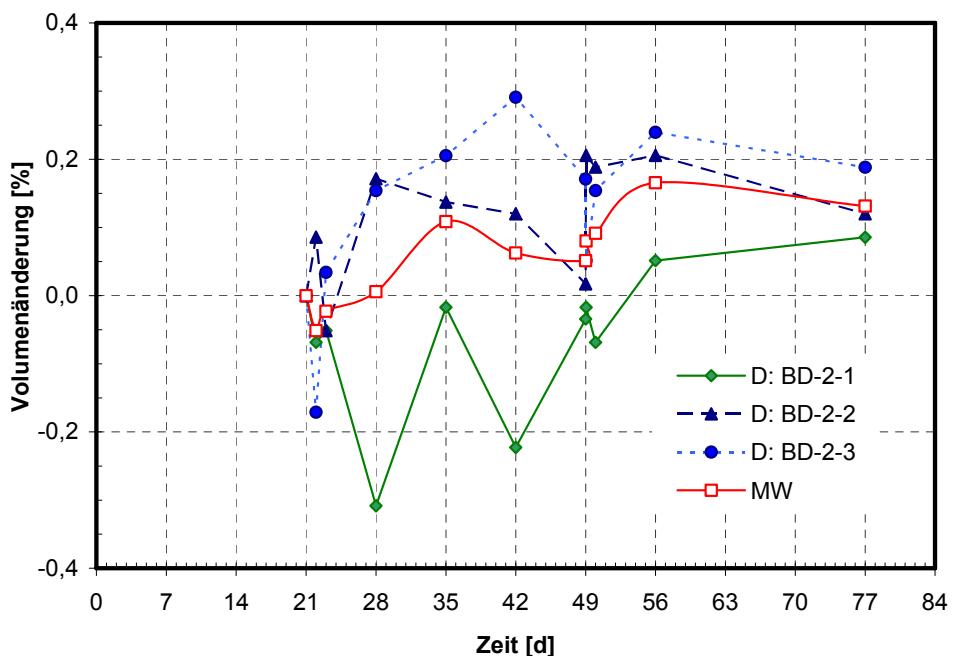


Bild 82: EP-Beschichtung, Einlagerung in BD-2, Volumenänderung

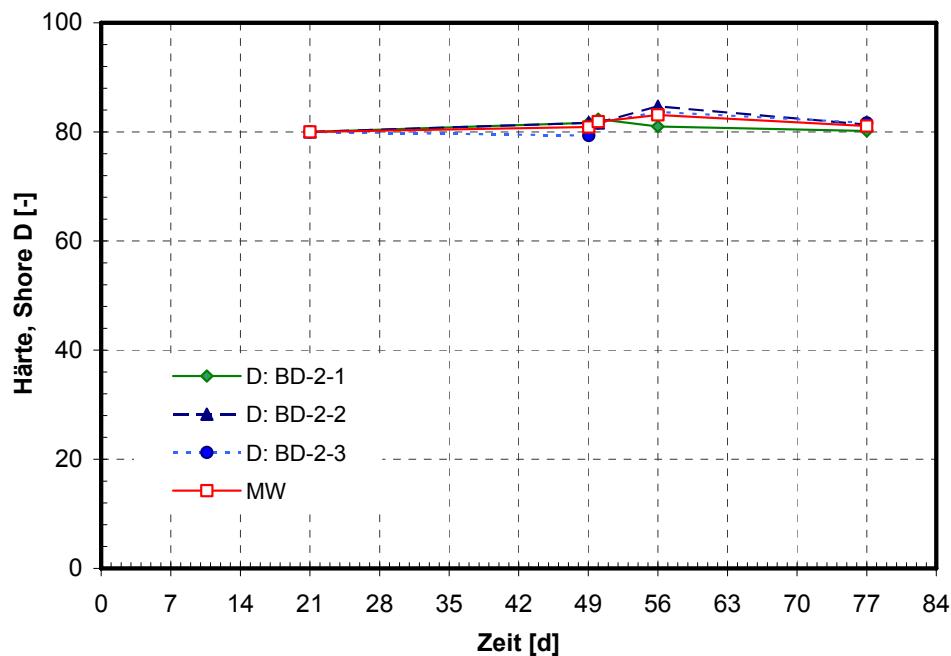


Bild 83: EP-Beschichtung, Einlagerung in BD-2, Härteänderung (Shore-Einheiten)

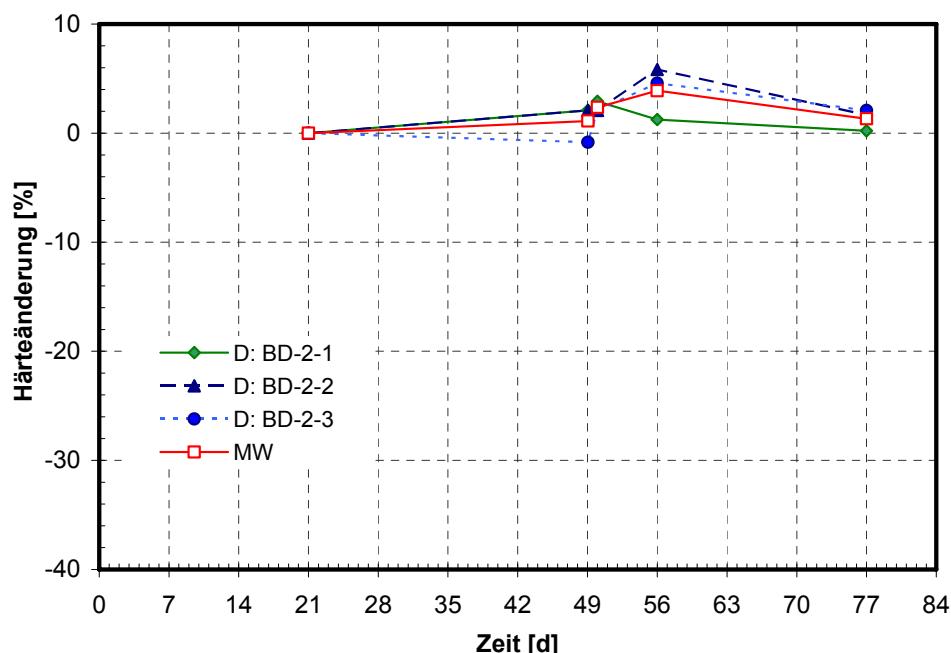


Bild 84: EP-Beschichtung, Einlagerung in BD-2, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

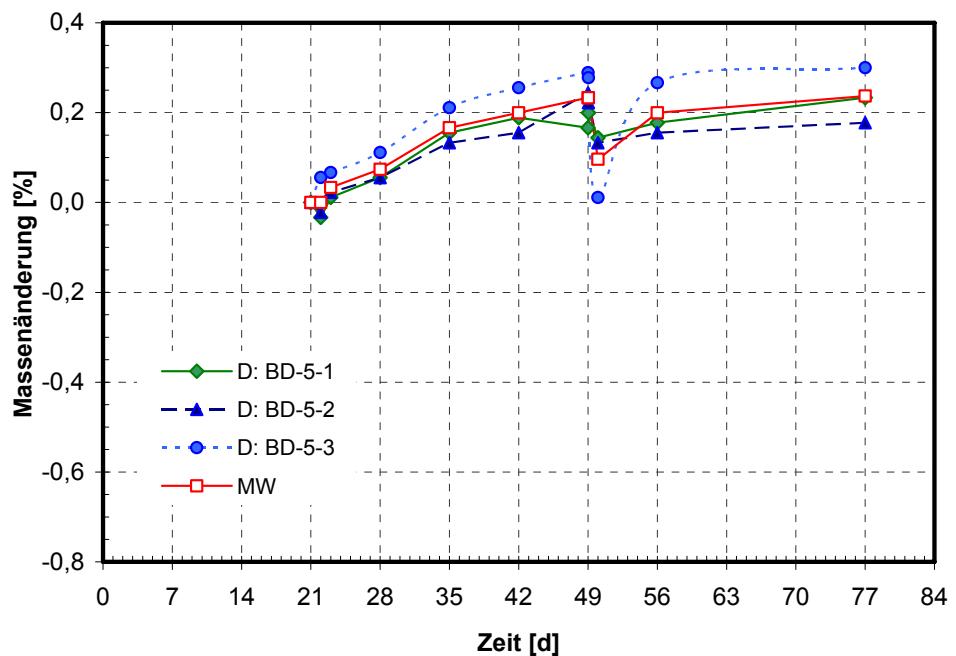


Bild 85: EP-Beschichtung, Einlagerung in BD-5, Masseänderung

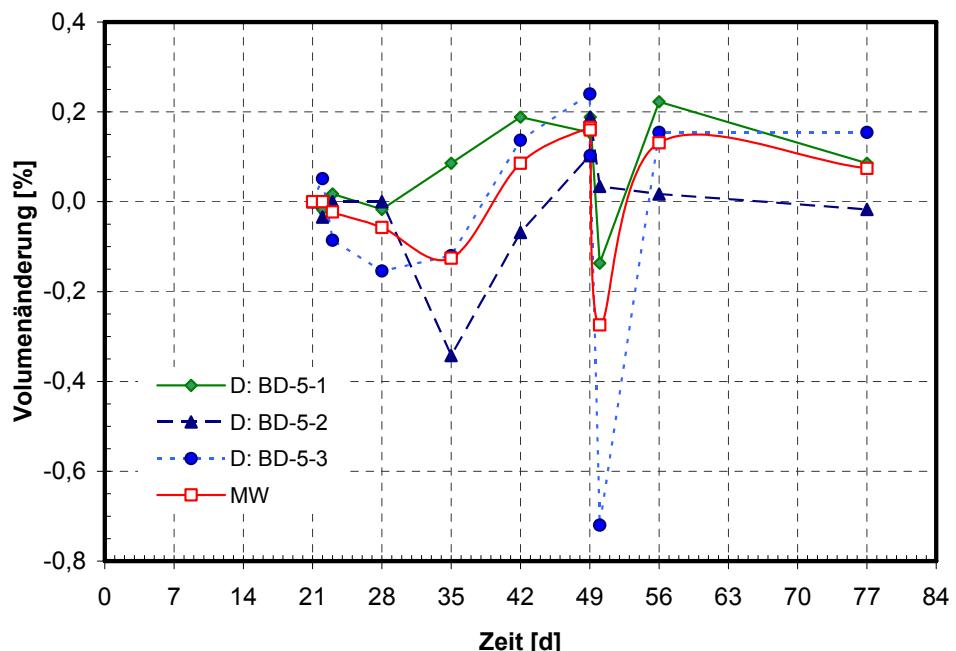


Bild 86: EP-Beschichtung, Einlagerung in BD-5, Volumenänderung

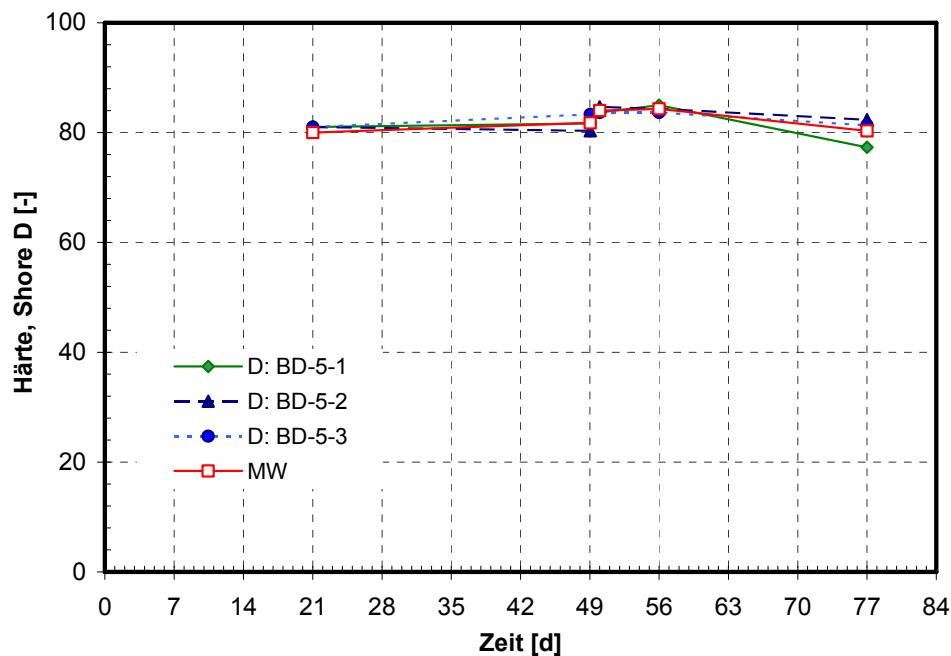


Bild 87: EP-Beschichtung, Einlagerung in BD-5, Härteänderung (Shore-Einheiten)

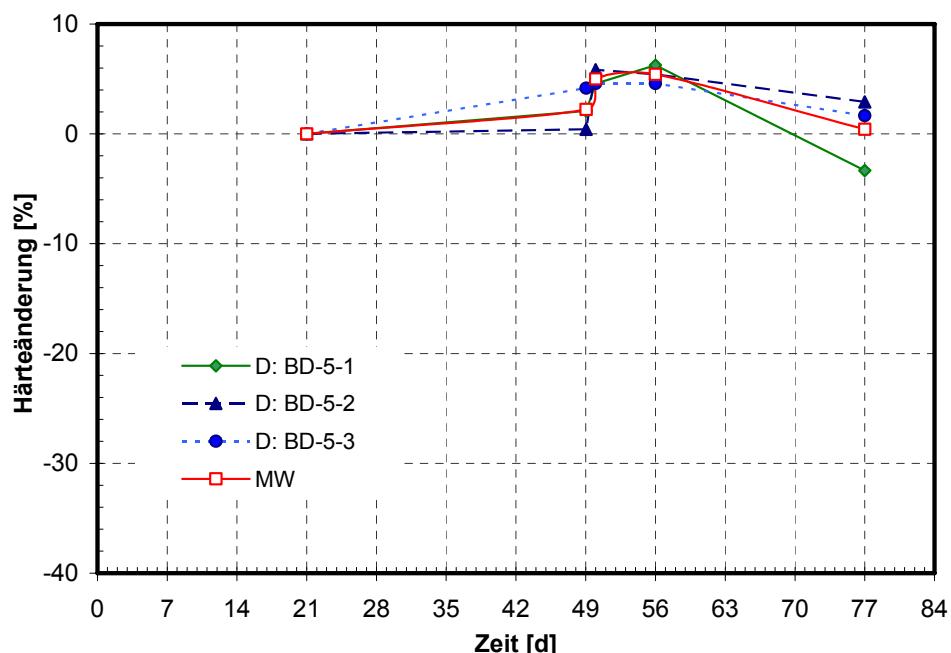


Bild 88: EP-Beschichtung, Einlagerung in BD-5, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

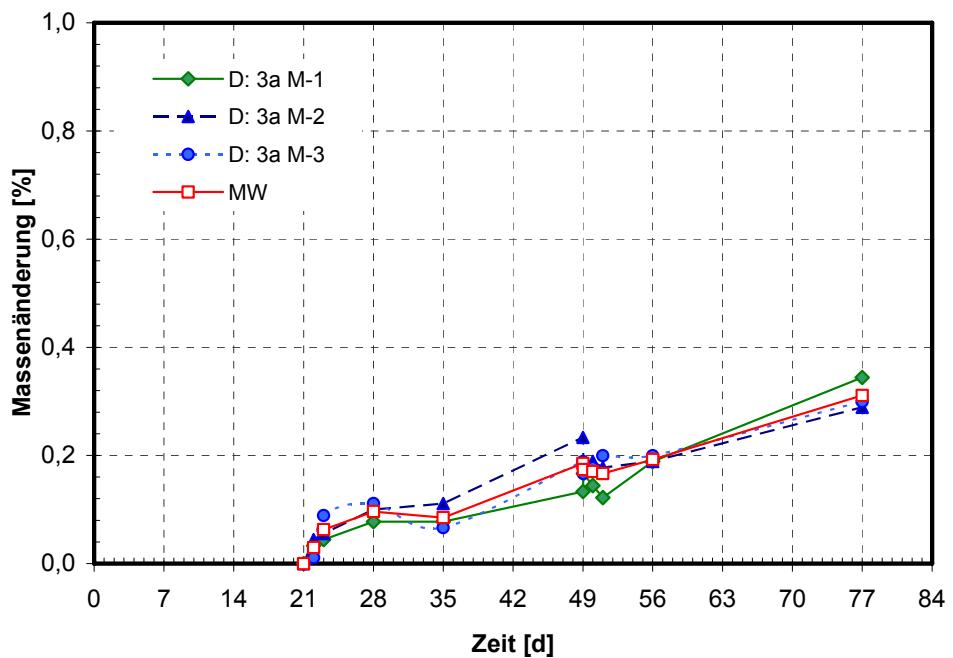


Bild 89: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a M, Masseänderung

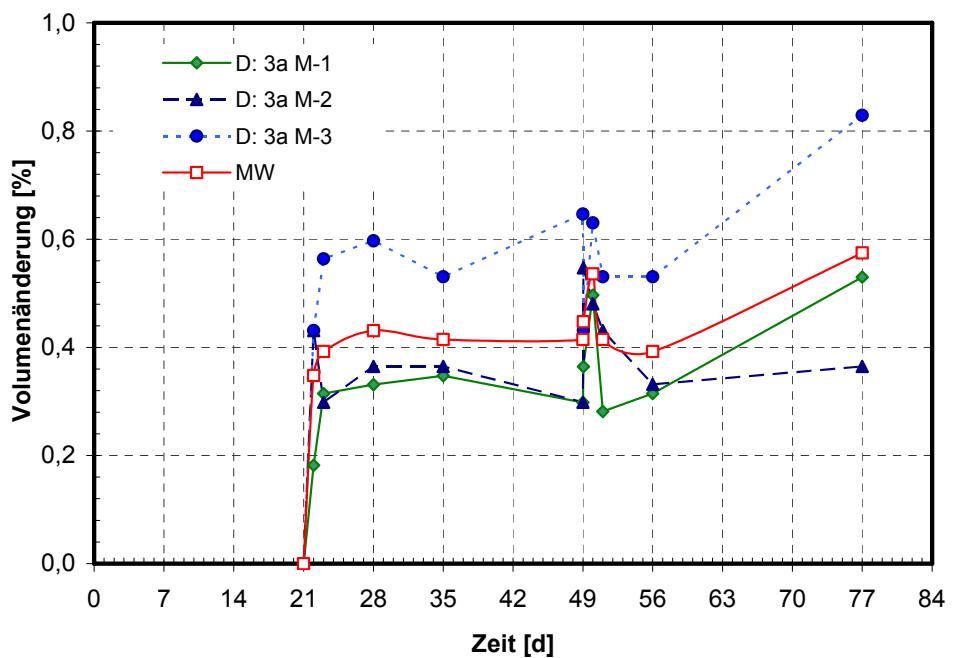


Bild 90: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a M, Volumenänderung

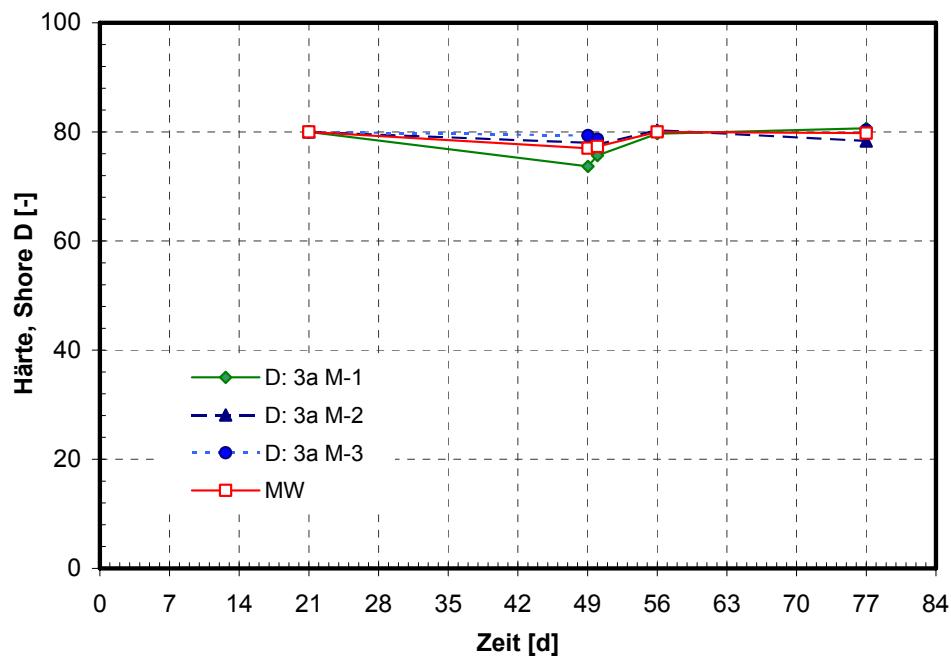


Bild 91: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a M, Härteänderung (Shore-Einheiten)

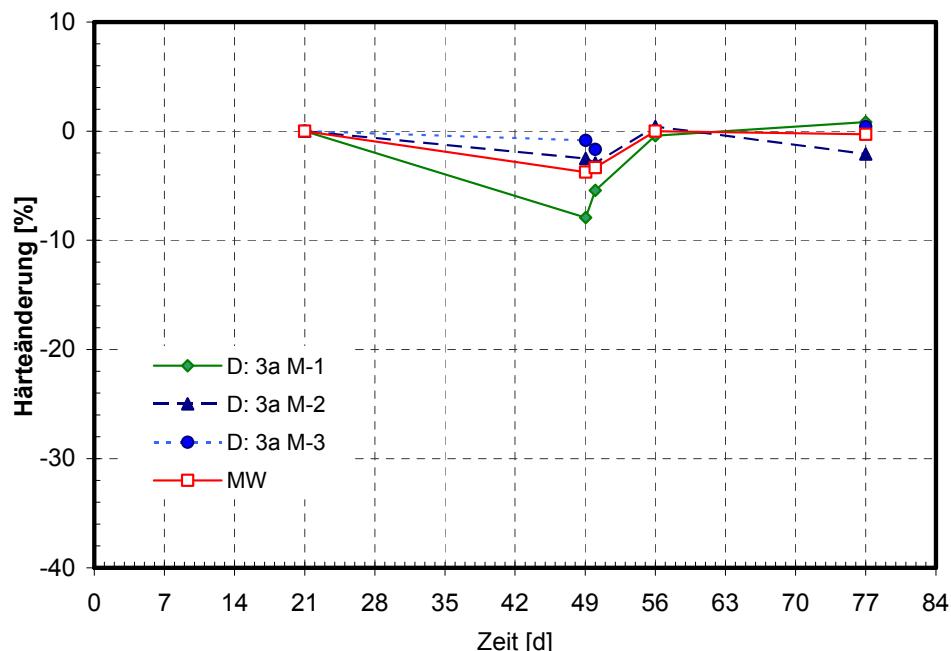


Bild 92: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a M, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

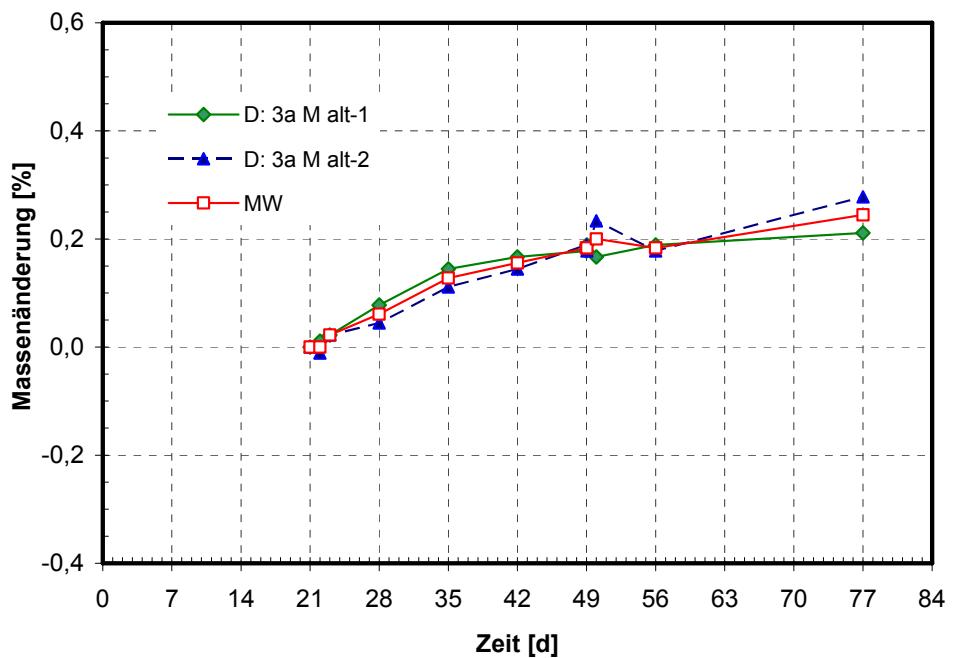


Bild 93: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a M alt, Masseänderung

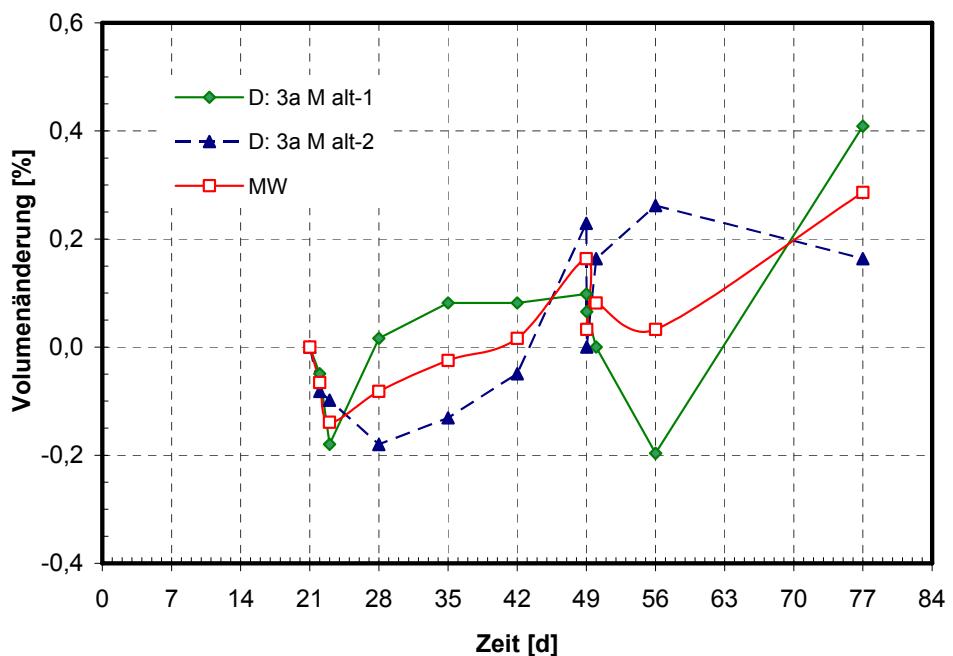


Bild 94: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a M alt, Volumenänderung

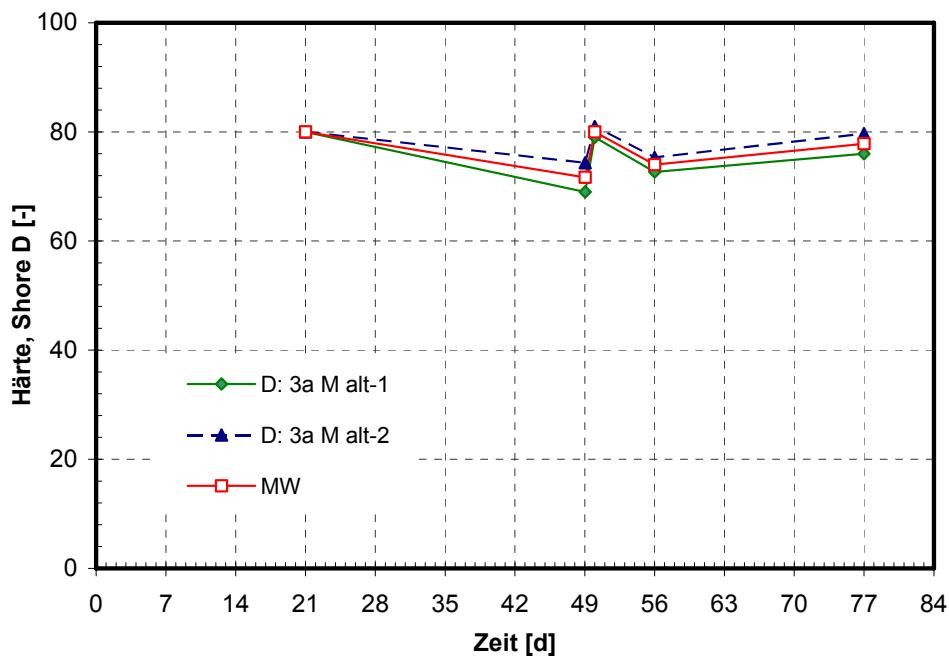


Bild 95: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a M alt, Härteänderung (Shore-Einheiten)

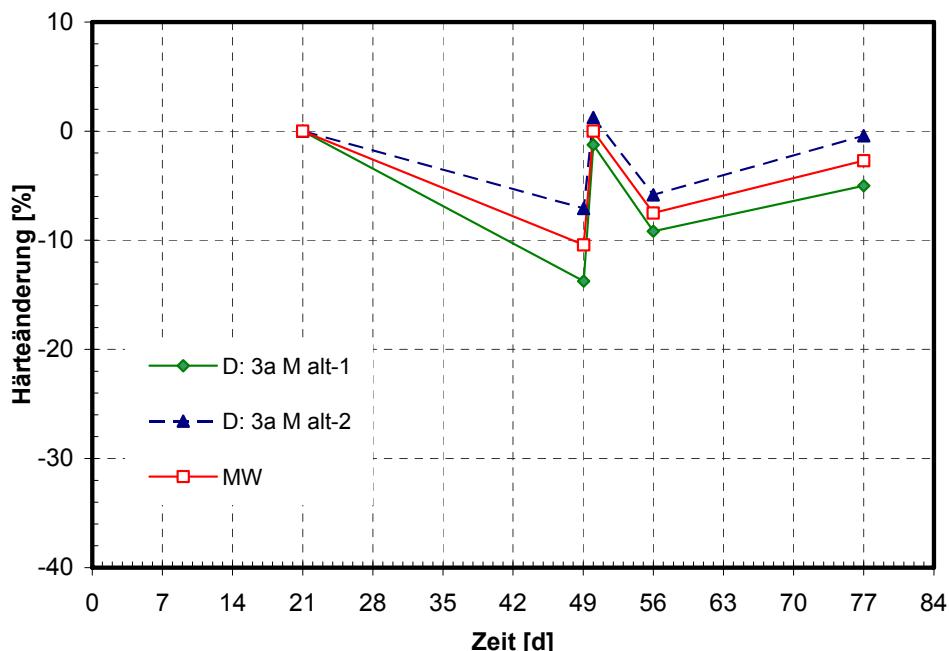


Bild 96: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a M alt, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

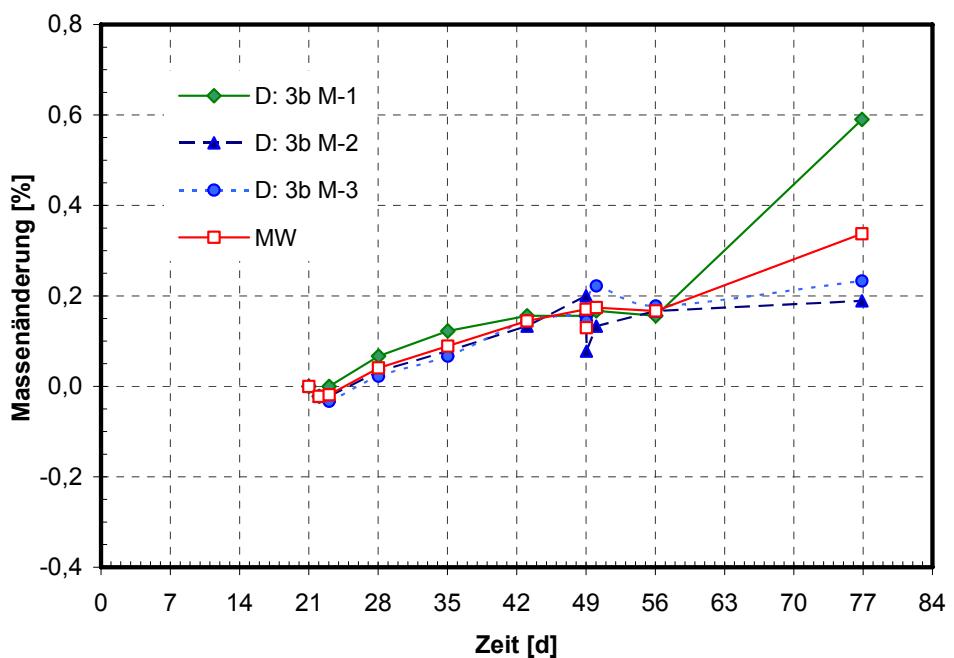


Bild 97: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b M, Masseänderung

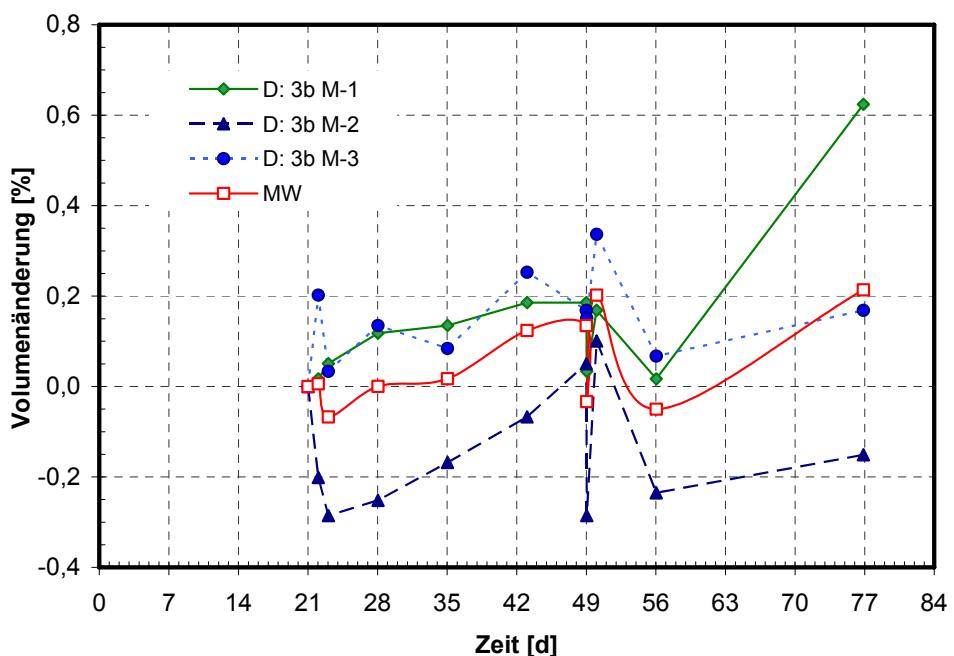


Bild 98: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b M, Volumenänderung

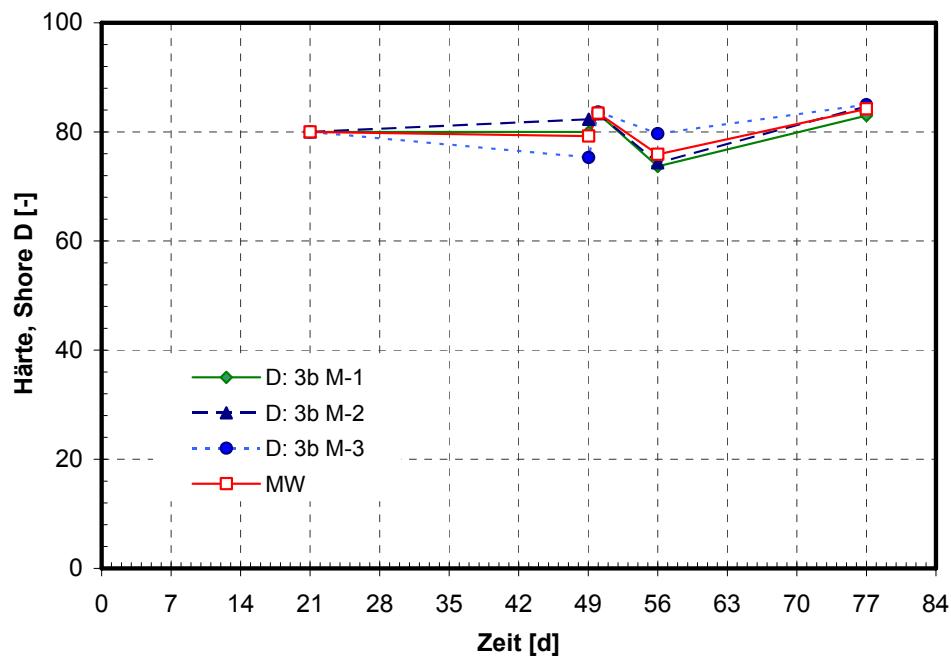


Bild 99: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b M, Härteänderung (Shore-Einheiten)

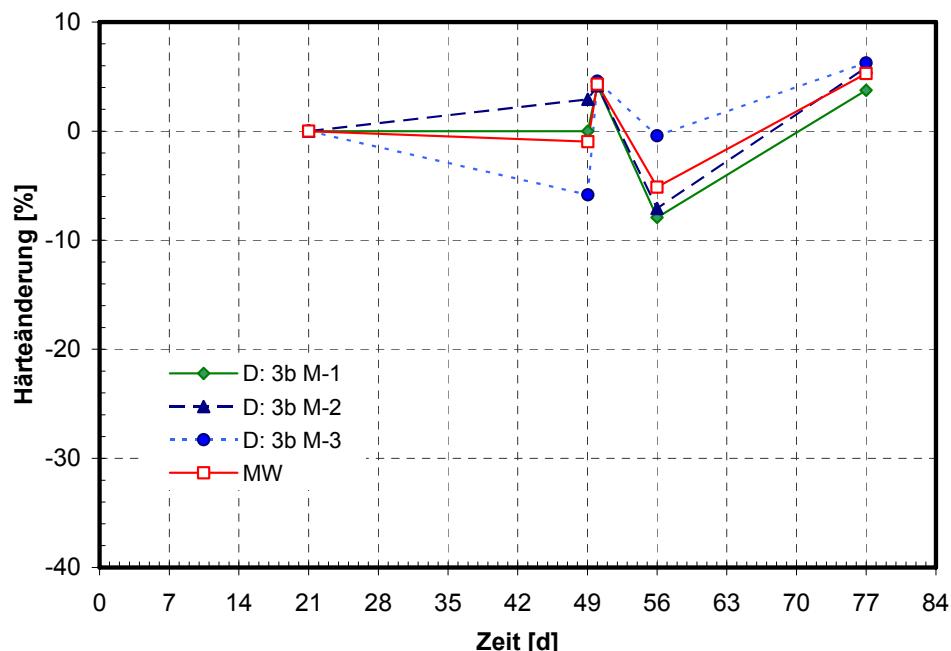


Bild 100: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b M, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

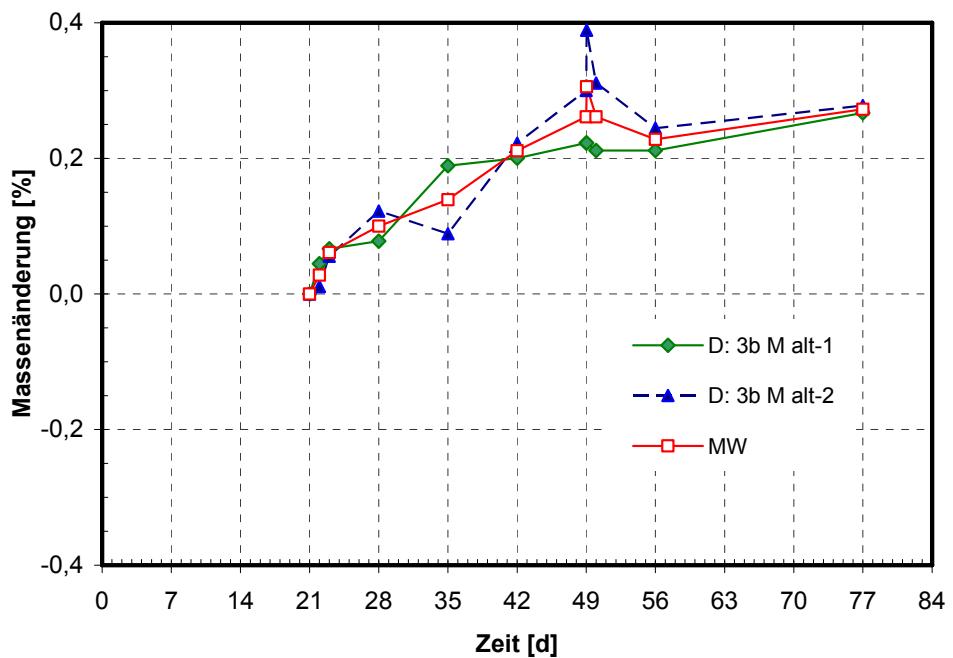


Bild 101: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b M alt, Masseänderung

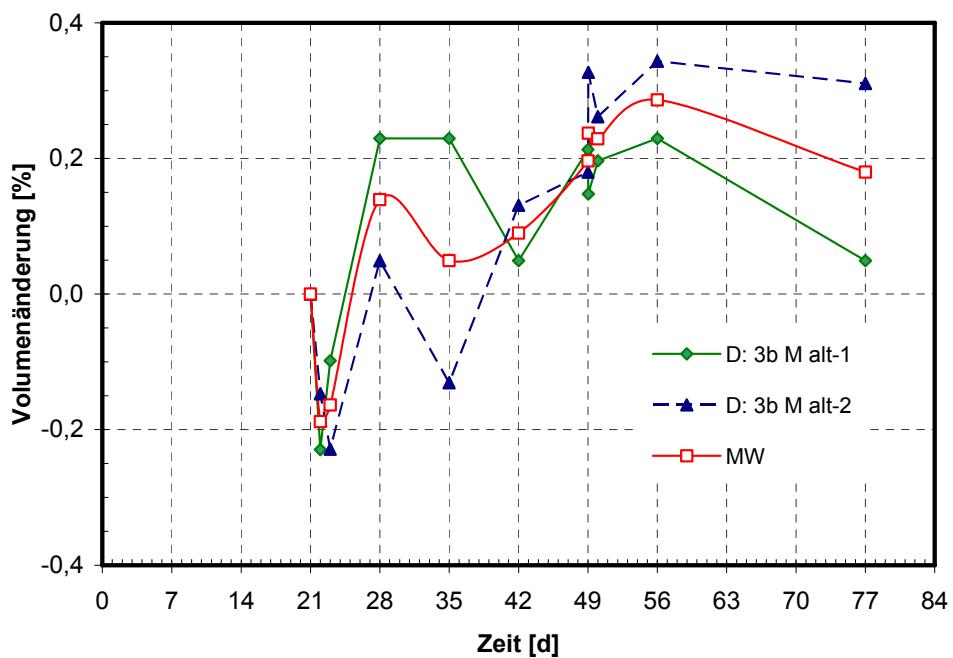


Bild 102: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b M alt, Volumenänderung

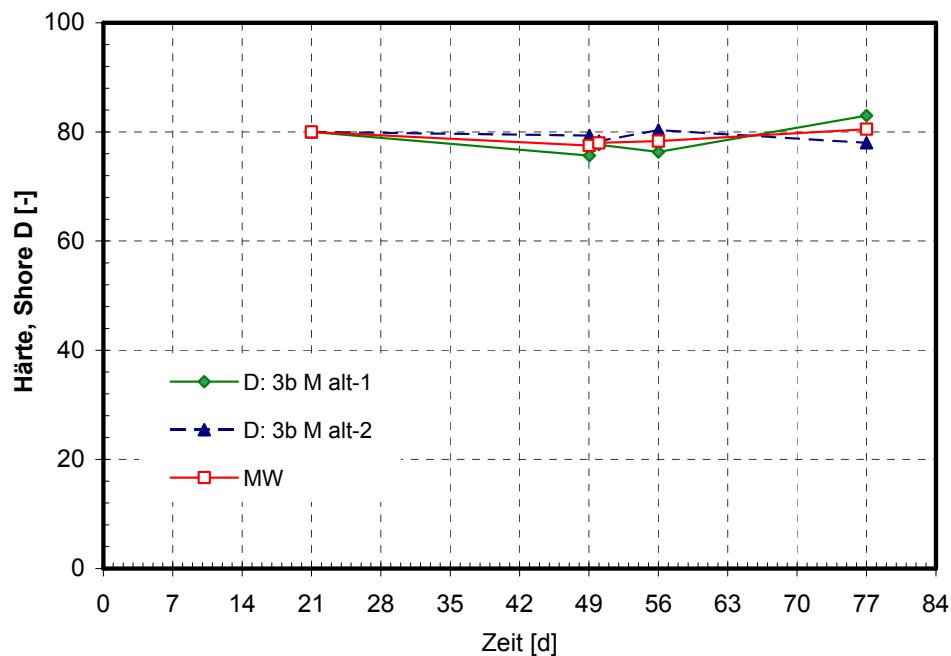


Bild 103: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b M alt, Härteänderung (Shore-Einheiten)

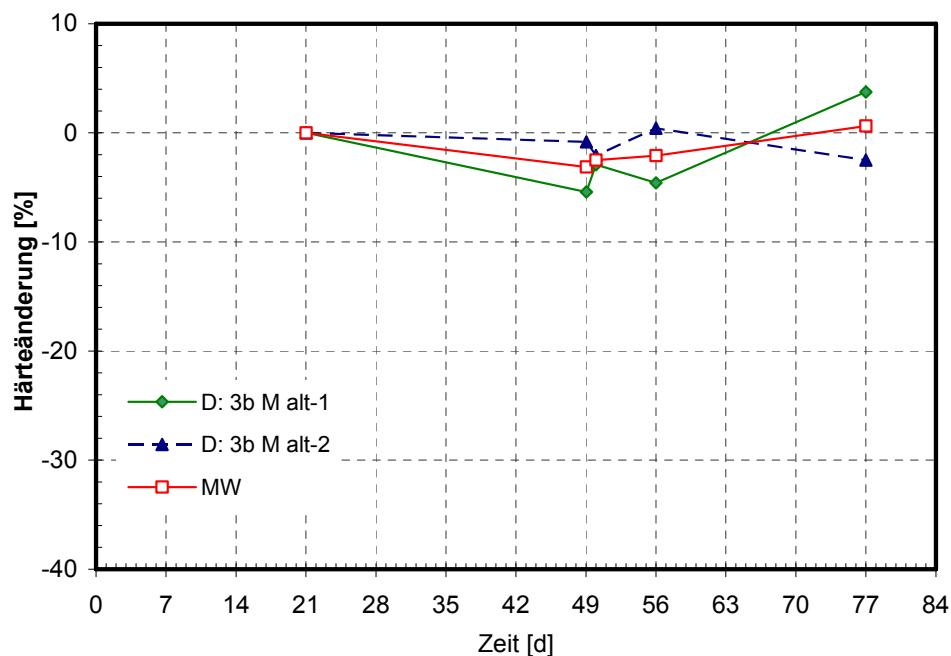


Bild 104: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b M alt, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

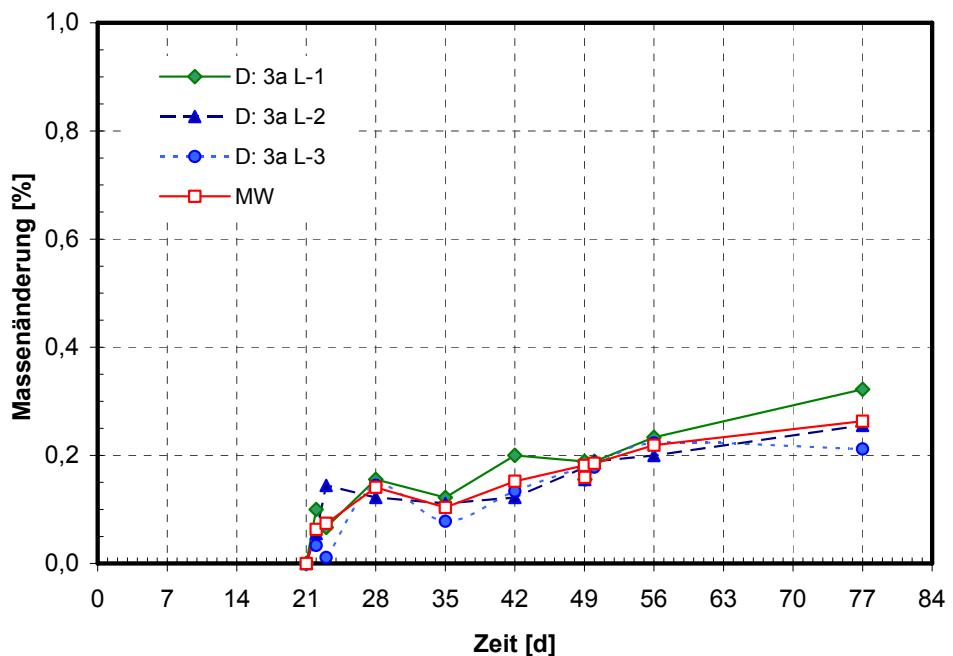


Bild 105: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a L, Masseänderung

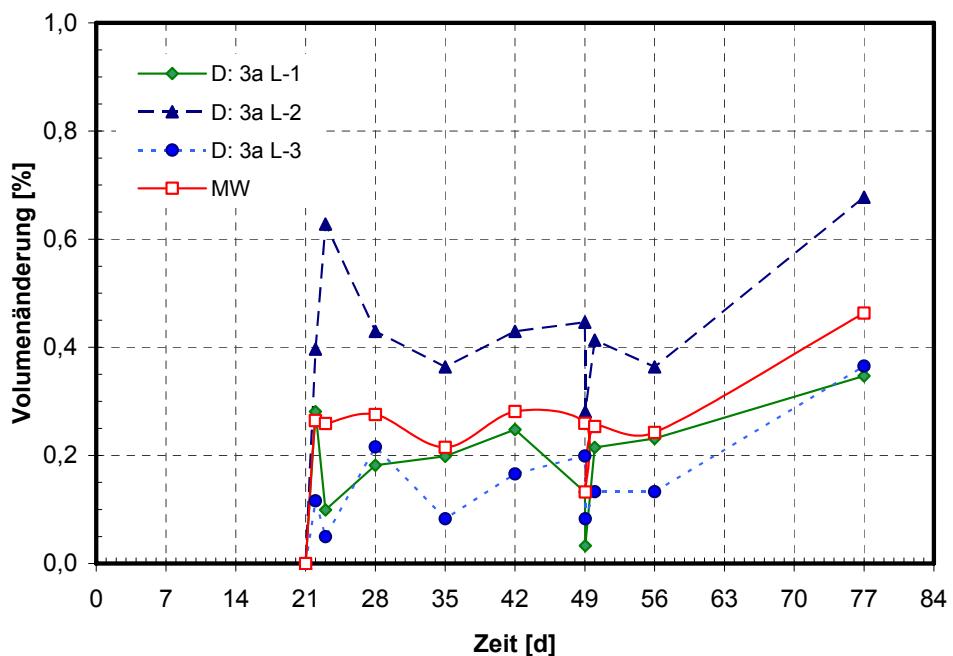


Bild 106: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a L, Volumenänderung

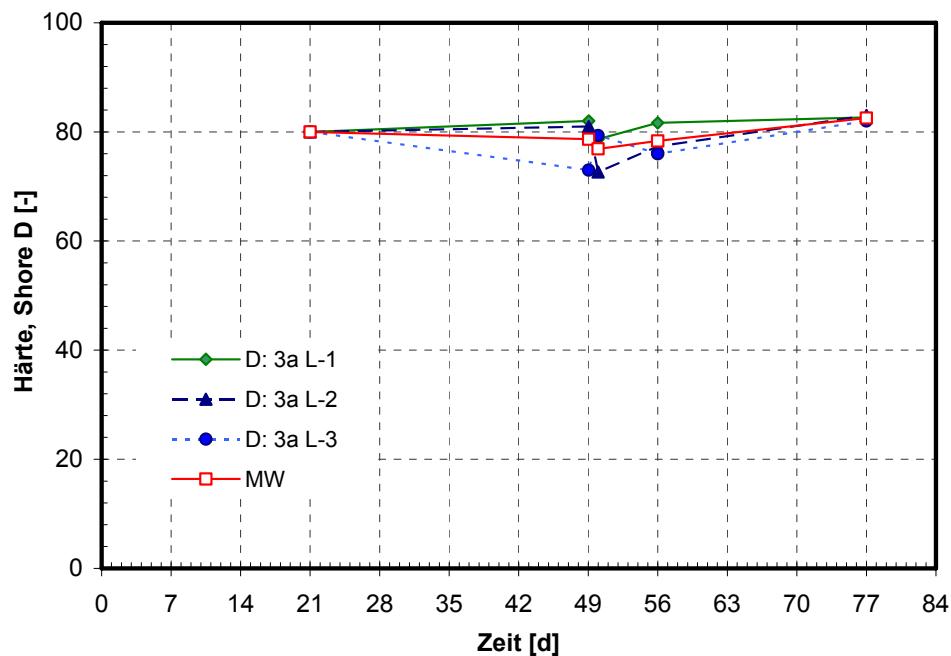


Bild 107: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a L, Härteänderung (Shore-Einheiten)

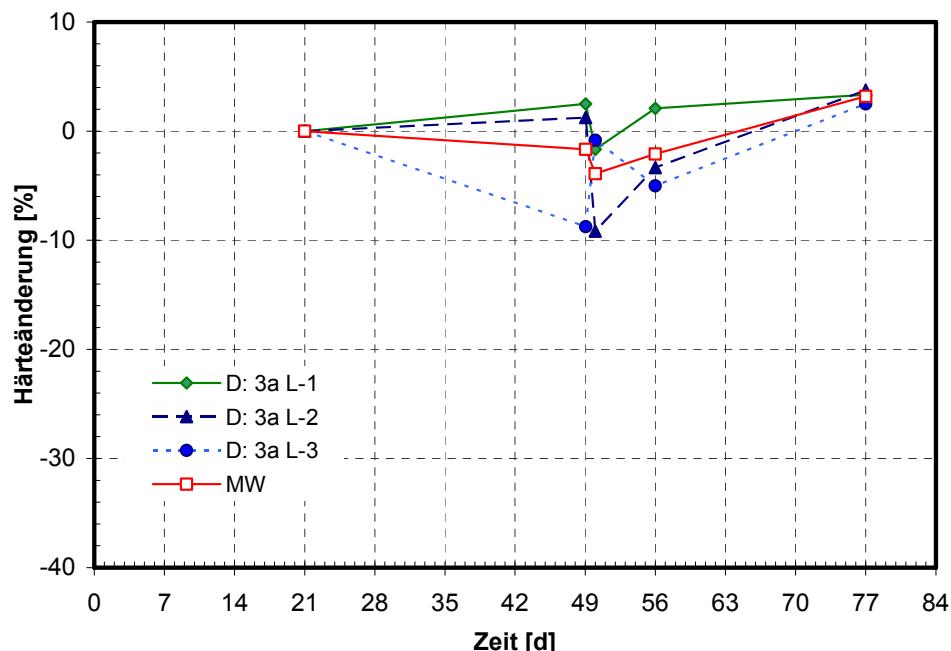


Bild 108: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a L, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

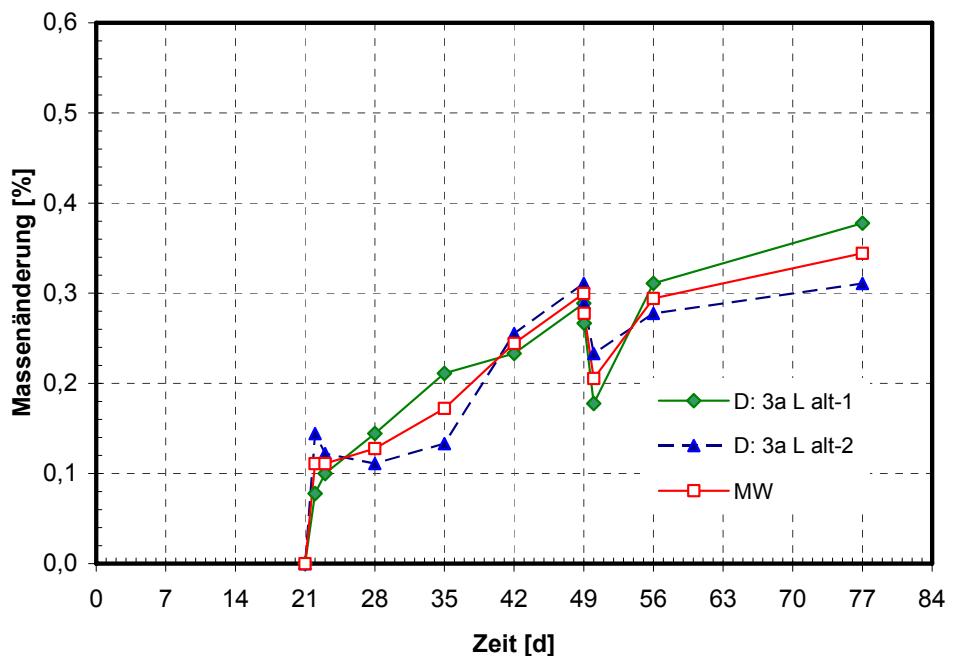


Bild 109: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a L alt, Masseänderung

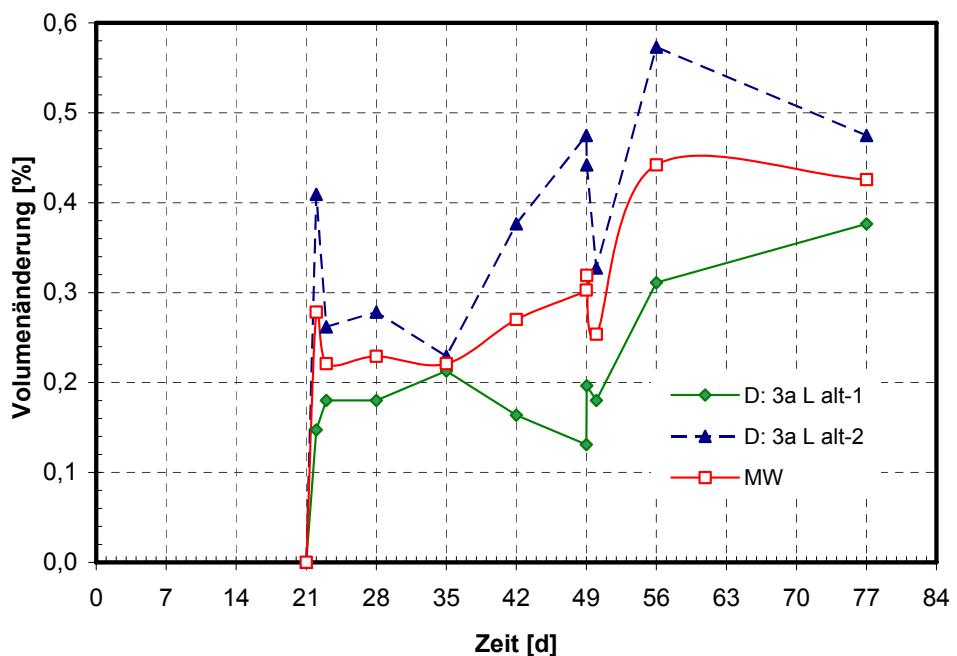


Bild 110: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a L alt, Volumenänderung

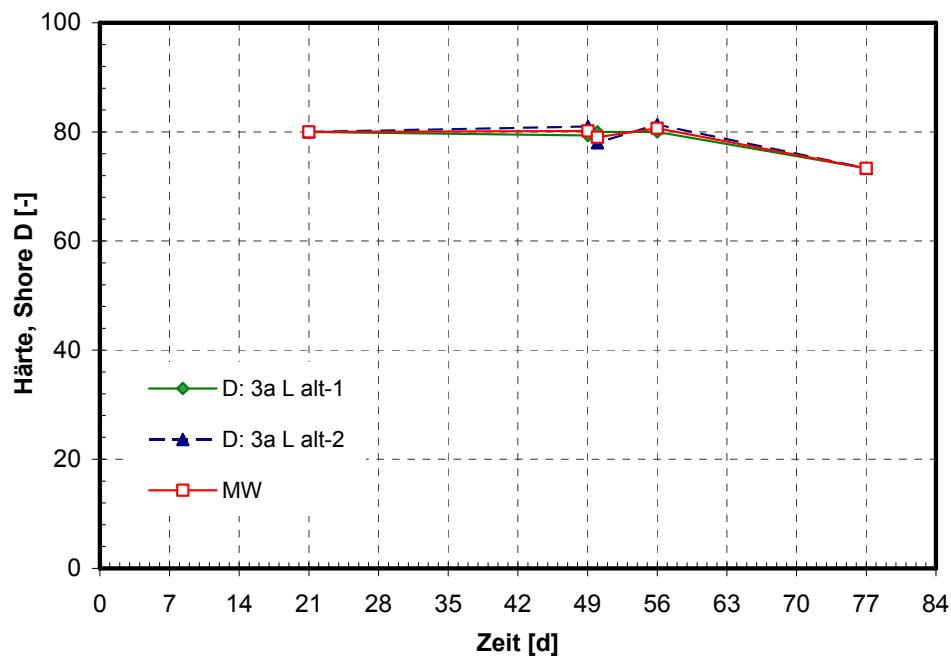


Bild 111: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a L alt, Härteänderung (Shore-Einheiten)

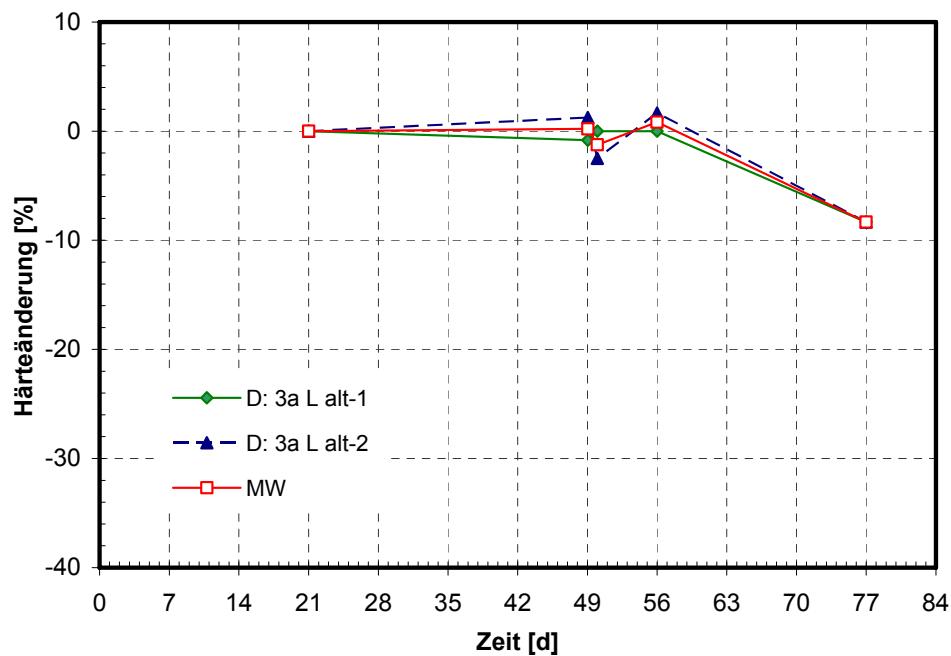


Bild 112: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3a L alt, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

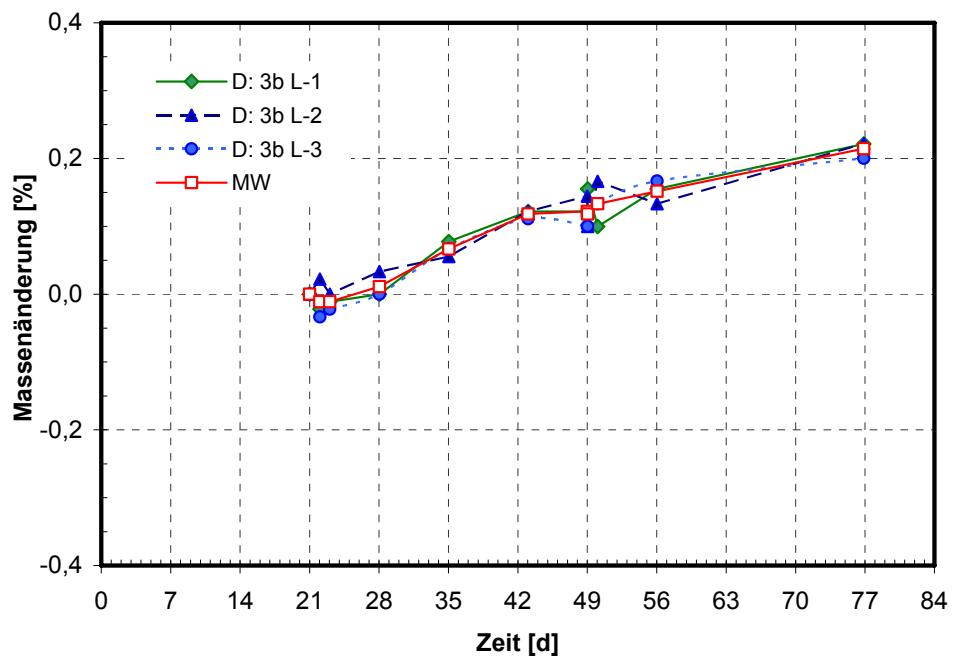


Bild 113: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b L, Masseänderung

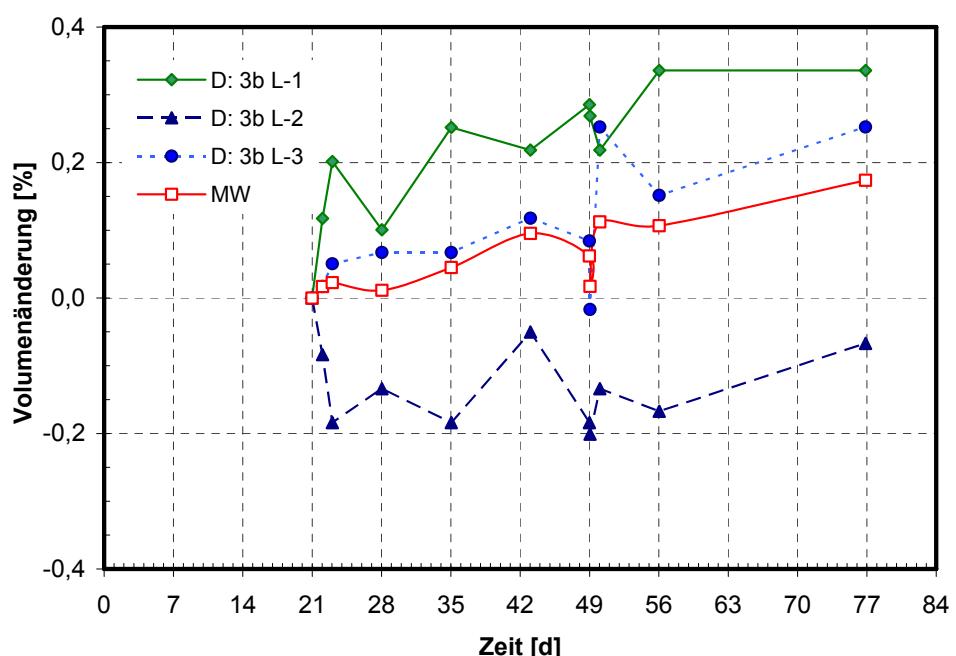


Bild 114: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b L, Volumenänderung

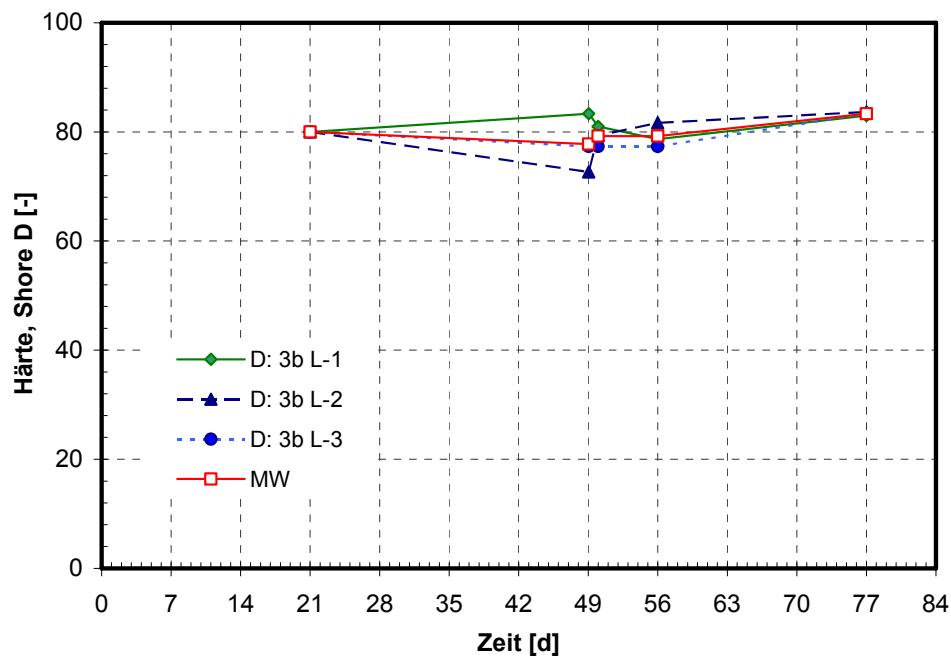


Bild 115: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b L, Härteänderung (Shore-Einheiten)

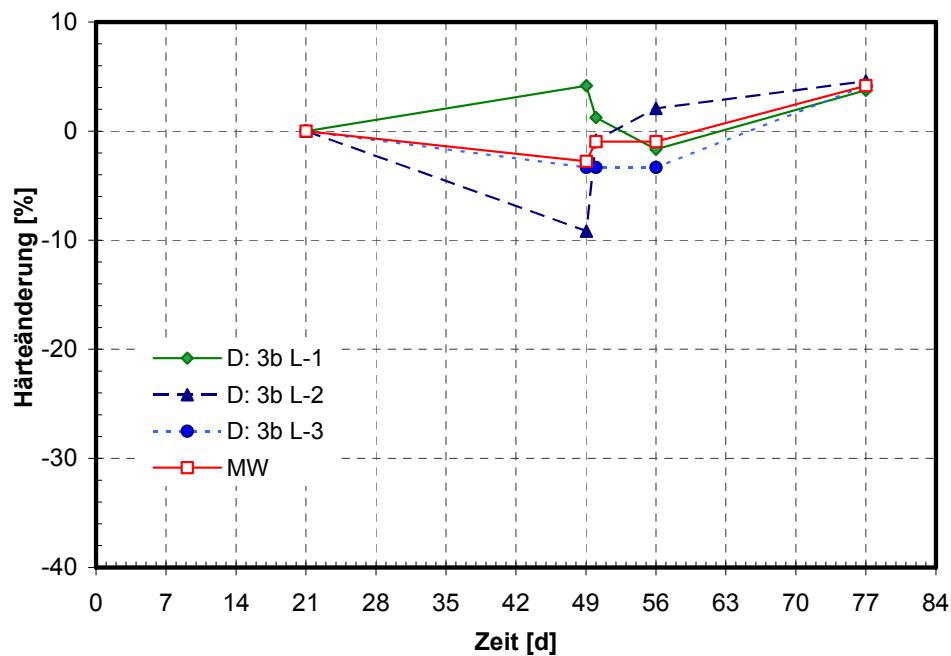


Bild 116: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b L, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

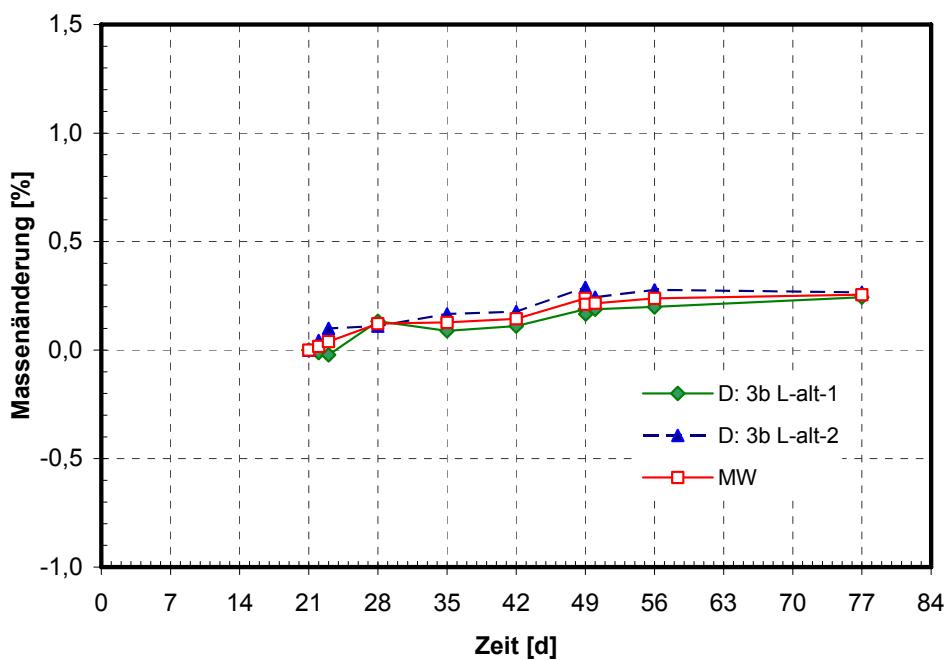


Bild 117: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b L alt, Masseänderung

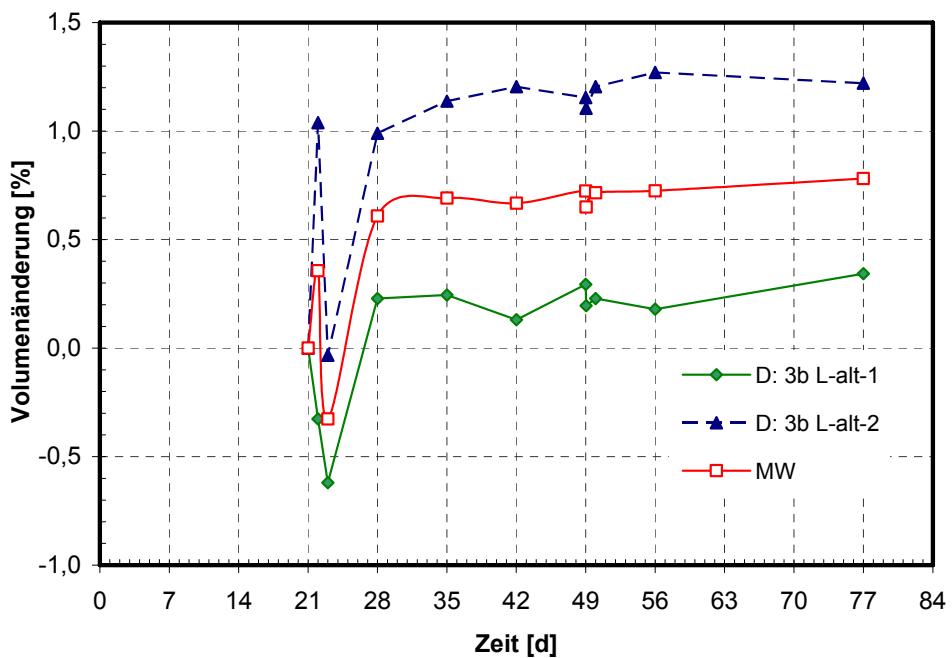


Bild 118: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b L alt, Volumenänderung

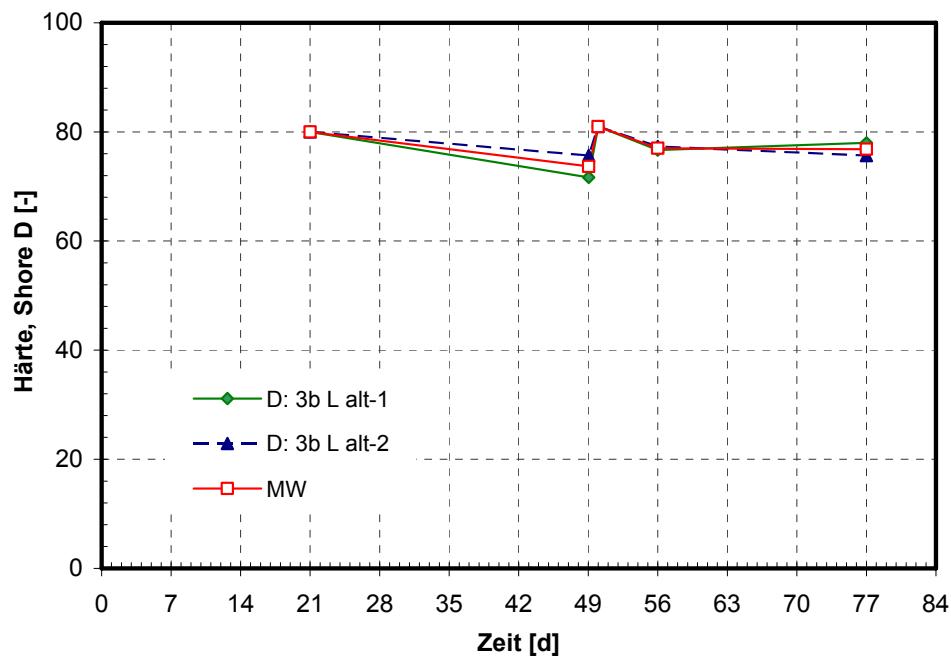


Bild 119: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b L alt, Härteänderung (Shore-Einheiten)

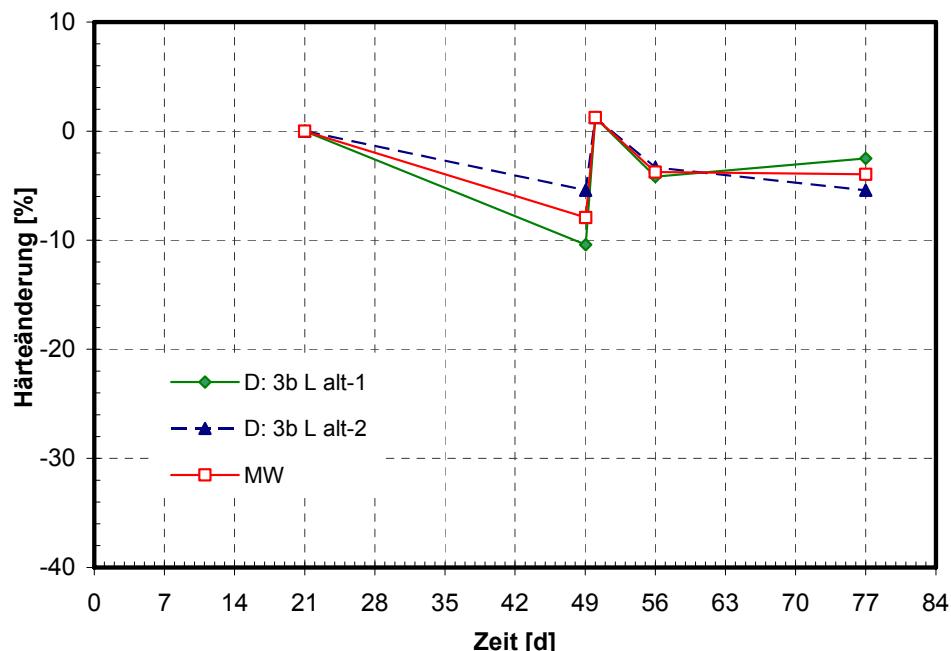


Bild 120: EP-Beschichtung, Einlagerung in 3b L alt, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50% r. F. gelagerte Probe

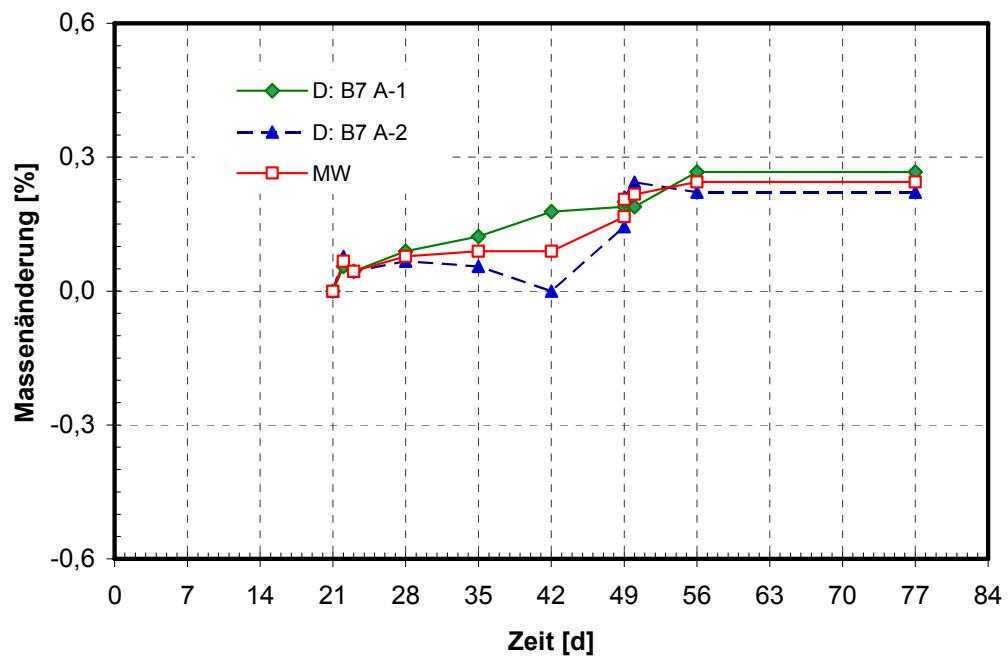


Bild 121: EP-Beschichtung, Einlagerung in B7 A, Masseänderung

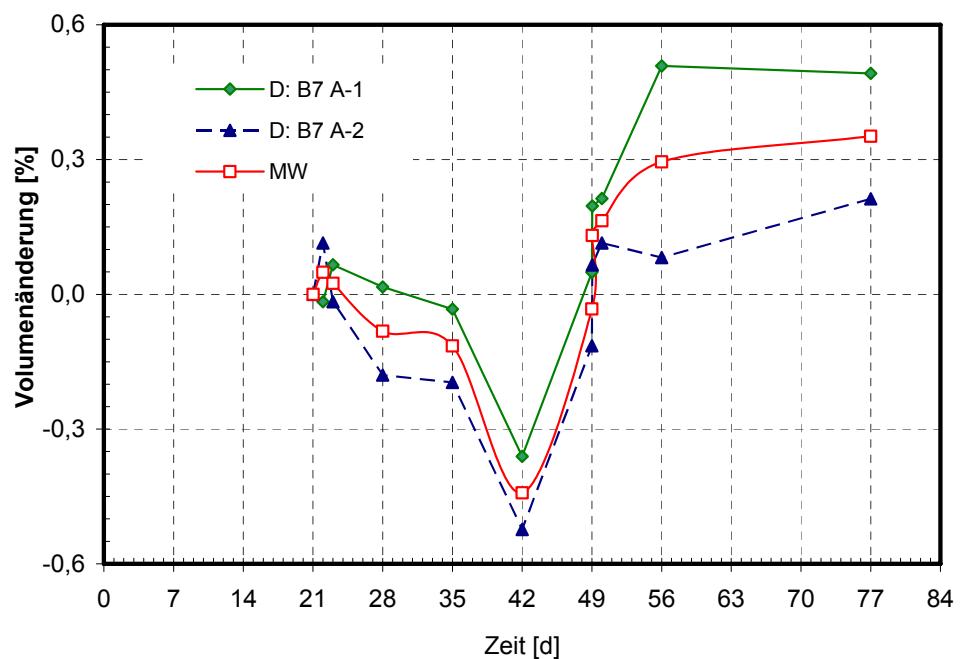


Bild 122: EP-Beschichtung, Einlagerung in B7 A, Volumenänderung

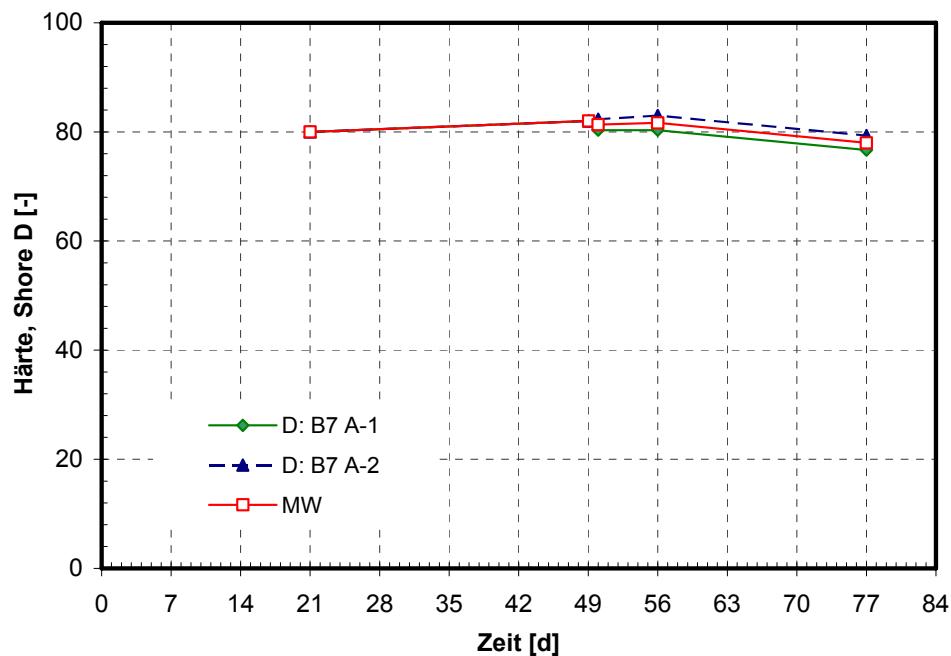


Bild 123: EP-Beschichtung, Einlagerung in B7 A, Härteänderung (Shore-Einheiten)

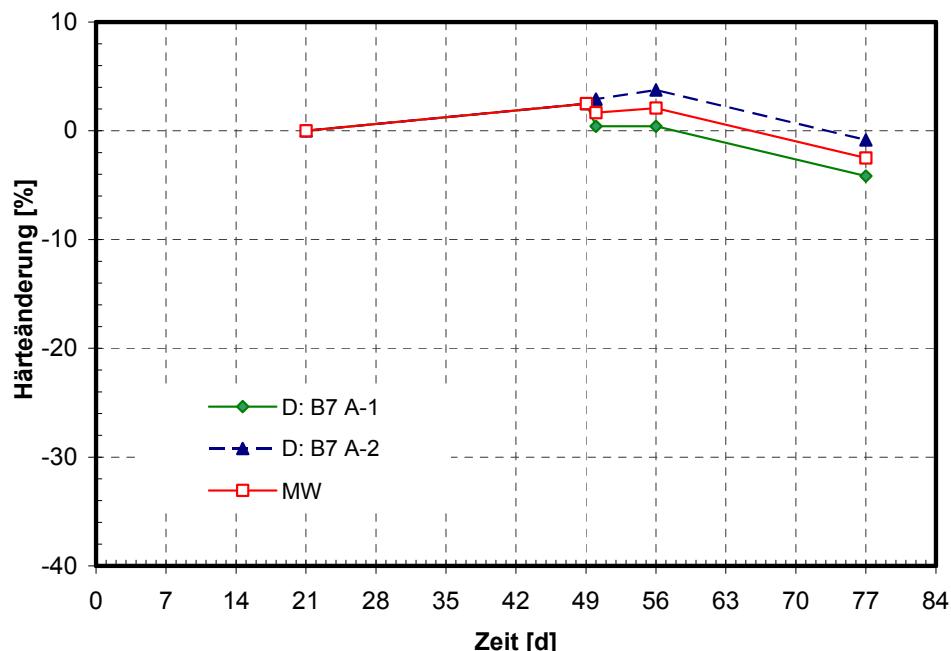


Bild 124: EP-Beschichtung, Einlagerung in B7 A, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

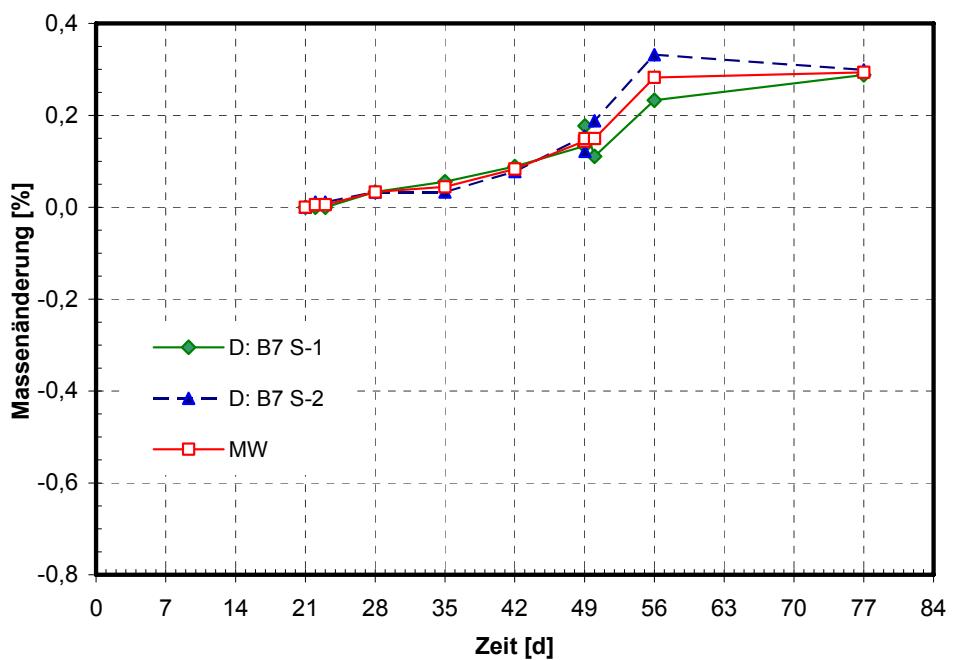


Bild 125: EP-Beschichtung, Einlagerung in B7 S, Masseänderung

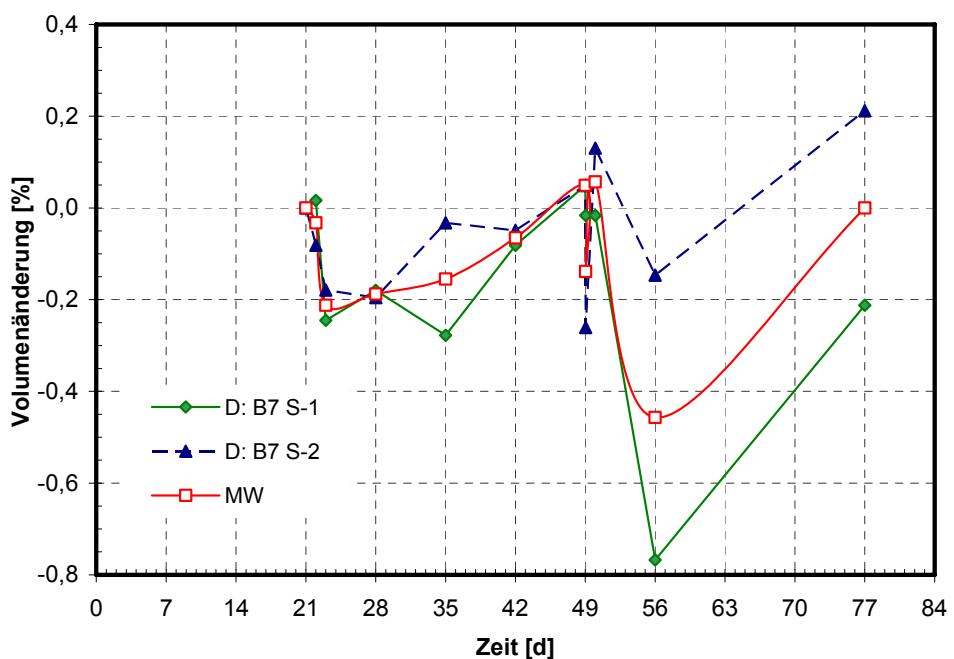


Bild 126: EP Beschichtung, Einlagerung in B7 S, Volumenänderung

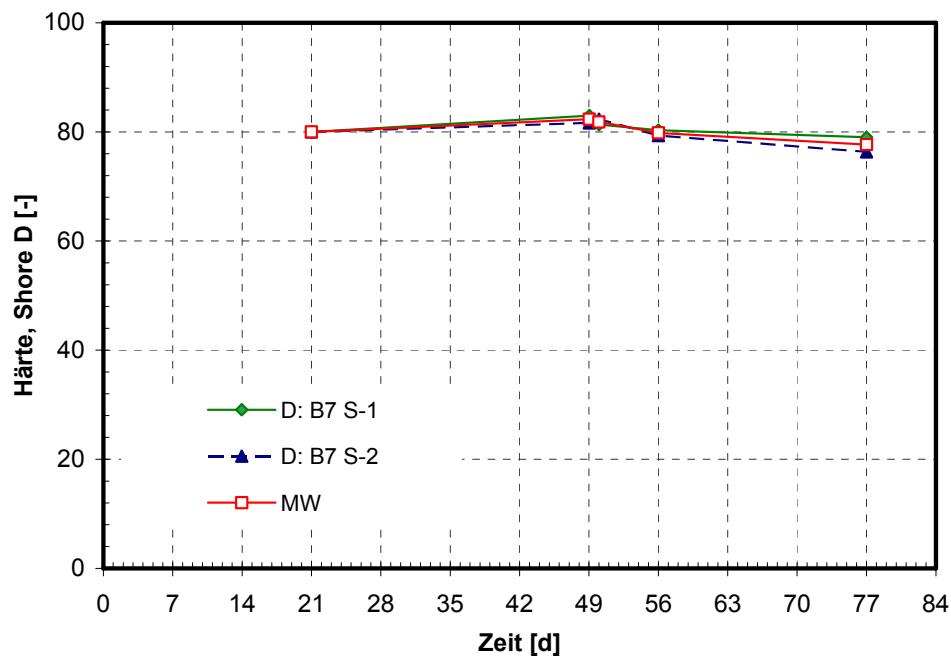


Bild 127: EP-Beschichtung, Einlagerung in B7 S, Härteänderung (Shore-Einheiten)

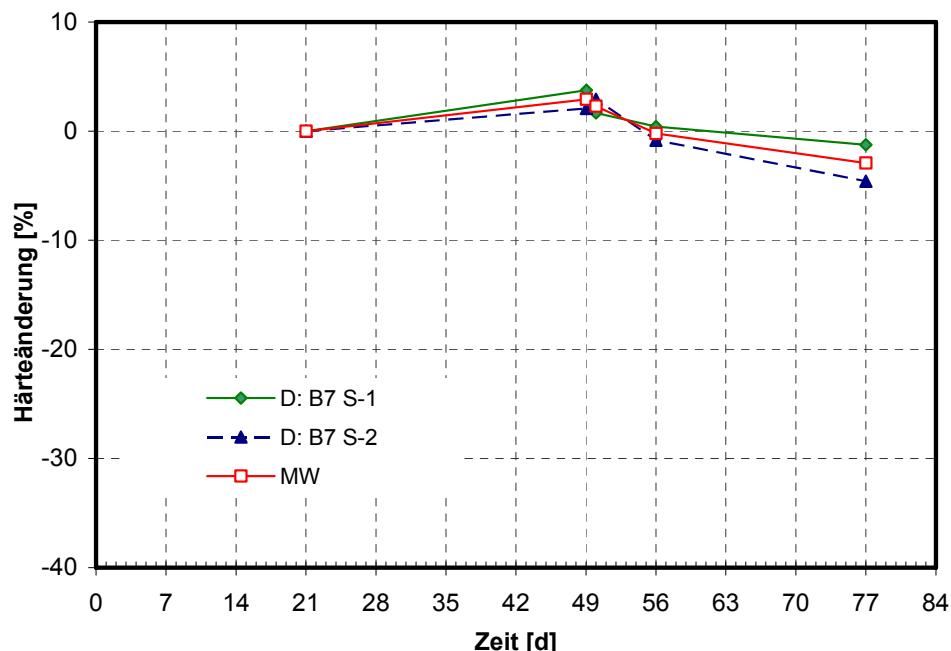


Bild 128: EP-Beschichtung, Einlagerung in B7 S, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

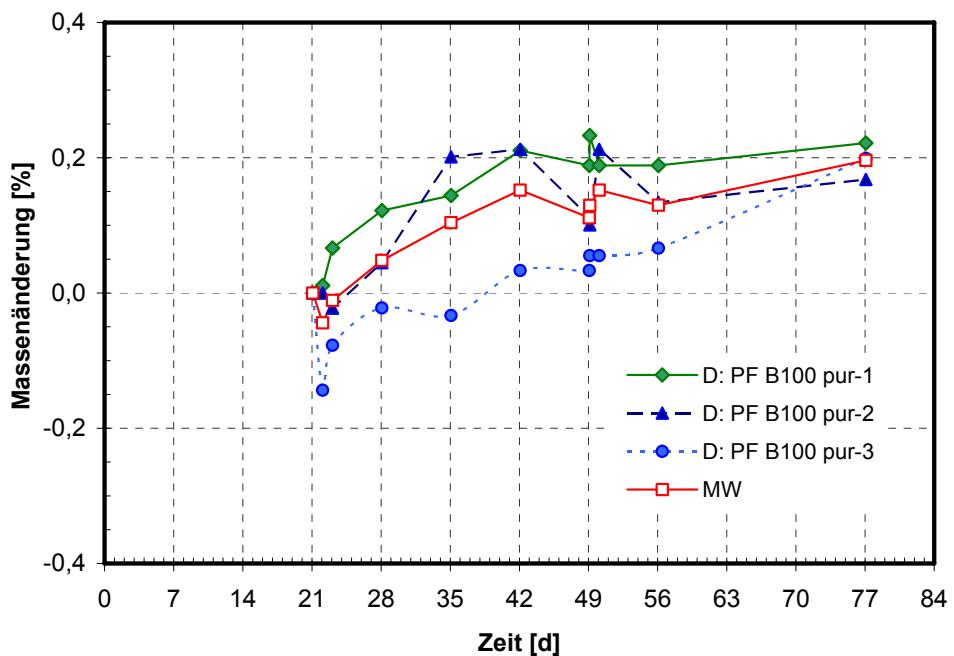


Bild 129: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF B100 pur, Masseänderung

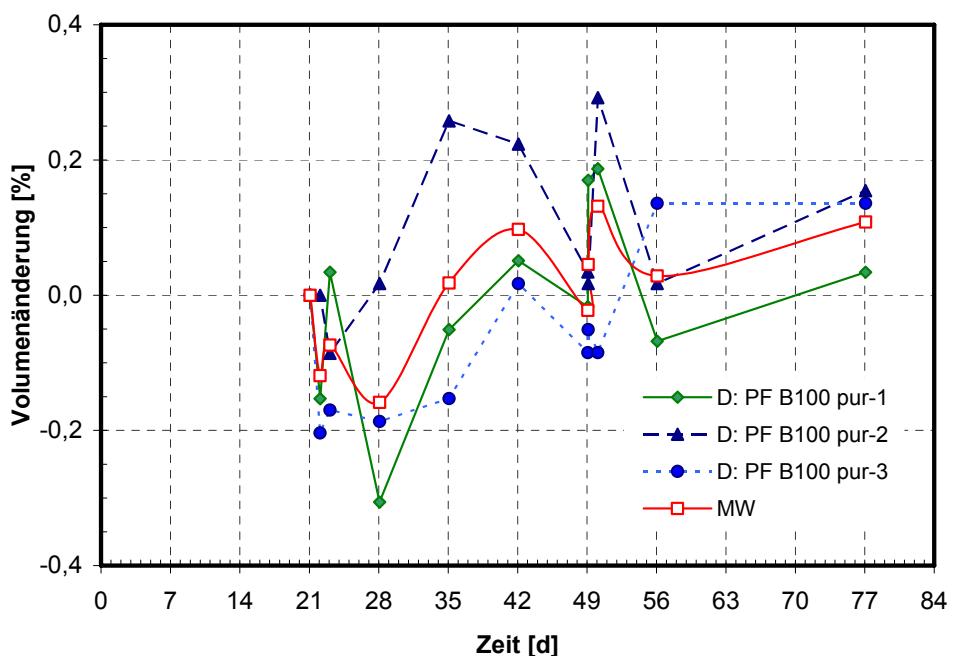


Bild 130: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF B100 pur, Volumenänderung

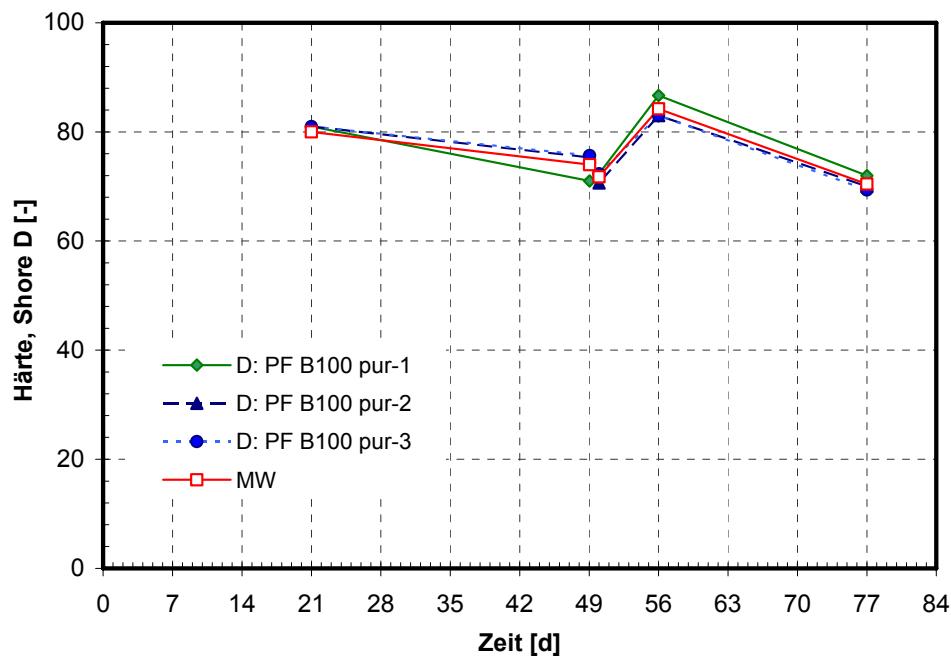


Bild 131: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF B100 pur, Härteänderung (Shore-Einheiten)

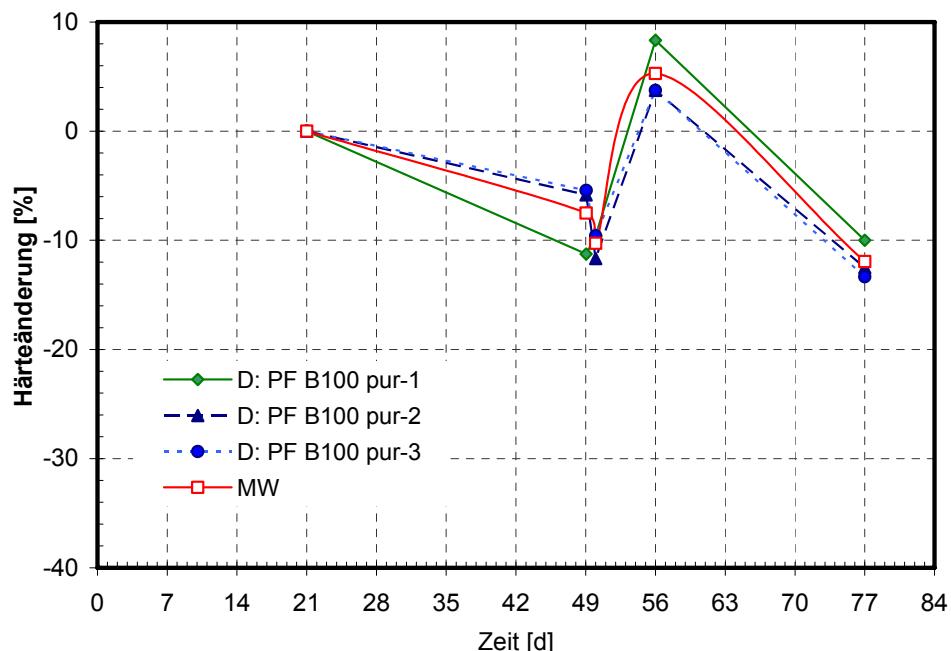


Bild 132: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF B100 pur, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

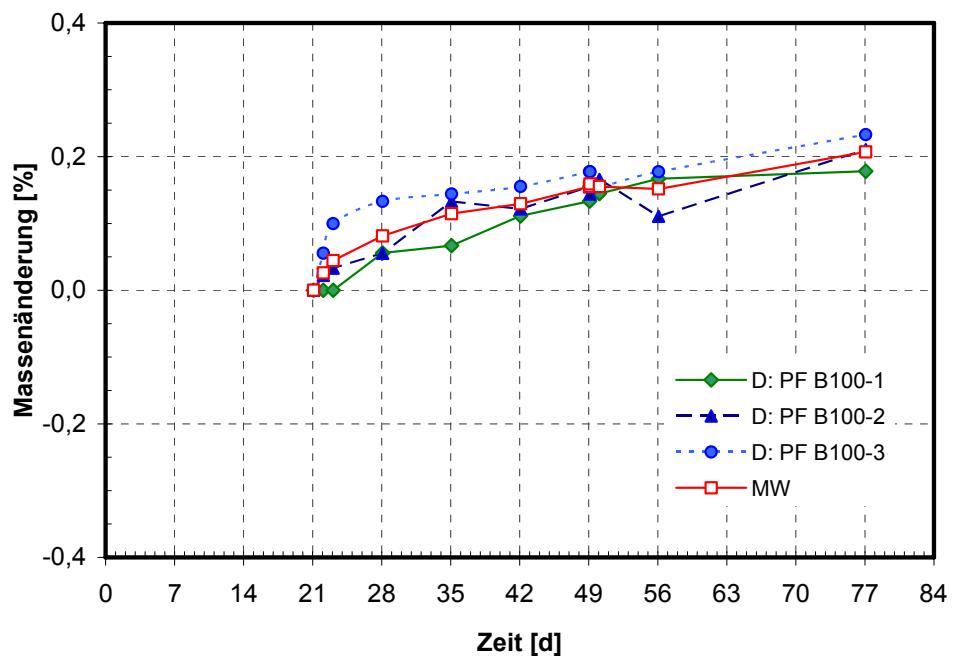


Bild 133: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF B100, Masseänderung

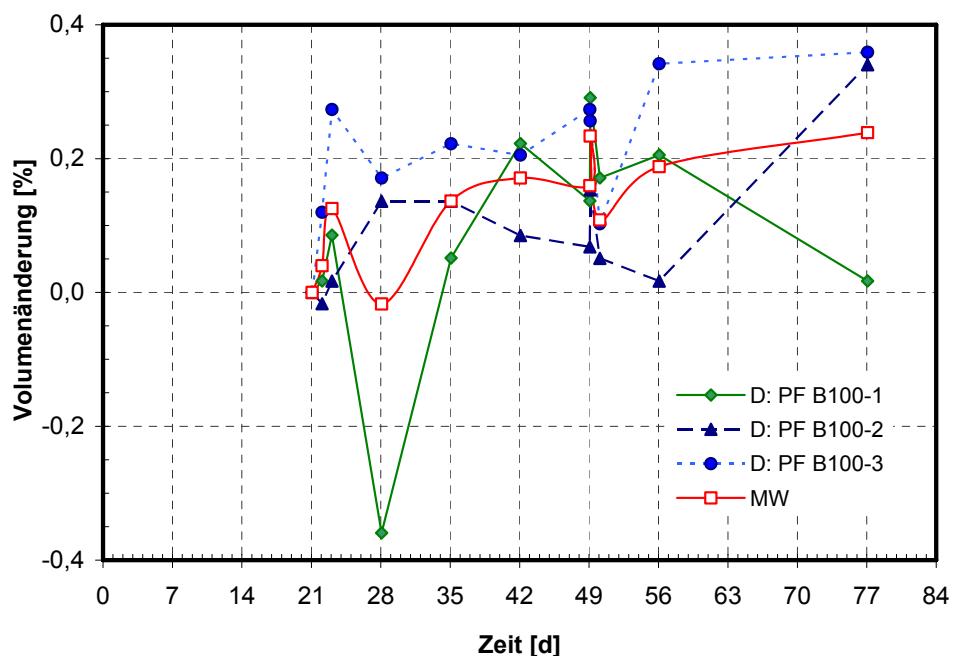


Bild 134: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF B100, Volumenänderung

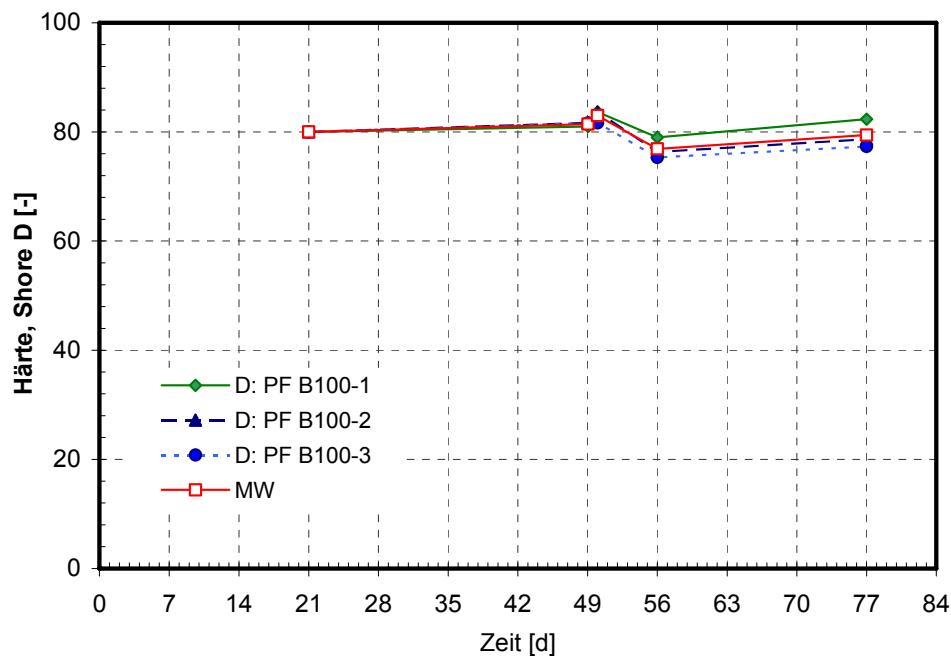


Bild 135: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF B100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

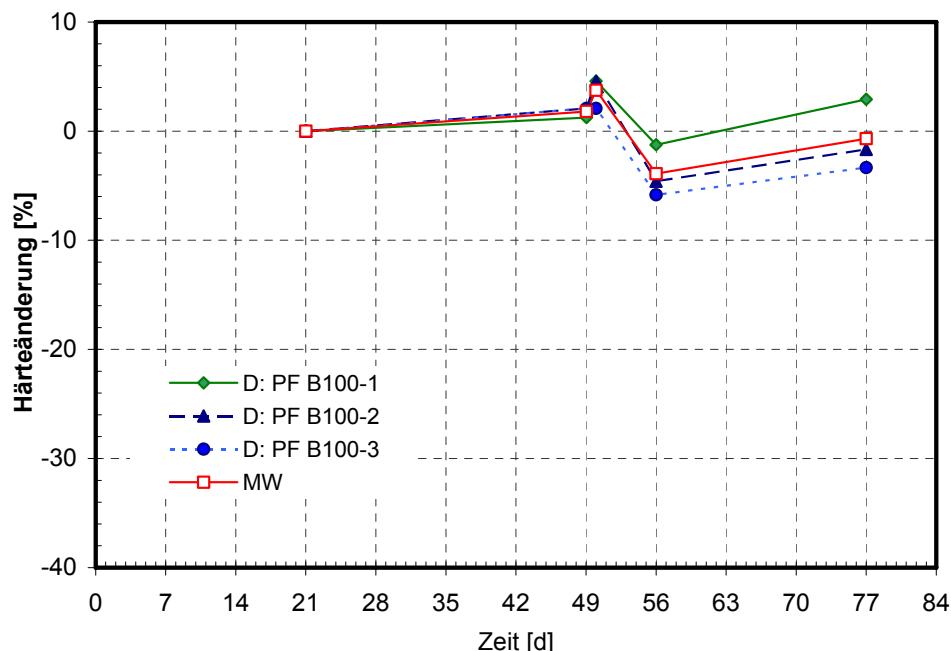


Bild 136: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF B100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

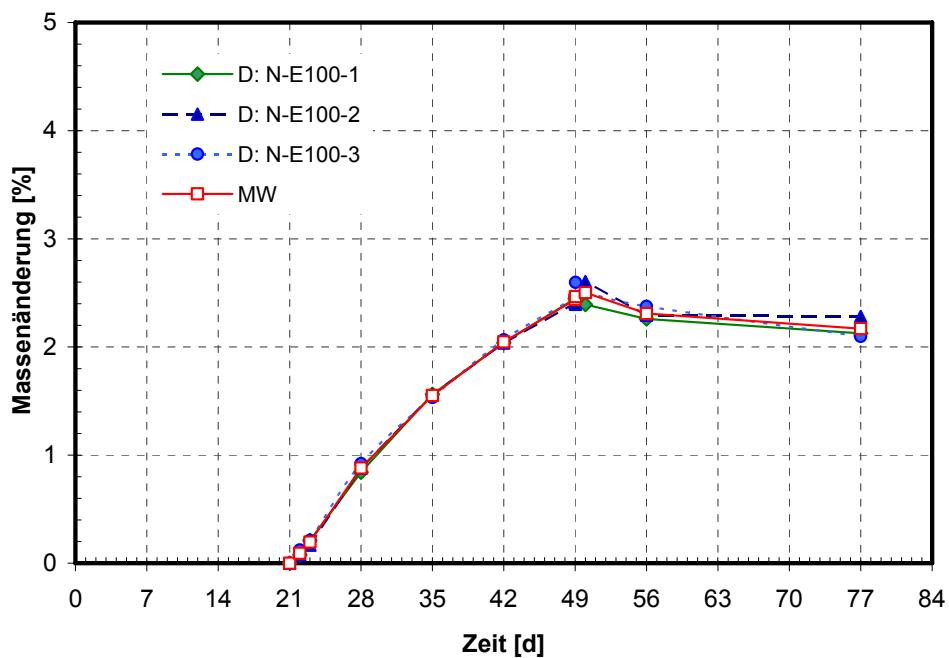


Bild 137: EP-Beschichtung, Einlagerung in N-E100, Masseänderung

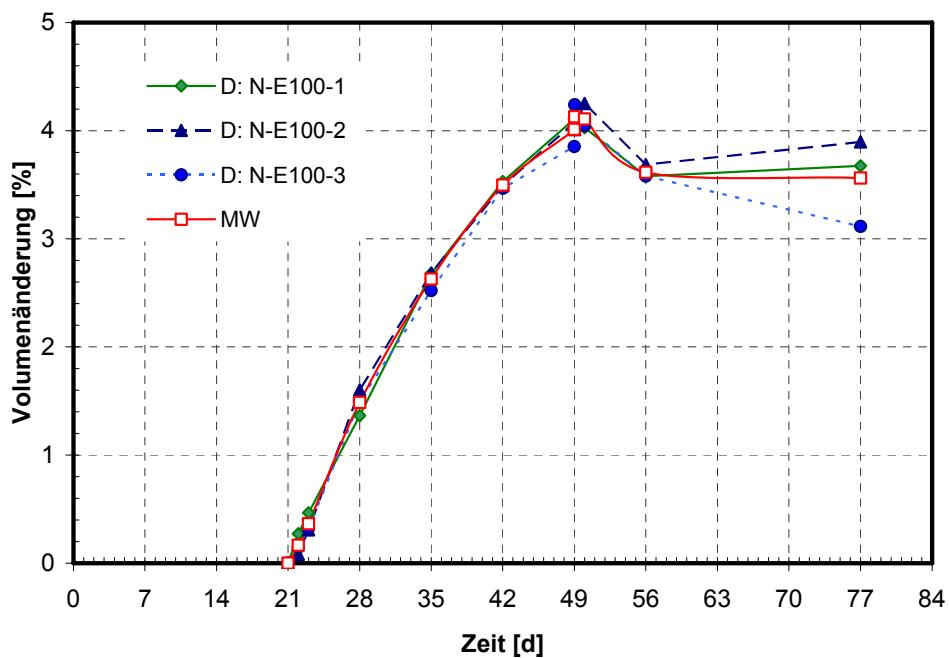


Bild 138: EP-Beschichtung, Einlagerung in N-E100, Volumenänderung

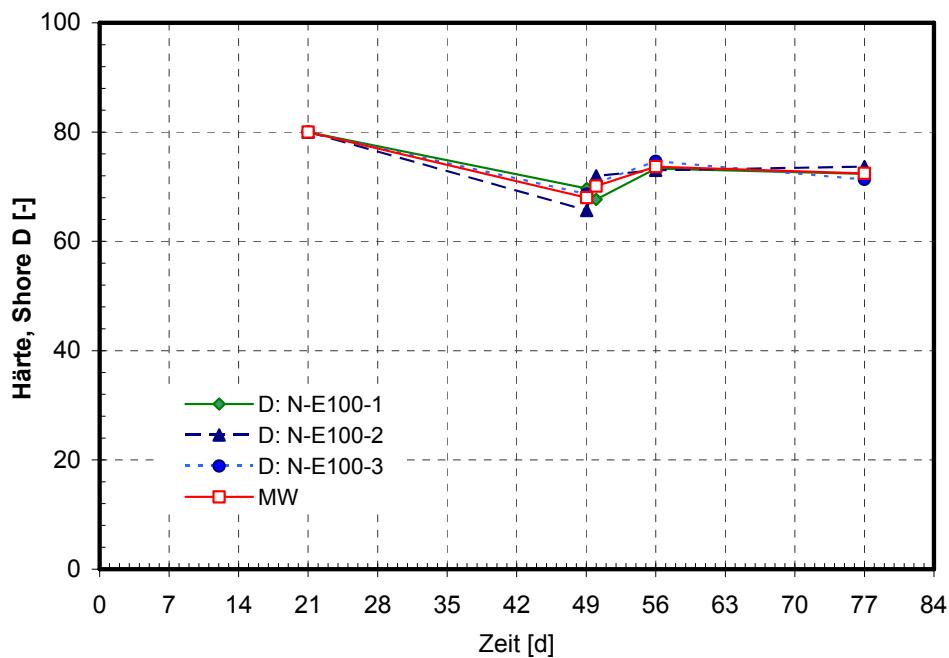


Bild 139: EP-Beschichtung, Einlagerung in N-E100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

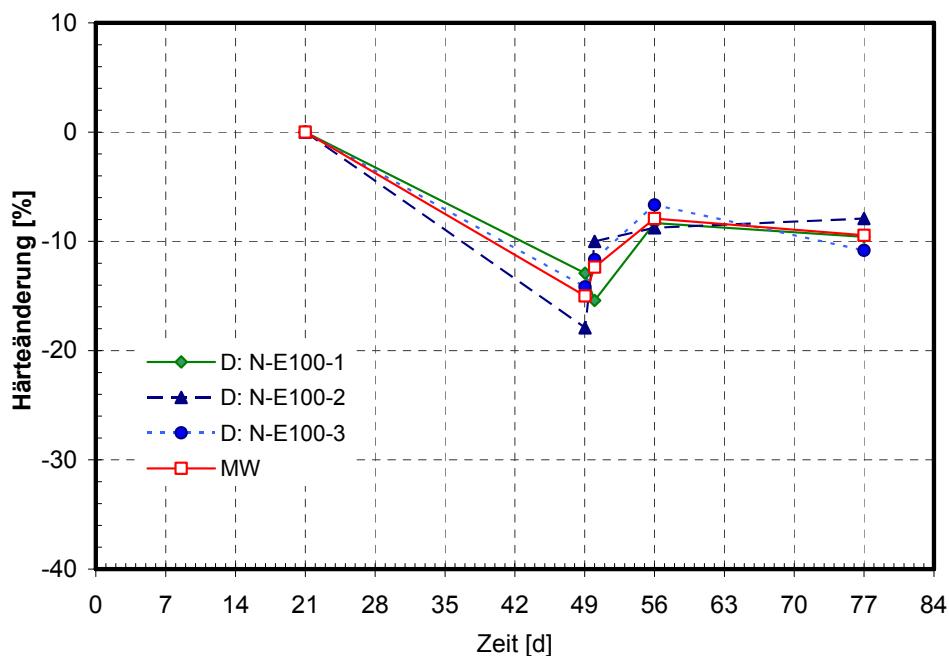


Bild 140: EP-Beschichtung, Einlagerung in N-E100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

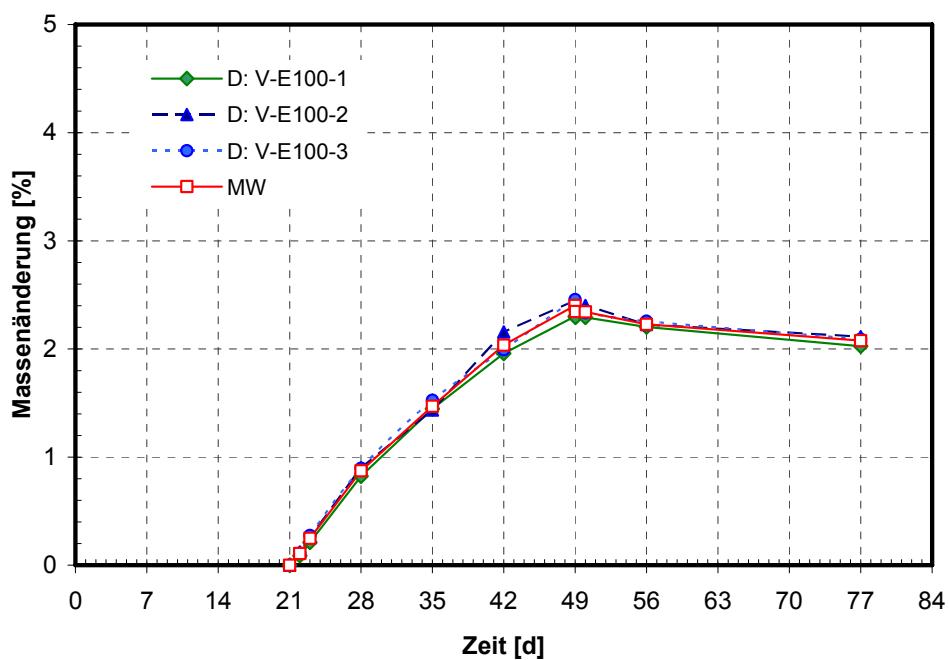


Bild 141: EP-Beschichtung, Einlagerung in V-E100, Masseänderung

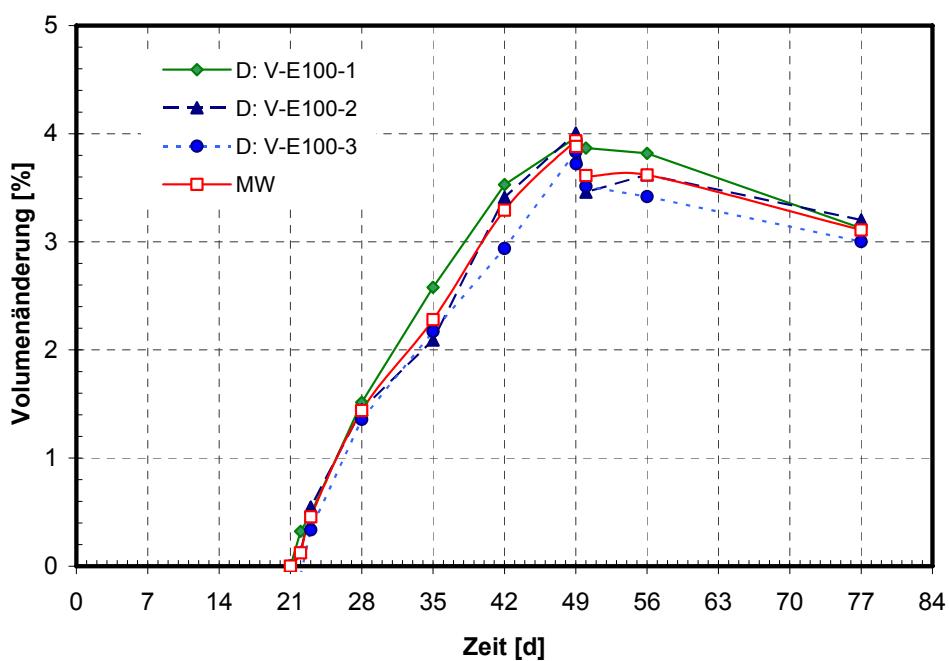


Bild 142: EP-Beschichtung, Einlagerung in V-E100, Volumenänderung

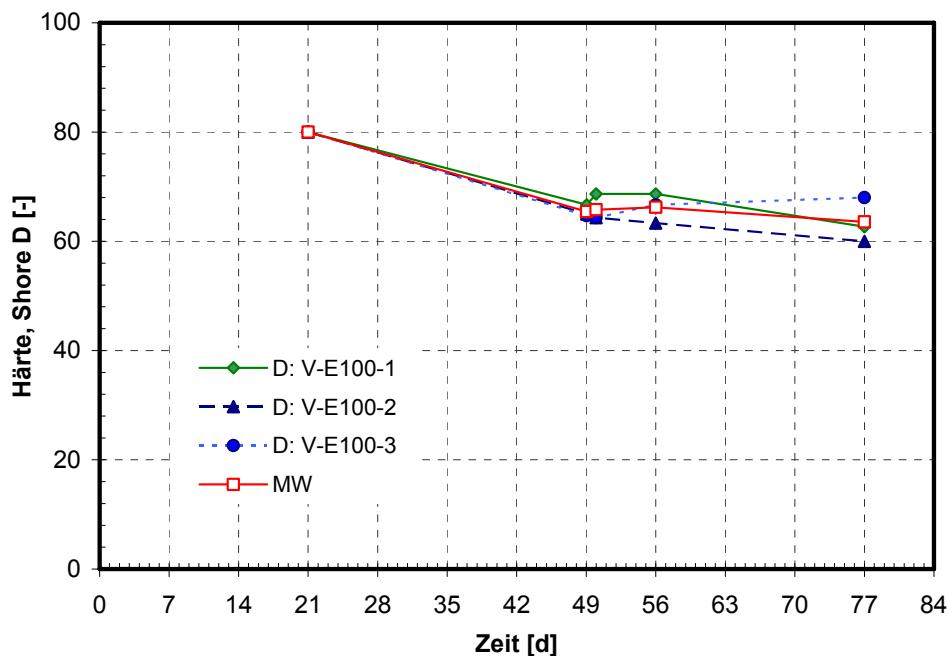


Bild 143: EP-Beschichtung, Einlagerung in V-E100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

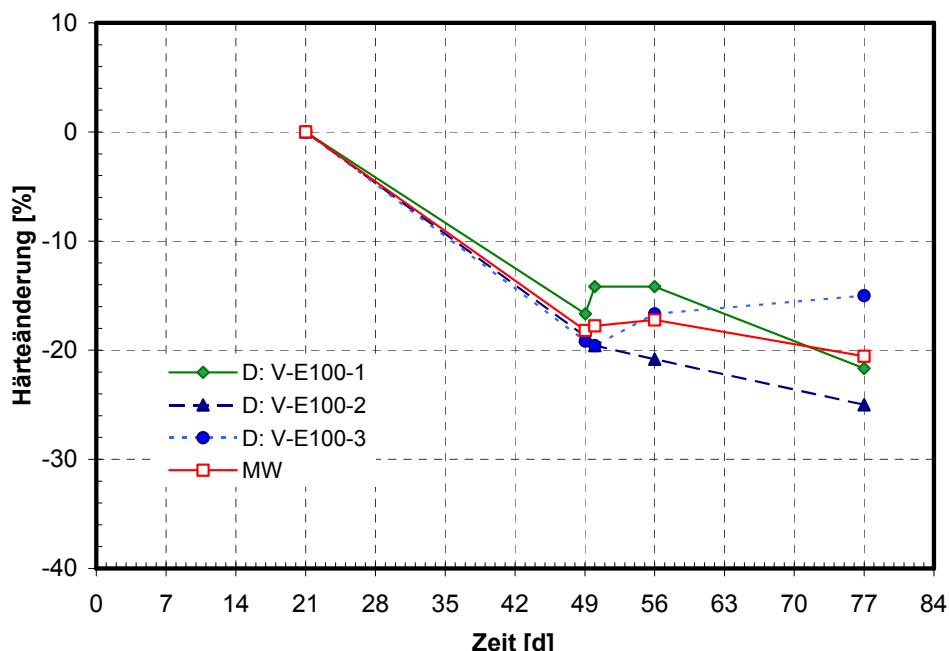


Bild 144: EP-Beschichtung, Einlagerung in V-E100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

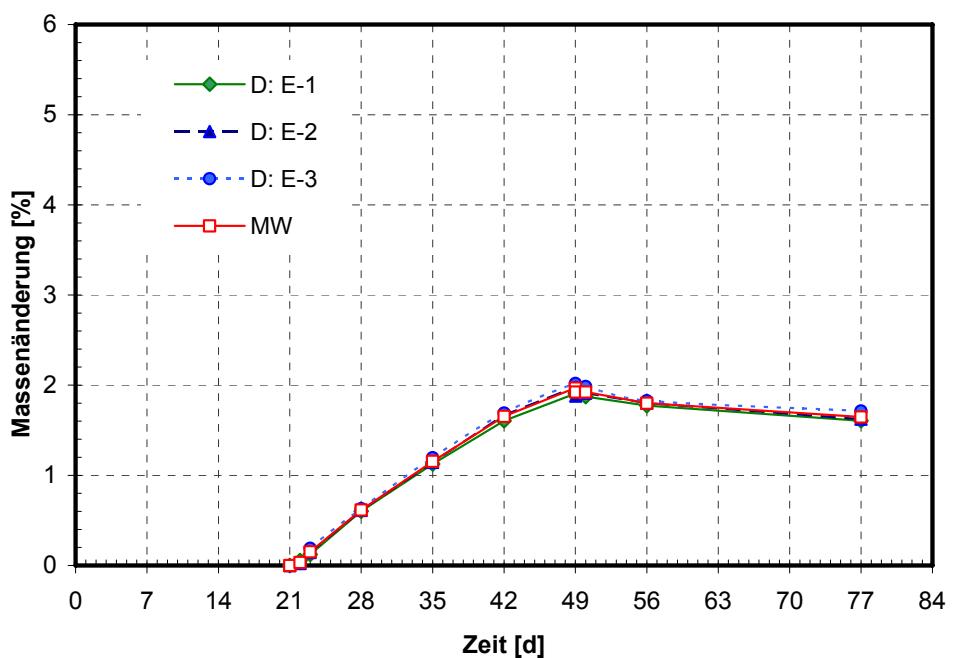


Bild 145: EP-Beschichtung, Einlagerung in E, Masseänderung

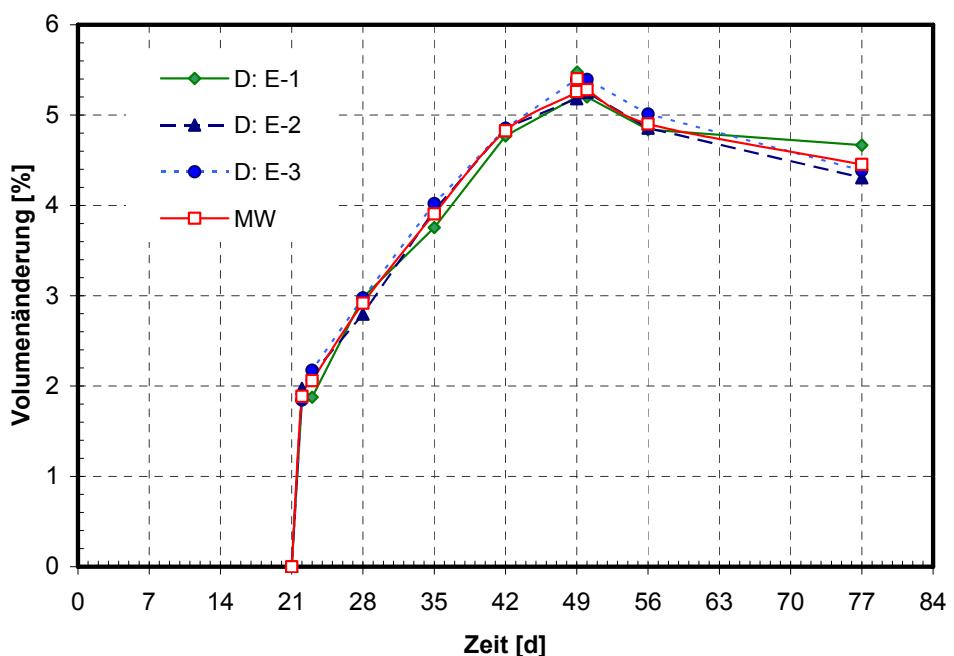


Bild 146: EP-Beschichtung, Einlagerung in E, Volumenänderung

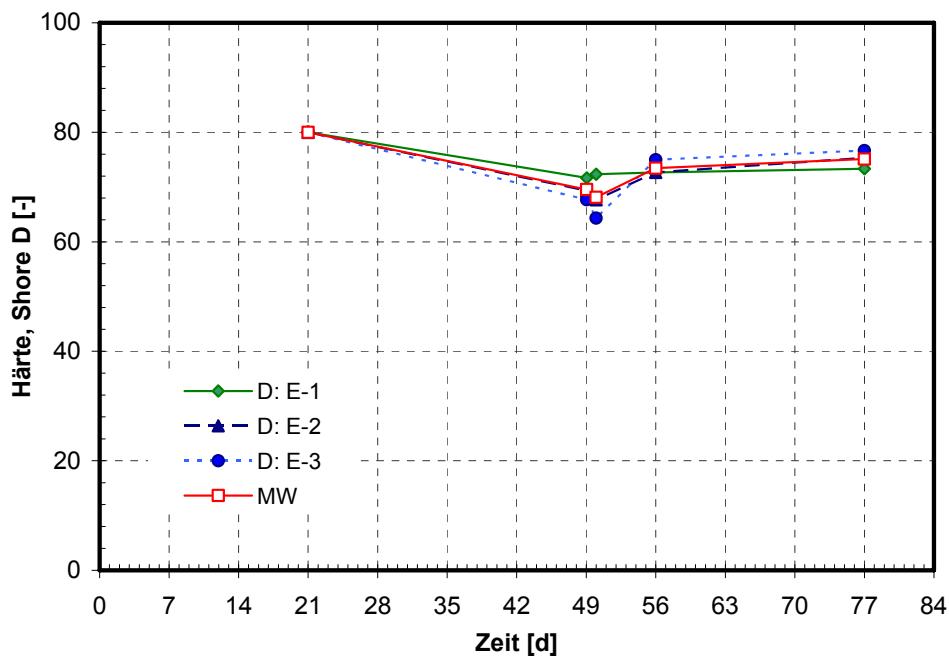


Bild 147: EP-Beschichtung, Einlagerung in E, Härteänderung (Shore-Einheiten)

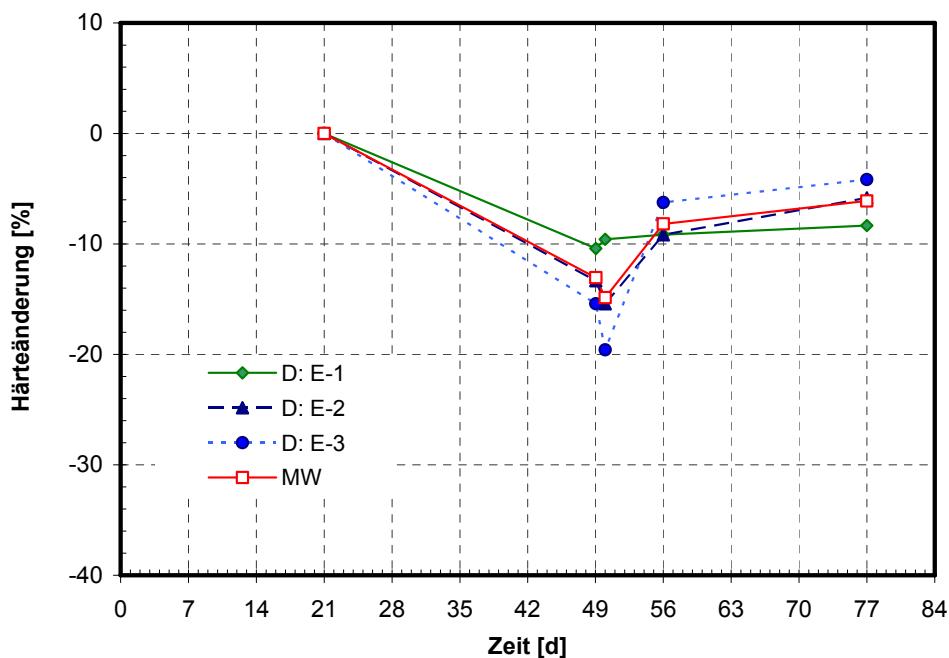


Bild 148: EP-Beschichtung, Einlagerung in E, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

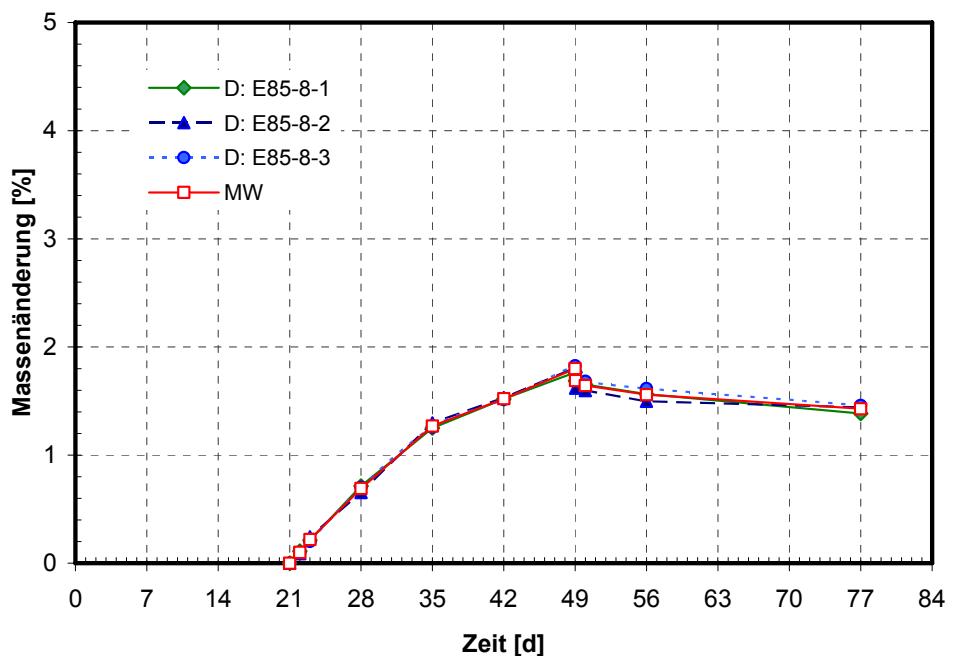


Bild 149: EP-Beschichtung, Einlagerung in E85-8, Masseänderung

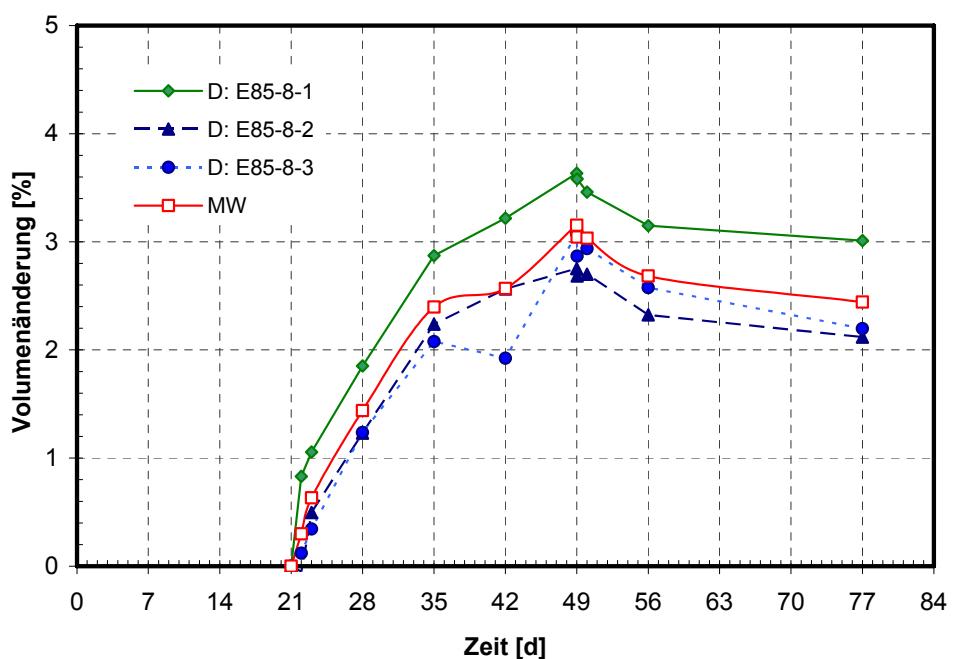


Bild 150: EP-Beschichtung, Einlagerung in E85-8, Volumenänderung

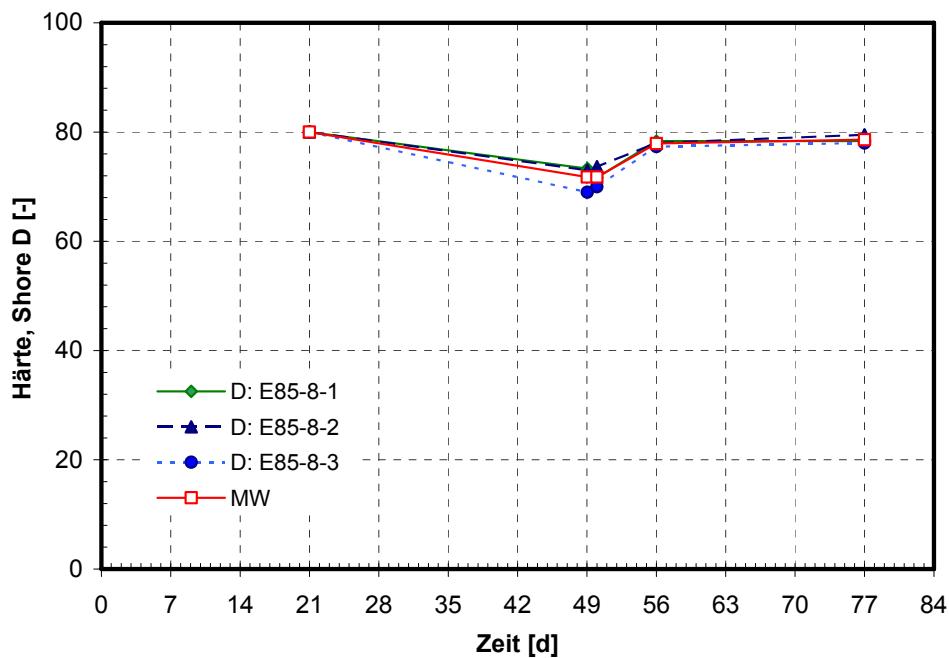


Bild 151: EP-Beschichtung, Einlagerung in E85-8, Härteänderung (Shore-Einheiten)

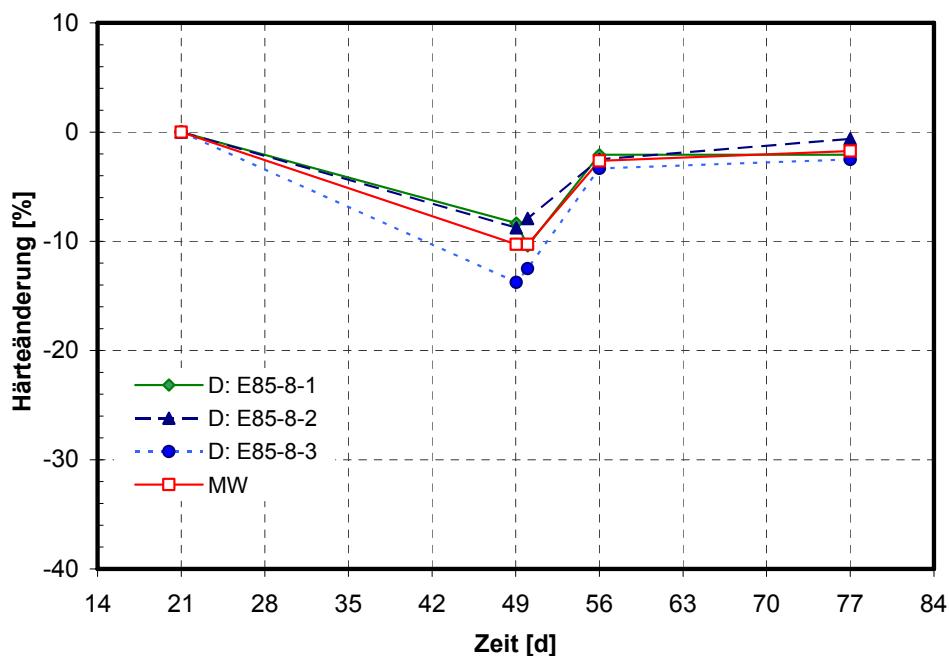


Bild 152: EP-Beschichtung, Einlagerung in E85-8, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

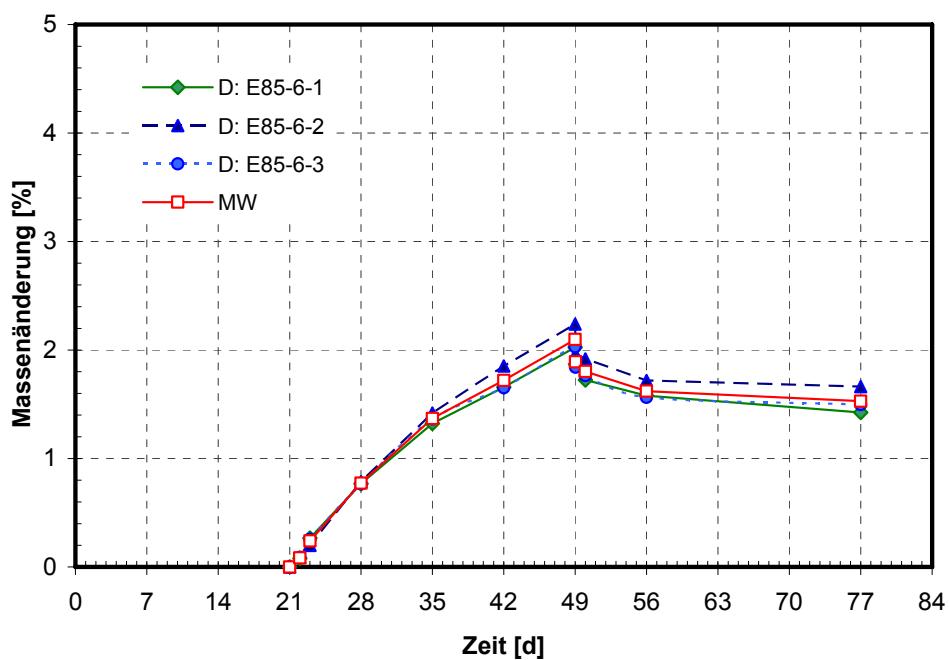


Bild 153: EP-Beschichtung, Einlagerung in E85-6, Masseänderung

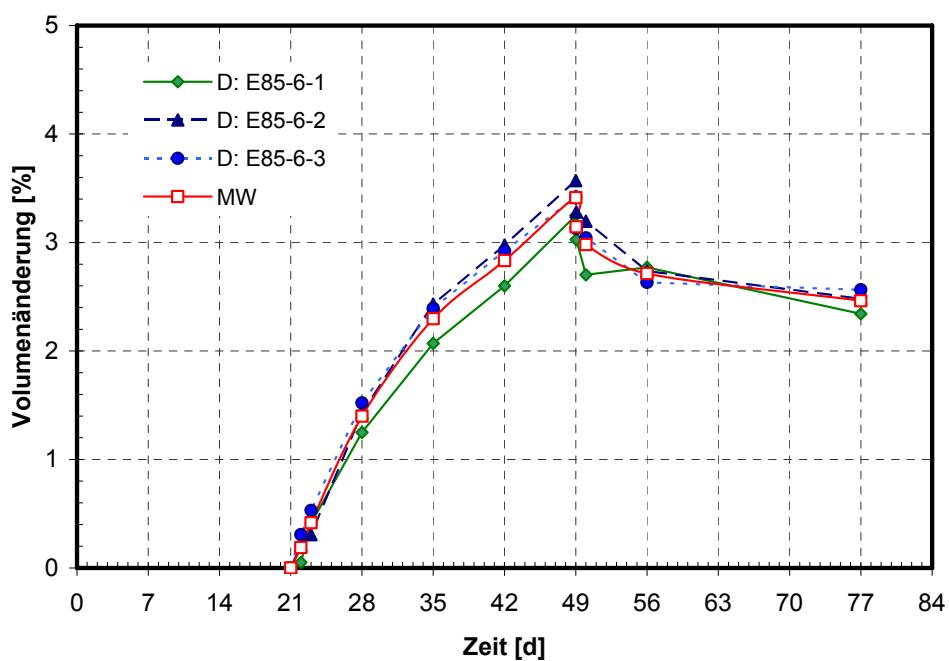


Bild 154: EP-Beschichtung, Einlagerung in E85-6, Volumenänderung

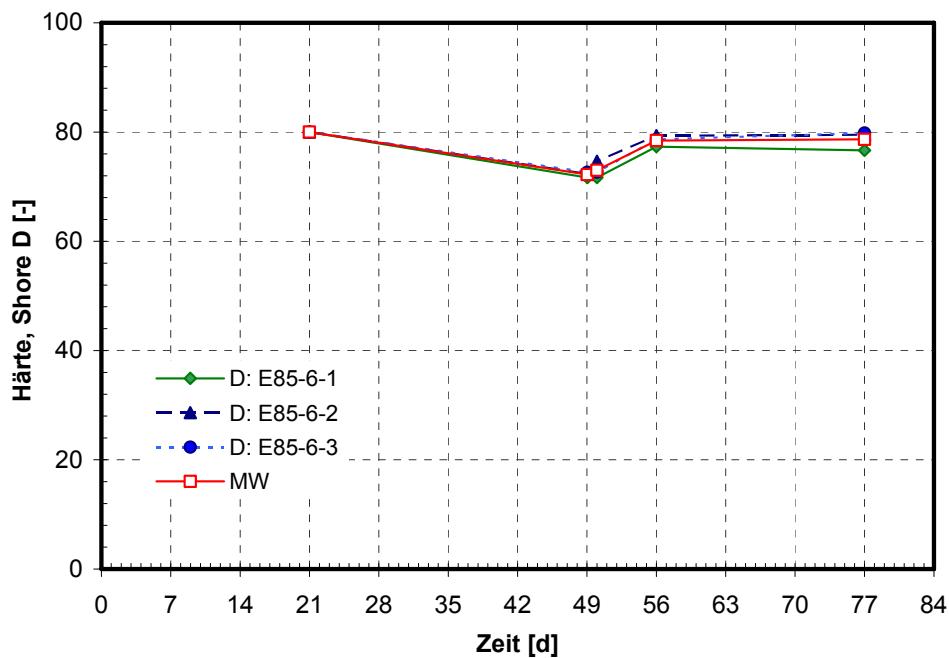


Bild 155: EP-Beschichtung, Einlagerung in E85-6, Härteänderung (Shore-Einheiten)

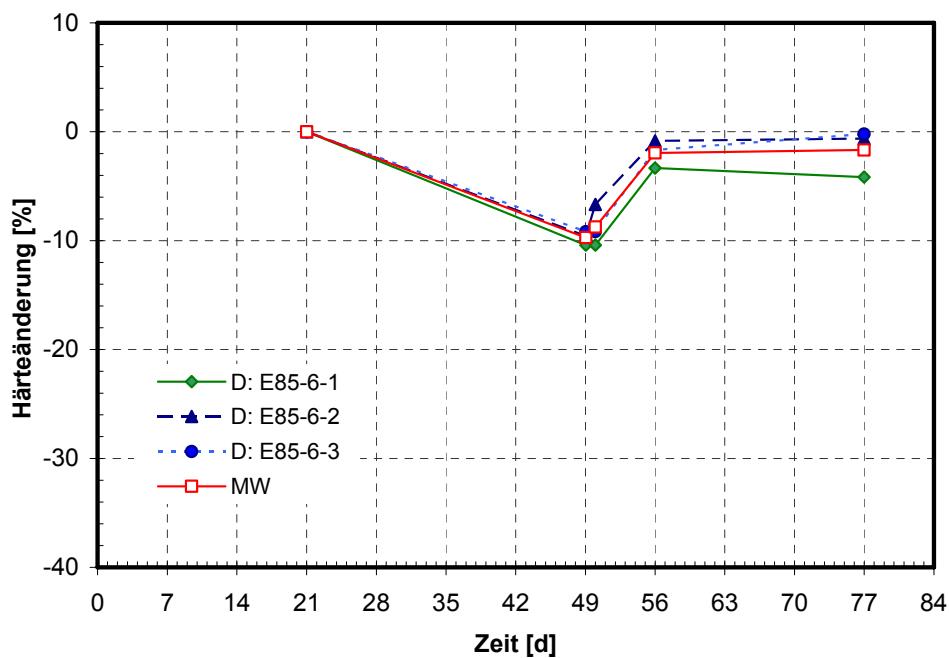


Bild 156: EP-Beschichtung, Einlagerung in E85-6, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

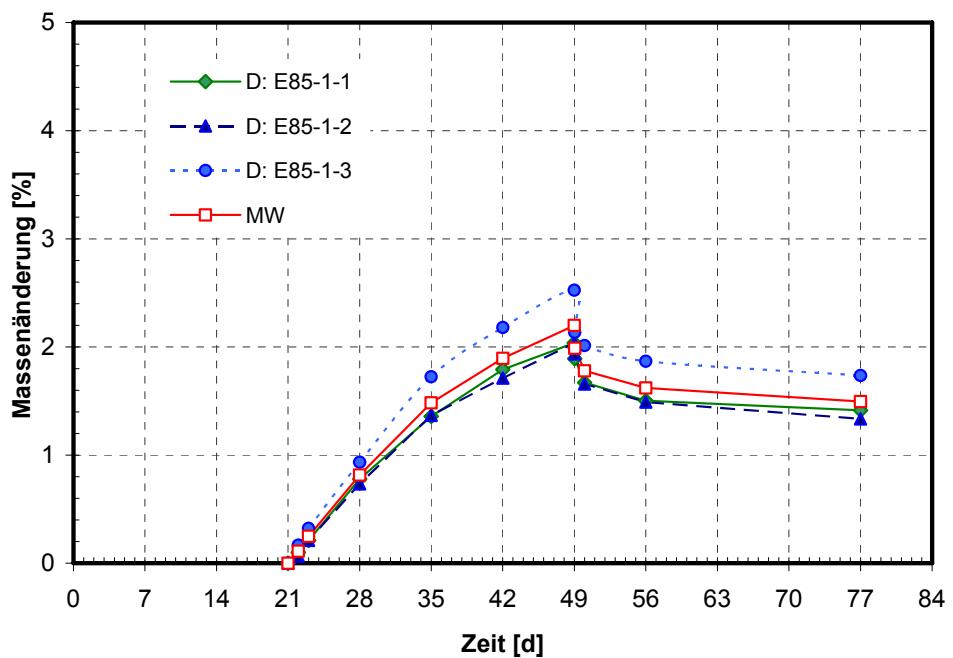


Bild 157: EP-Beschichtung, Einlagerung in E85-1, Masseänderung

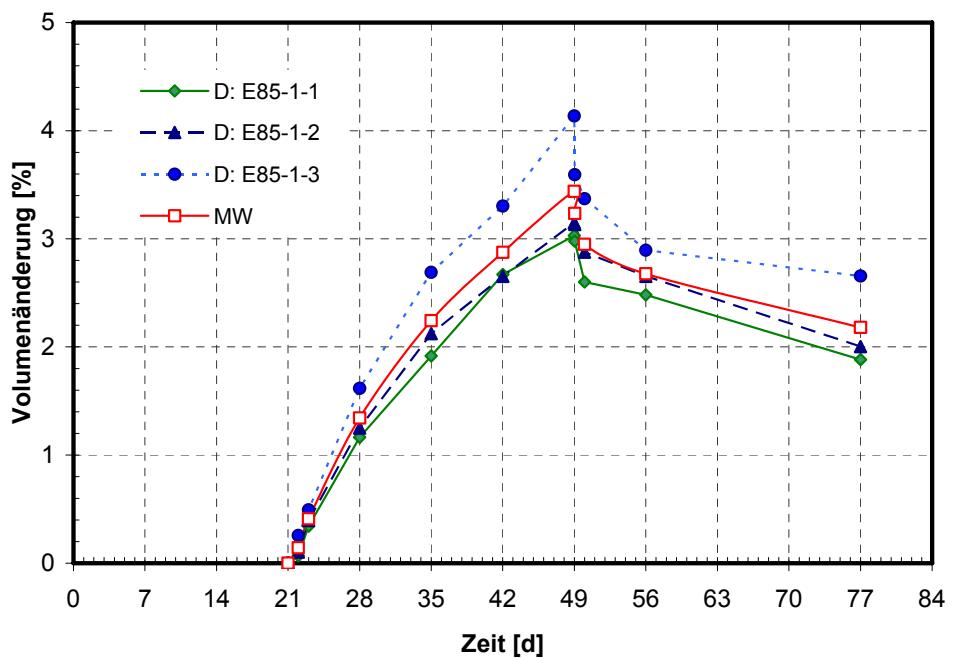


Bild 158: EP-Beschichtung, Einlagerung in E85-1, Volumenänderung

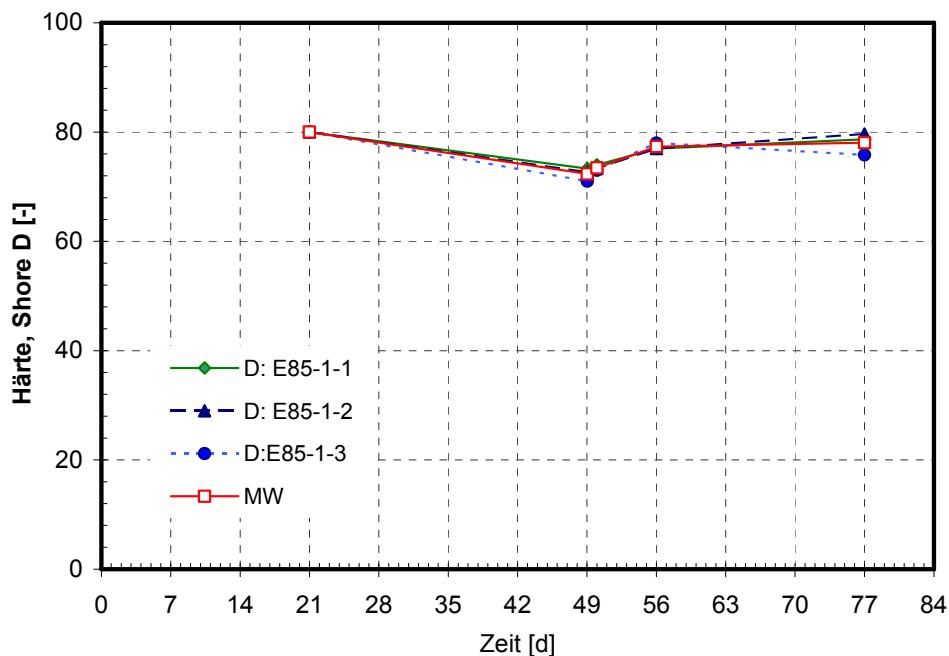


Bild 159: EP-Beschichtung, Einlagerung in E85-1, Härteänderung (Shore-Einheiten)

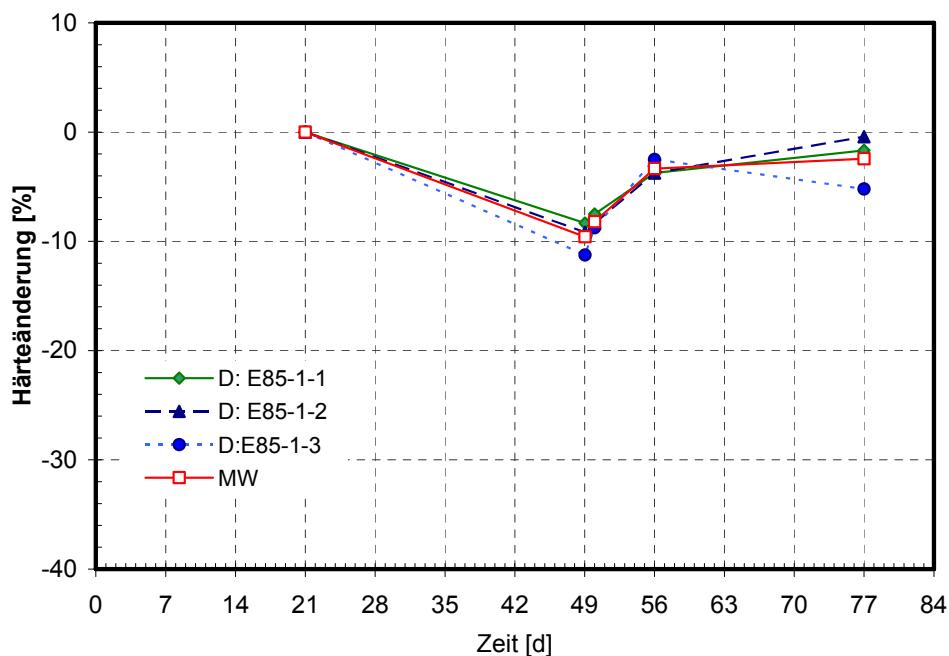


Bild 160: EP-Beschichtung, Einlagerung in E85-1, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

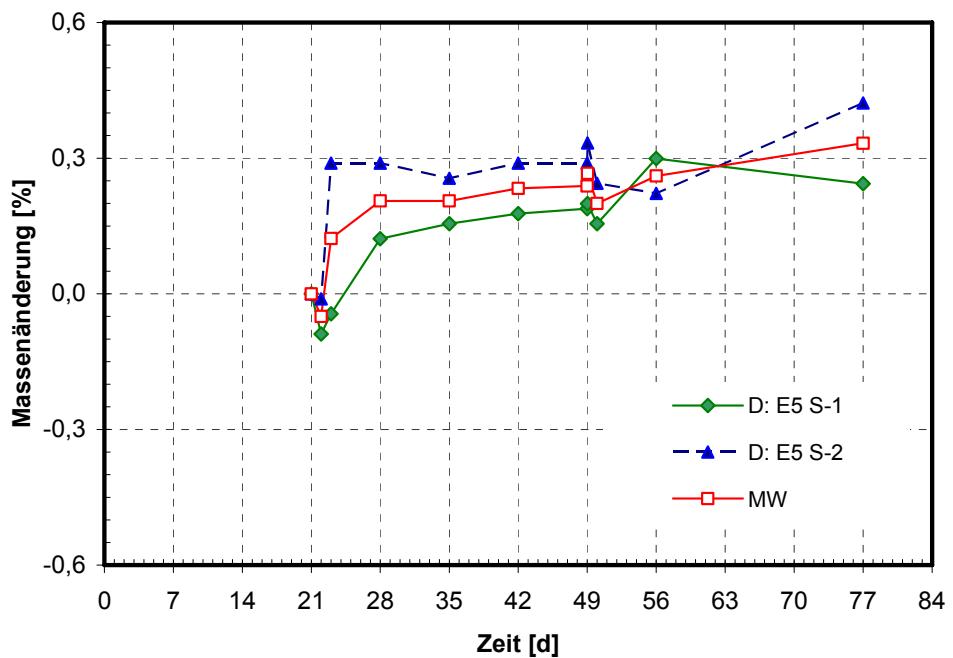


Bild 161: EP-Beschichtung, Einlagerung in E5 S, Masseänderung

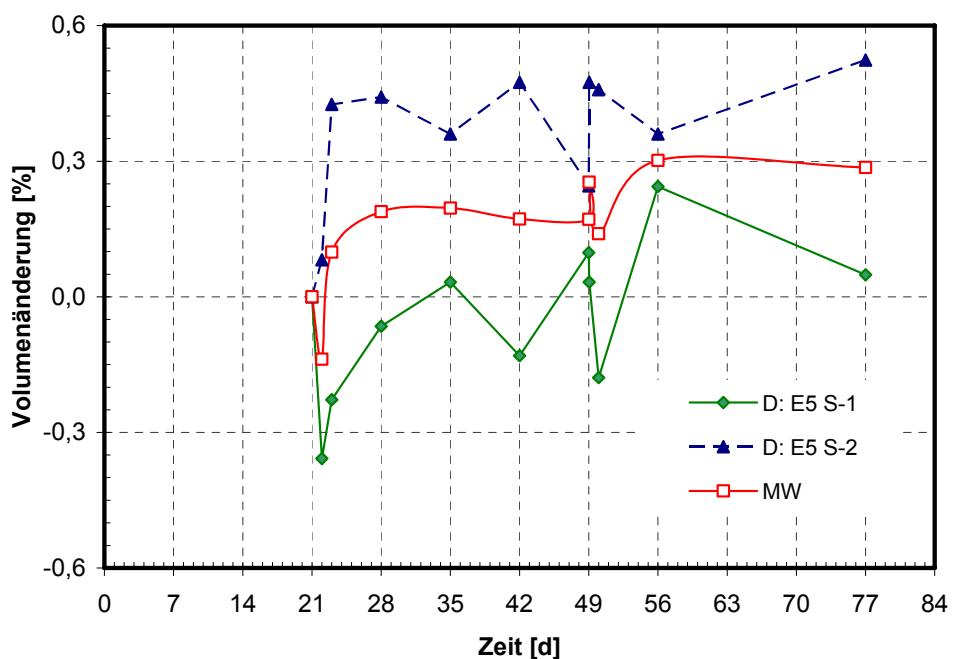


Bild 162: EP-Beschichtung, Einlagerung in E5 S, Volumenänderung

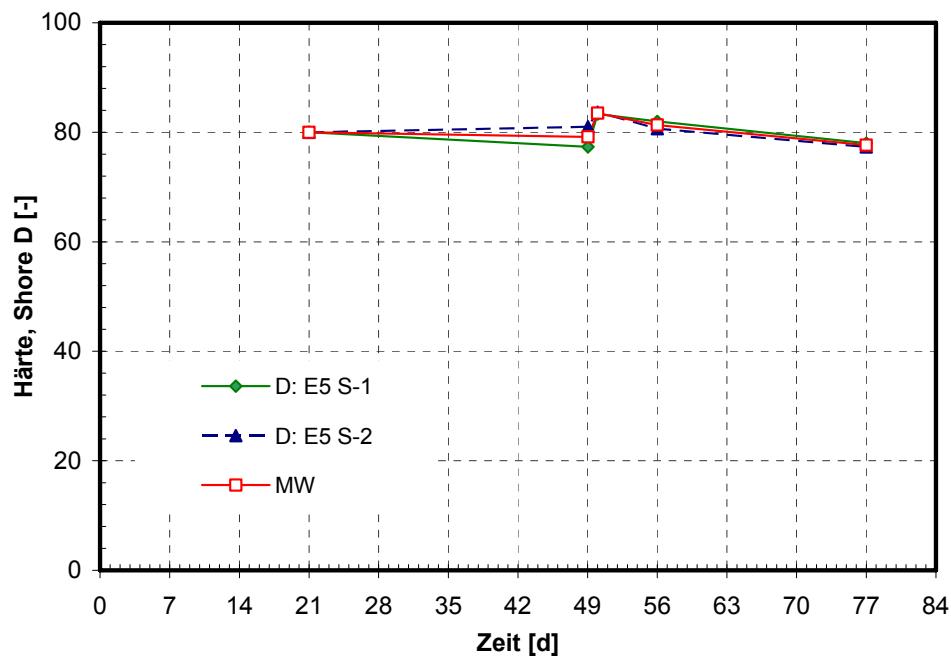


Bild 163: EP-Beschichtung, Einlagerung in E5 S, Härteänderung (Shore-Einheiten)

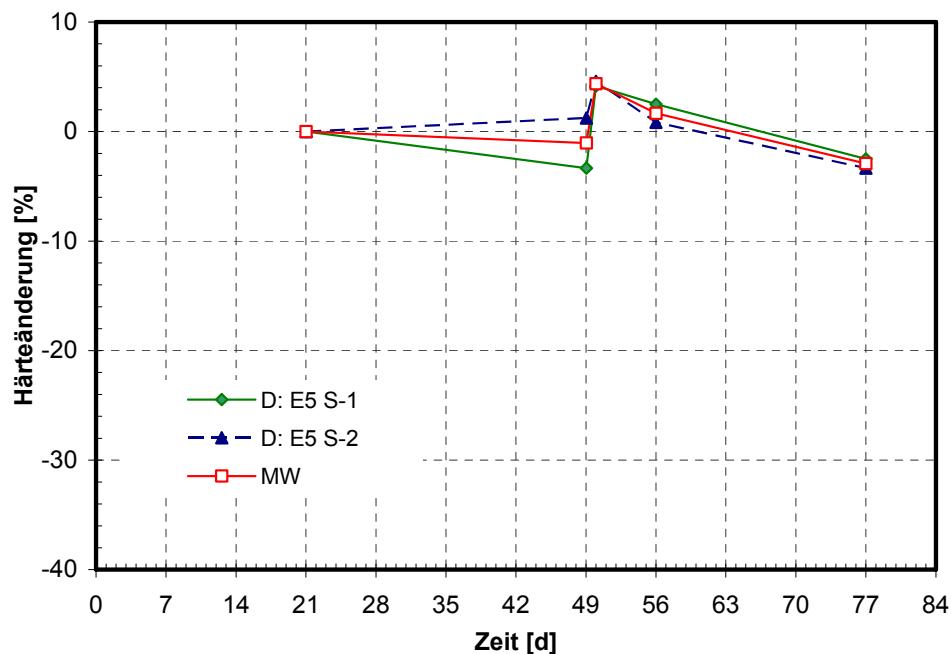


Bild 164: EP-Beschichtung, Einlagerung in E5 S, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

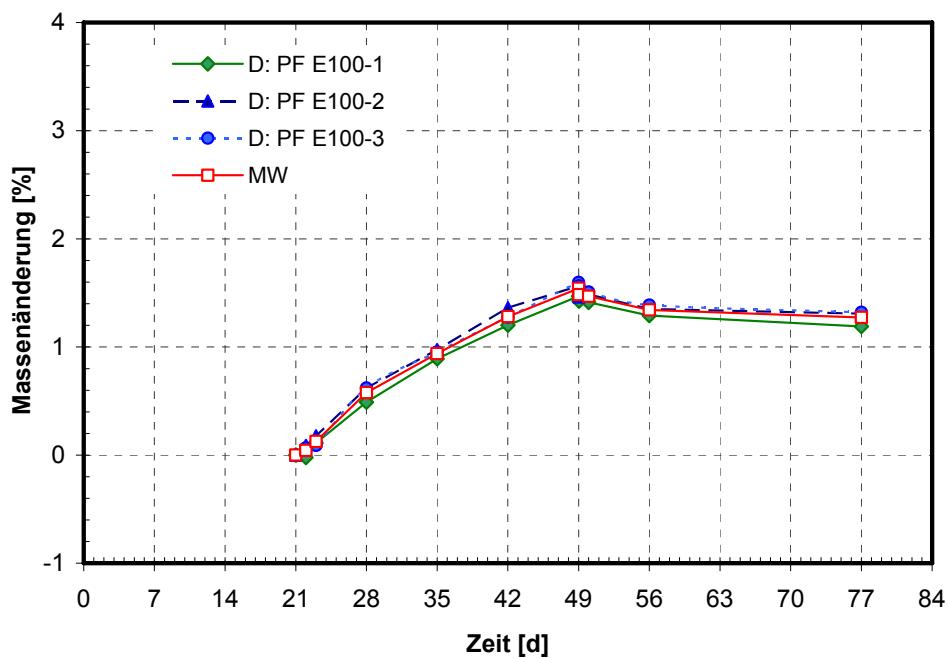


Bild 165: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E100, Masseänderung

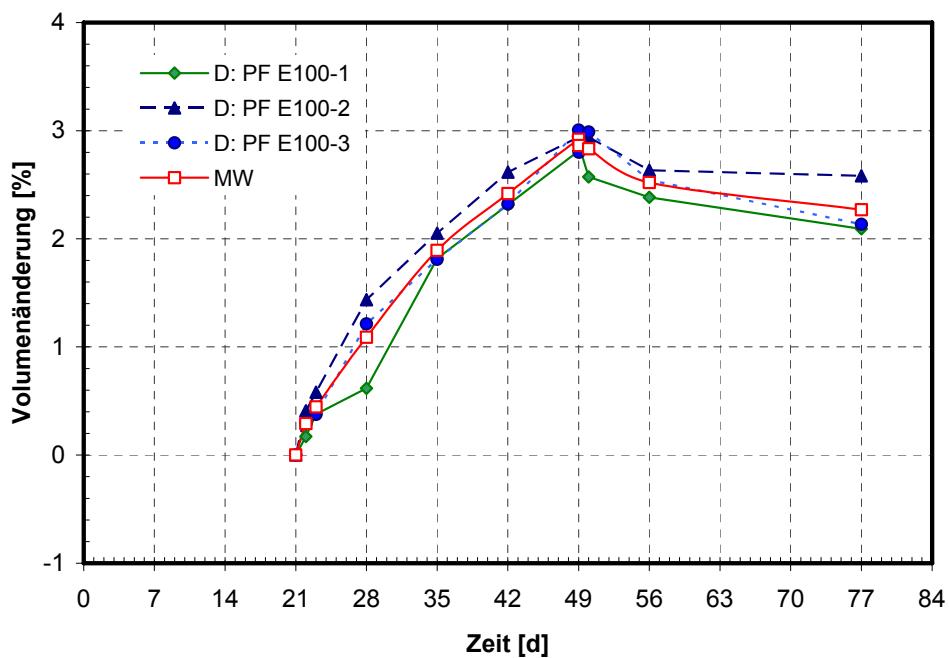


Bild 166: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E100, Volumenänderung

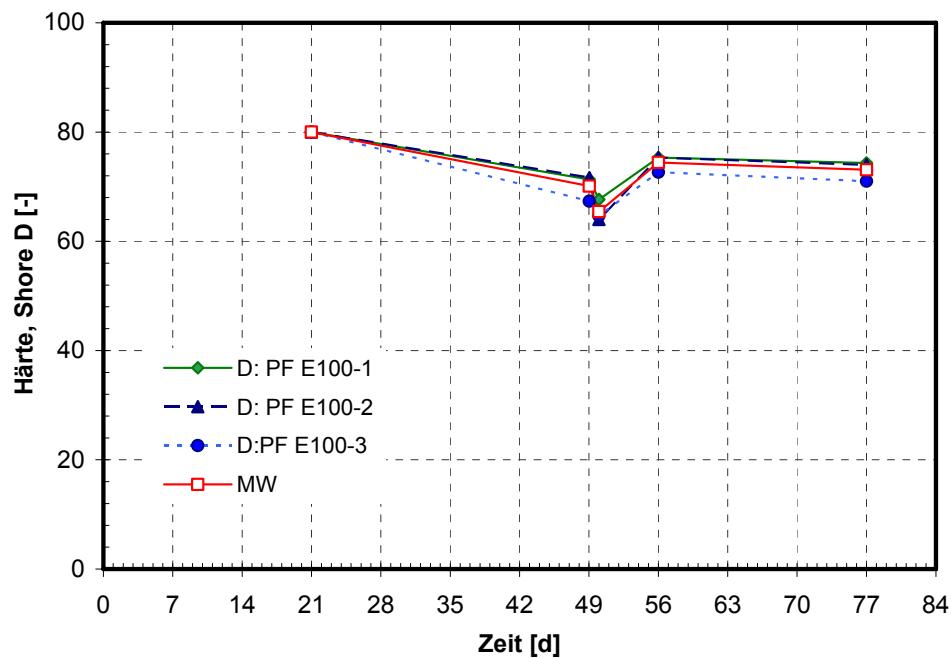


Bild 167: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

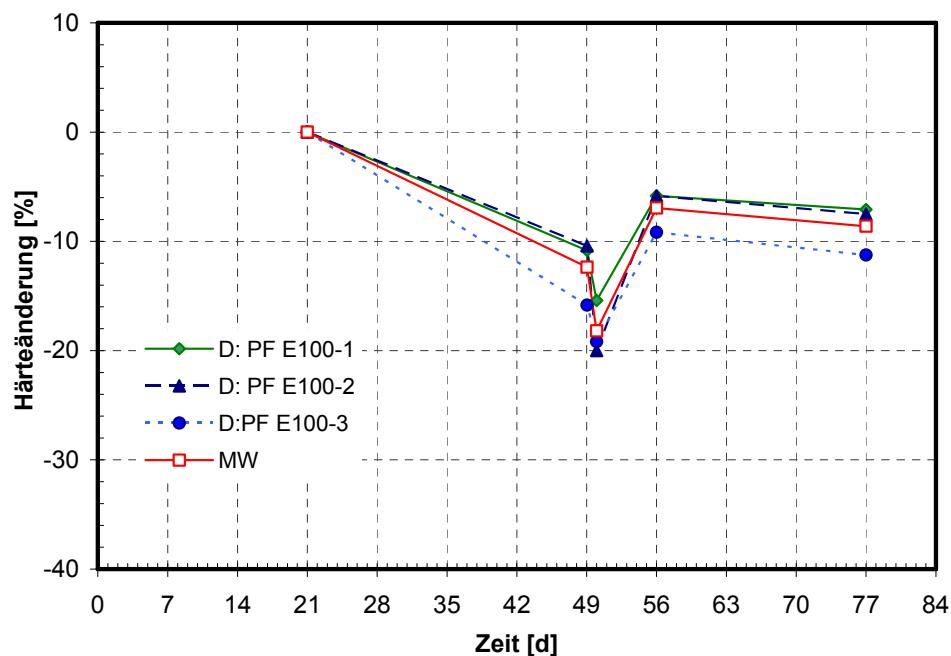


Bild 168: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

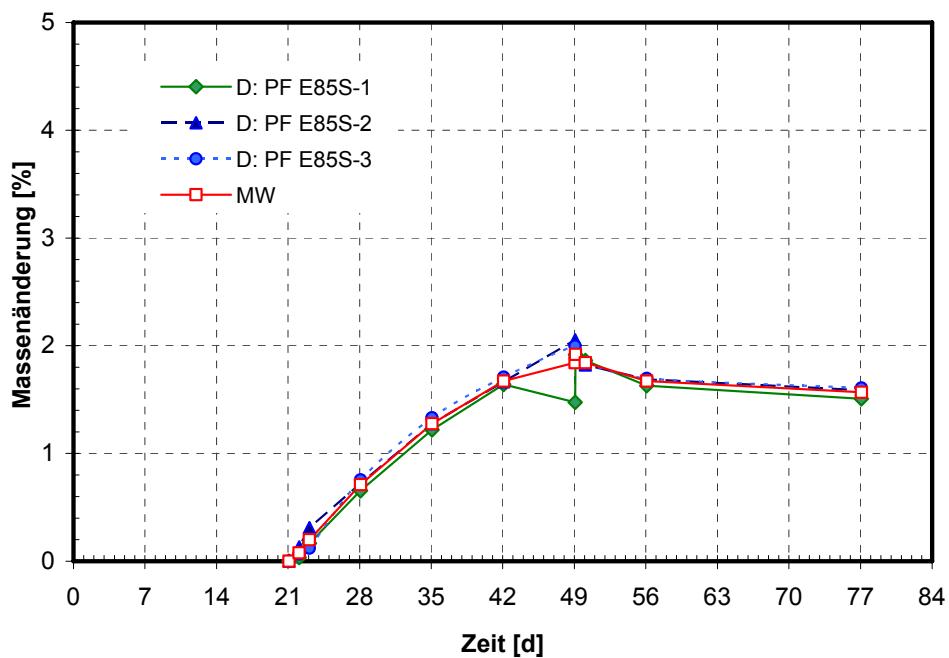


Bild 169: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E85S, Masseänderung

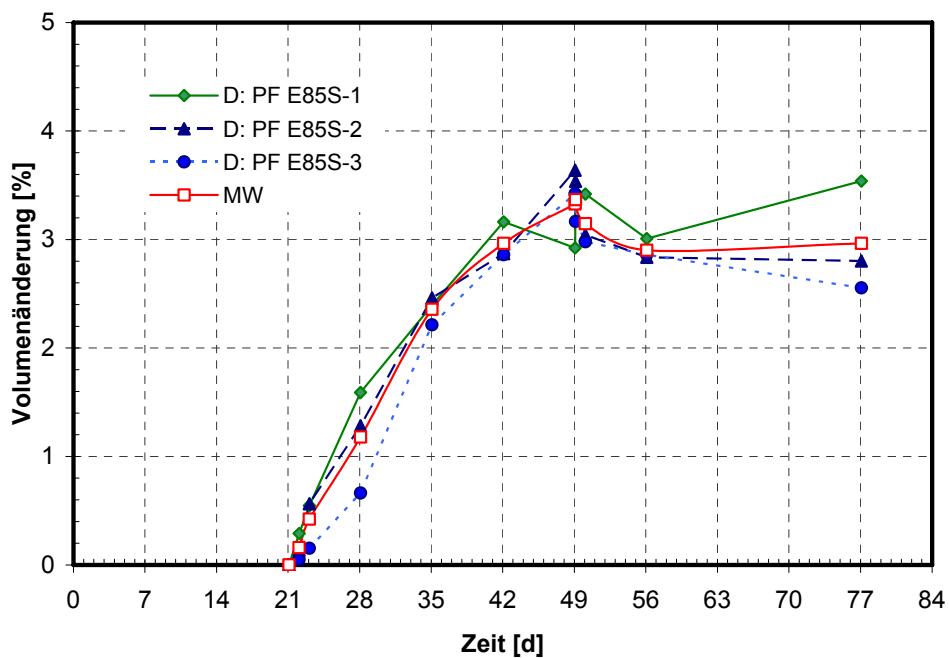


Bild 170: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E85S, Volumenänderung

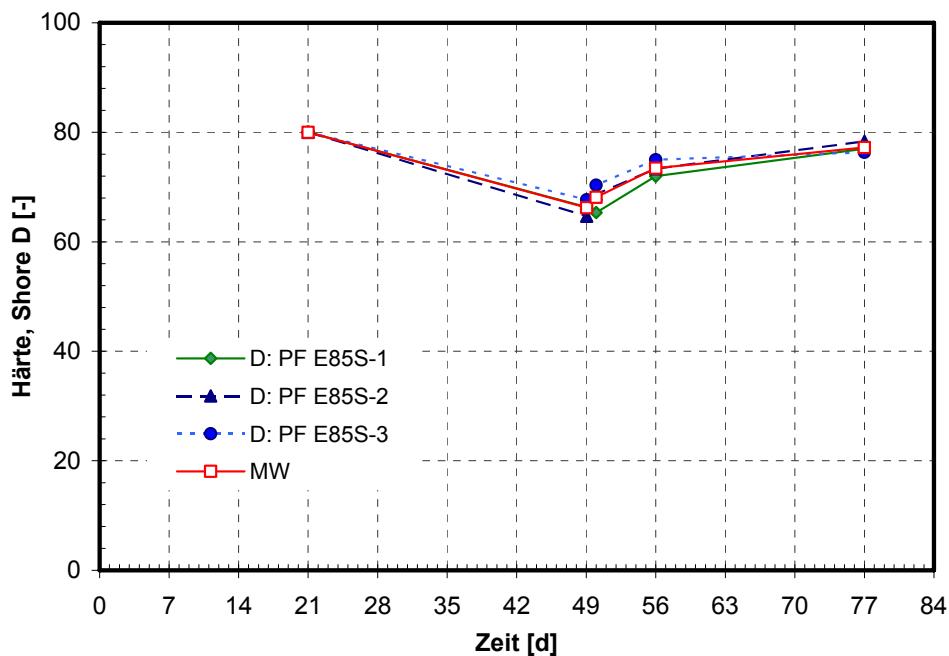


Bild 171: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E85S, Härteänderung (Shore-Einheiten)

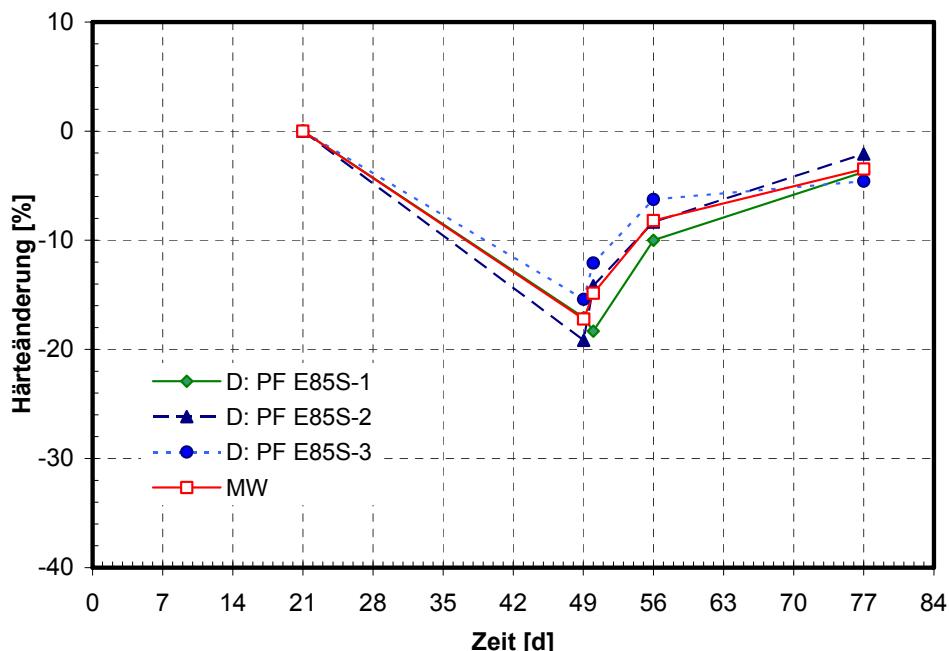


Bild 172: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E85S, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

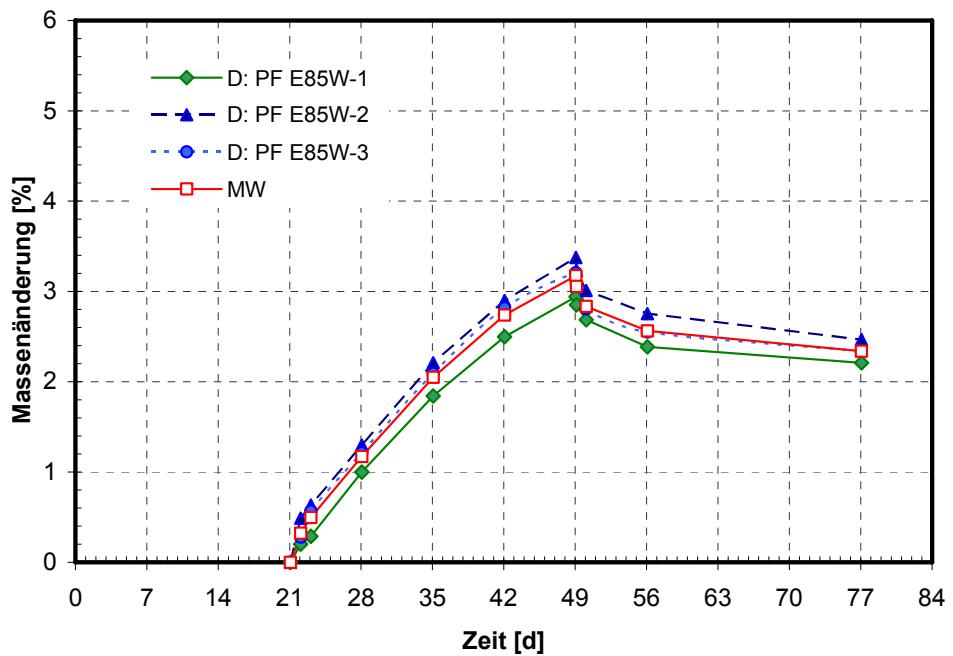


Bild 173: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E85W, Masseänderung

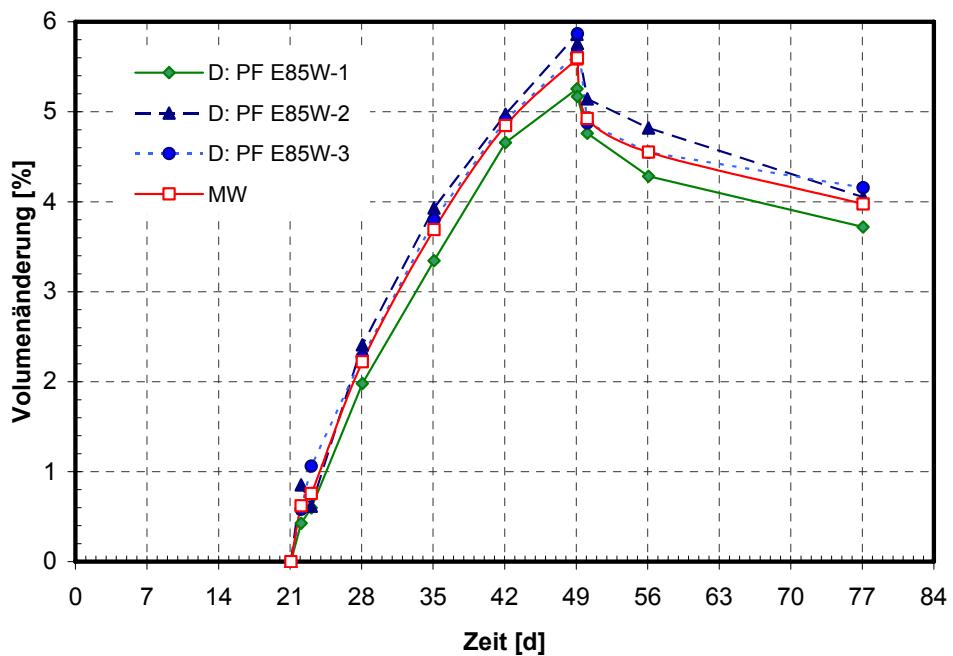


Bild 174: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E85W, Volumenänderung

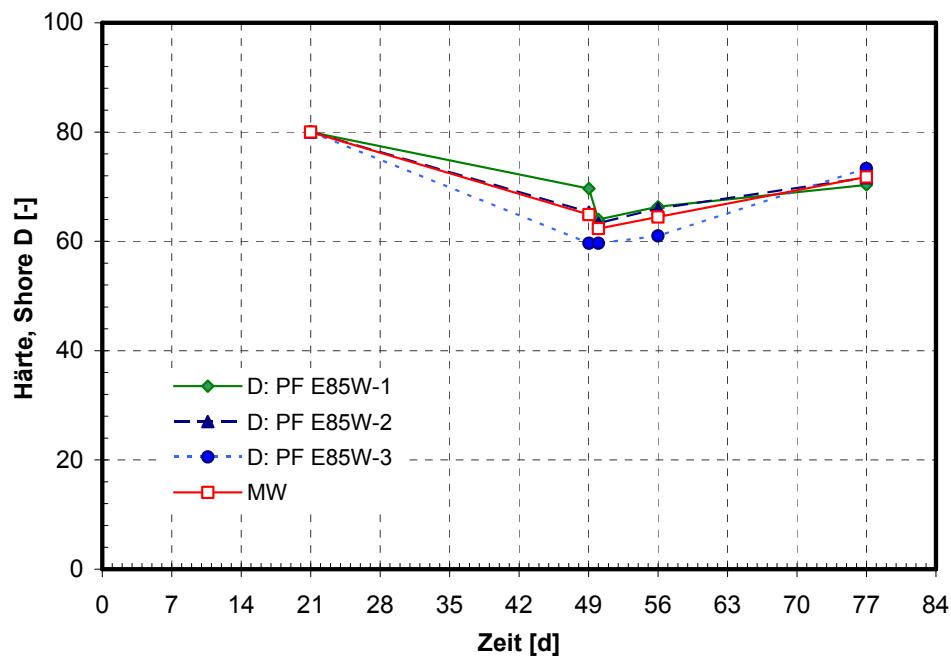


Bild 175: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E85W, Härteänderung (Shore-Einheiten)

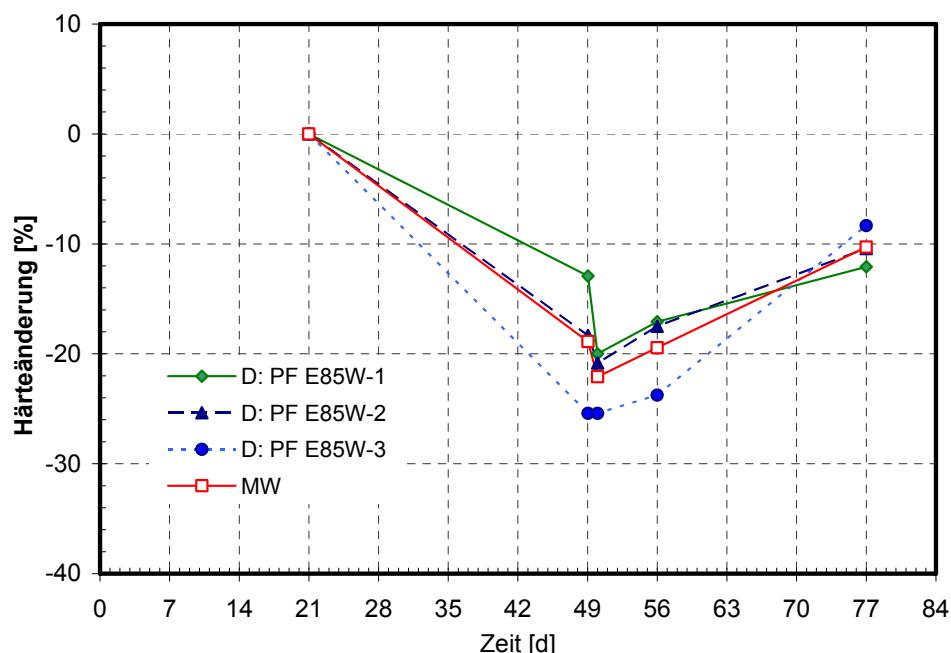


Bild 176: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E85W, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

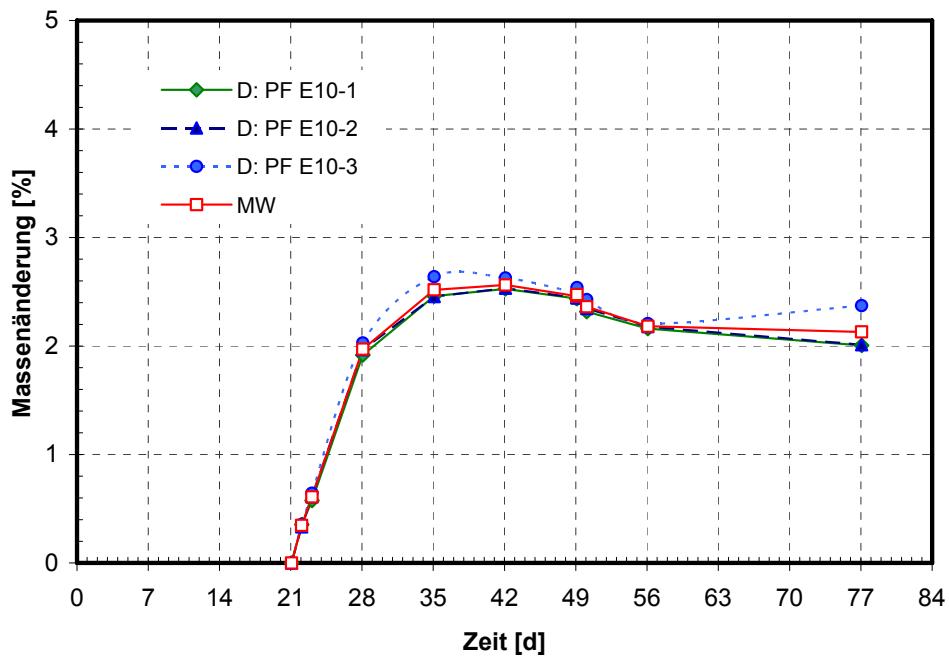


Bild 177: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E10, Masseänderung

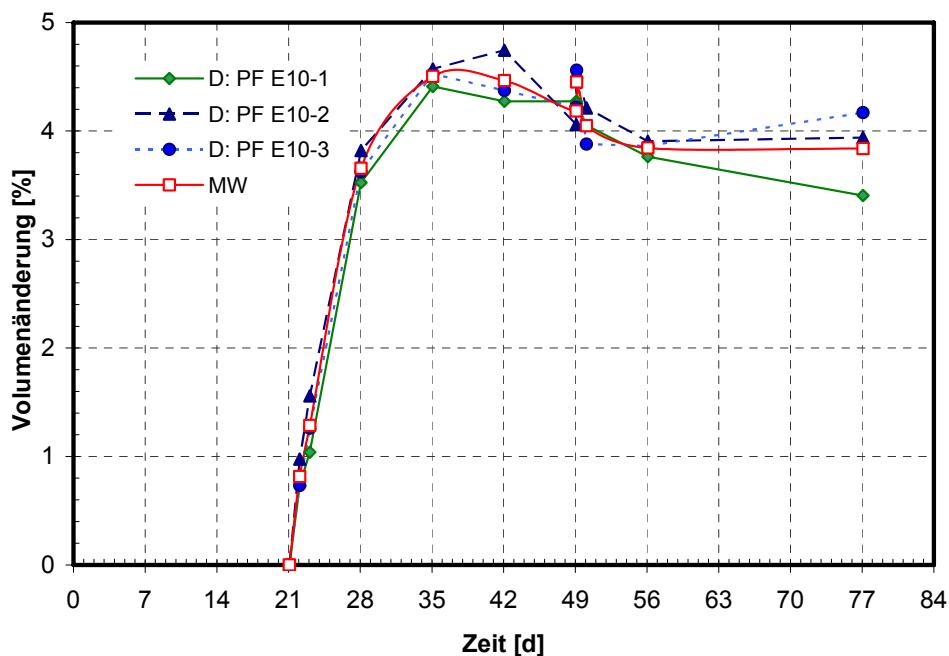


Bild 178: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E10, Volumenänderung

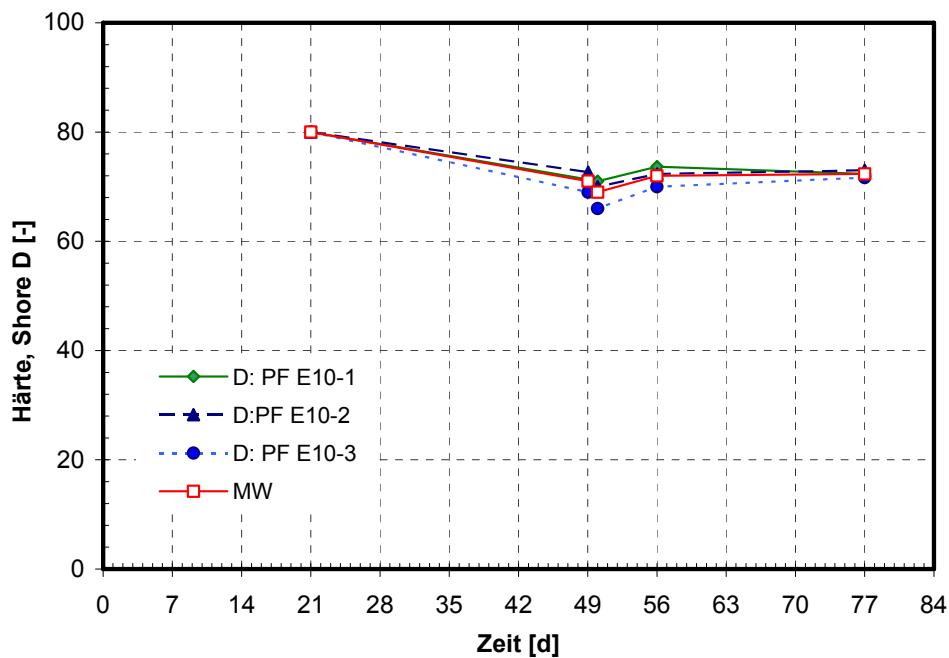


Bild 179: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E10, Härteänderung (Shore-Einheiten)

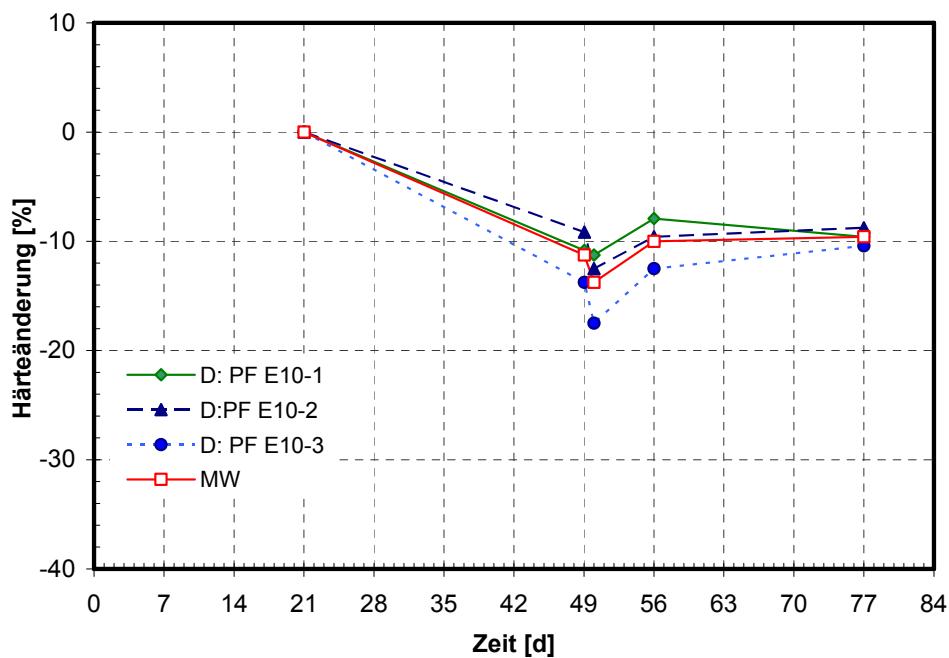


Bild 180: EP-Beschichtung, Einlagerung in PF E10, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

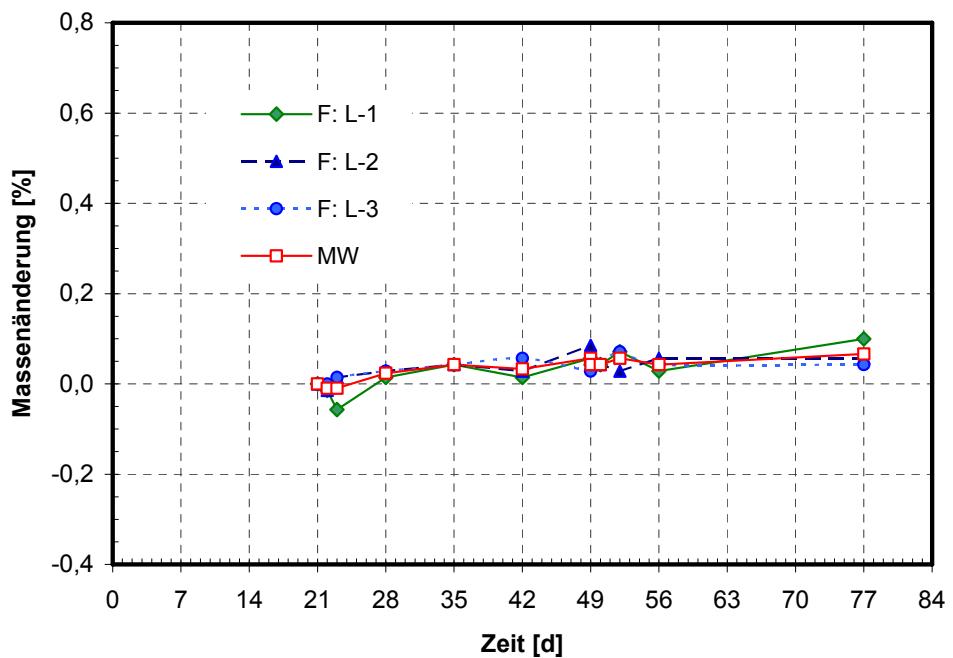


Bild 1: PUR-Beschichtung, Einlagerung in Luft (23 °C, 50 % r. F.), Masseänderung

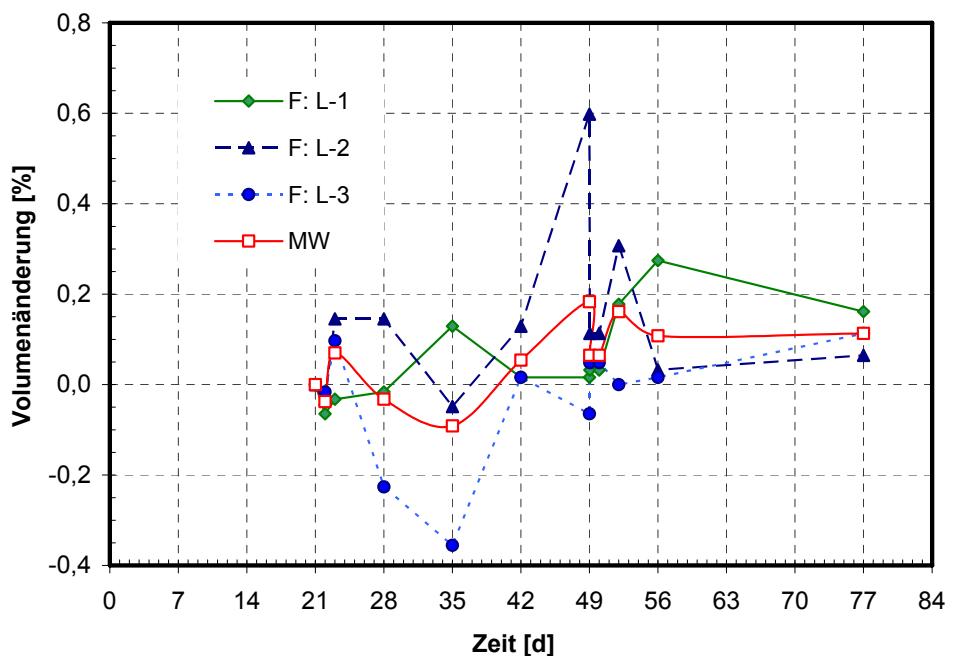


Bild 2: PUR-Beschichtung, Einlagerung in Luft (23 °C, 50 % r. F.), Volumenänderung

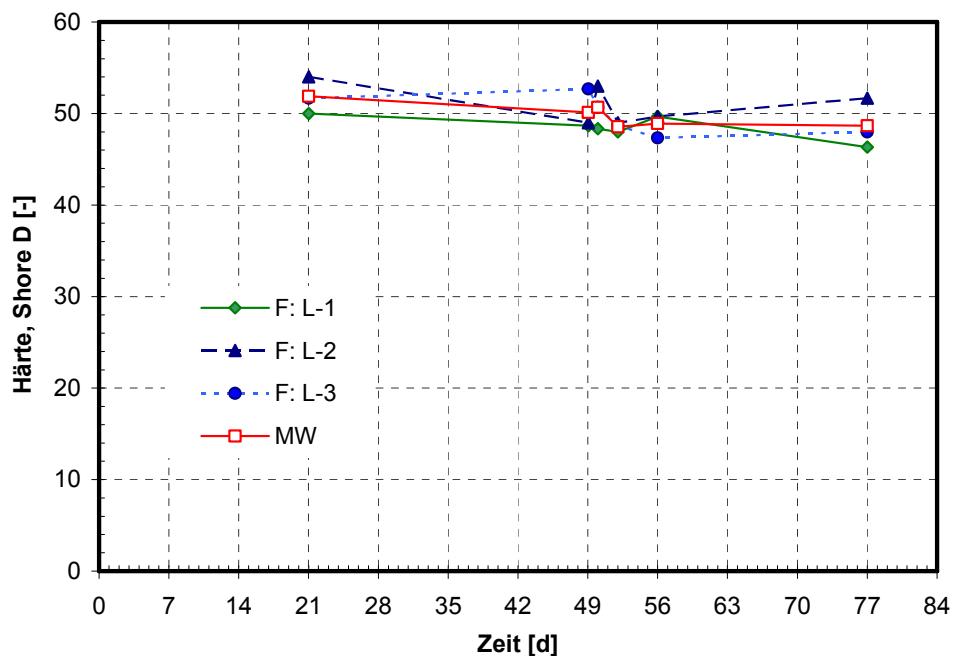


Bild 3: PUR-Beschichtung, Einlagerung in Luft (23 °C, 50 % r. F.), Härteänderung (Shore-Einheiten)

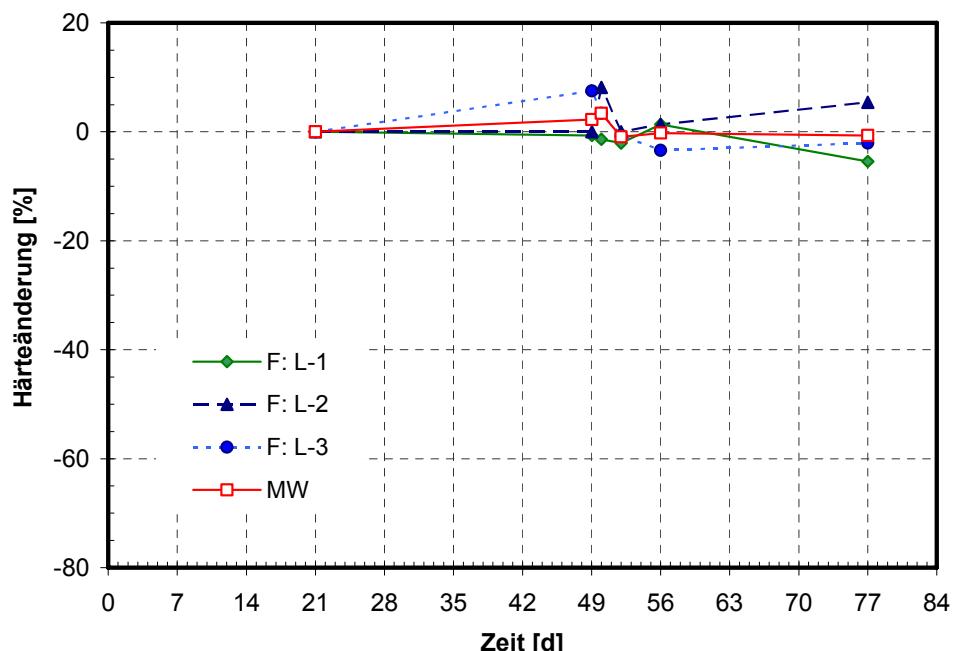


Bild 4: PUR-Beschichtung, Einlagerung in Luft (23 °C, 50 % r. F.), Härteänderung, bezogen auf den Mittelwert der Probe

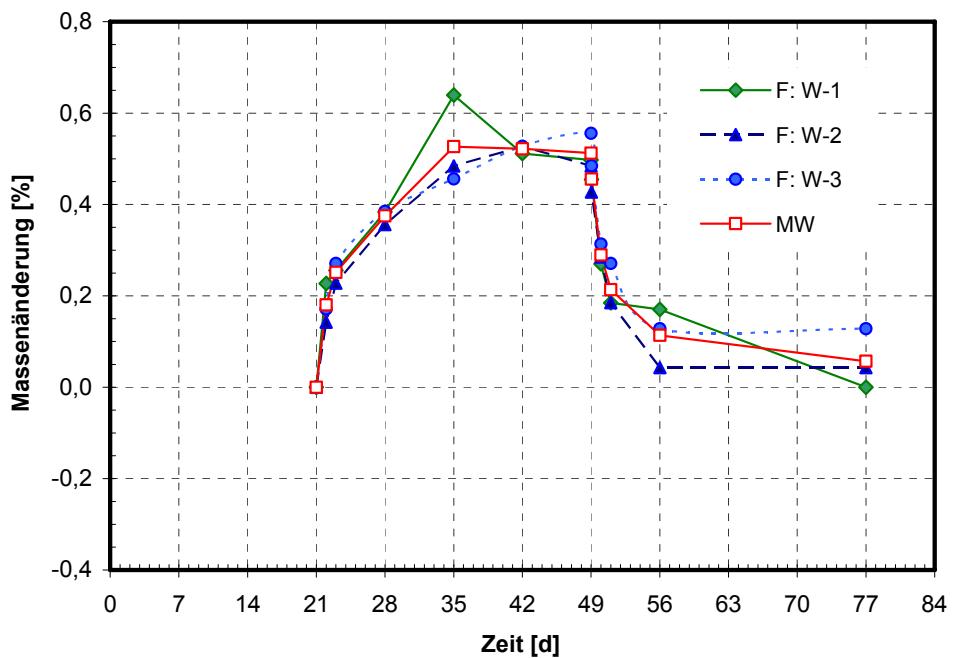


Bild 5: PUR-Beschichtung, Einlagerung in Wasser, Masseänderung

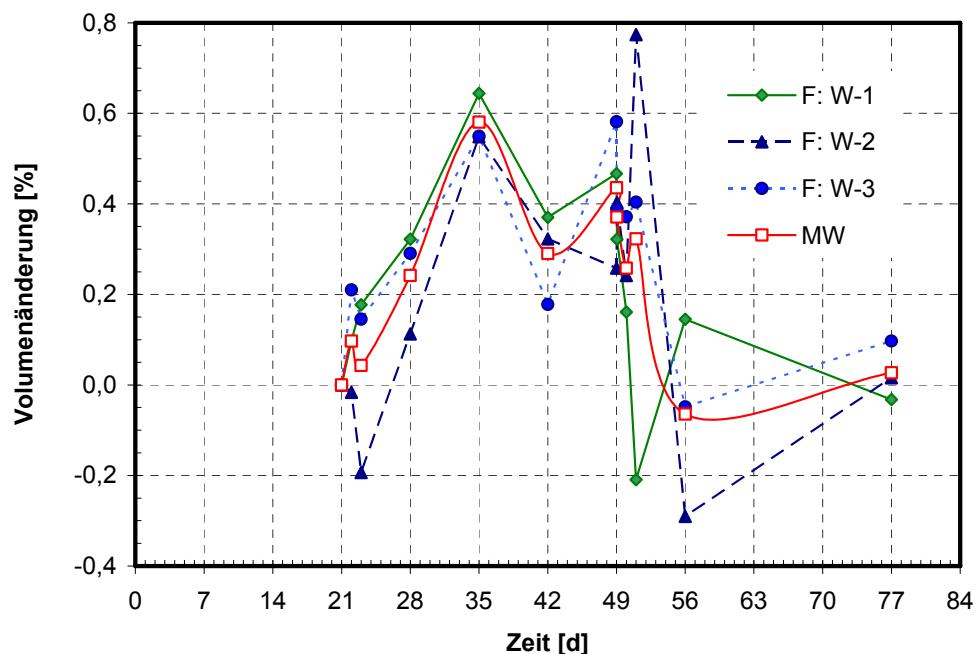


Bild 6: PUR-Beschichtung, Einlagerung in Wasser, Volumenänderung

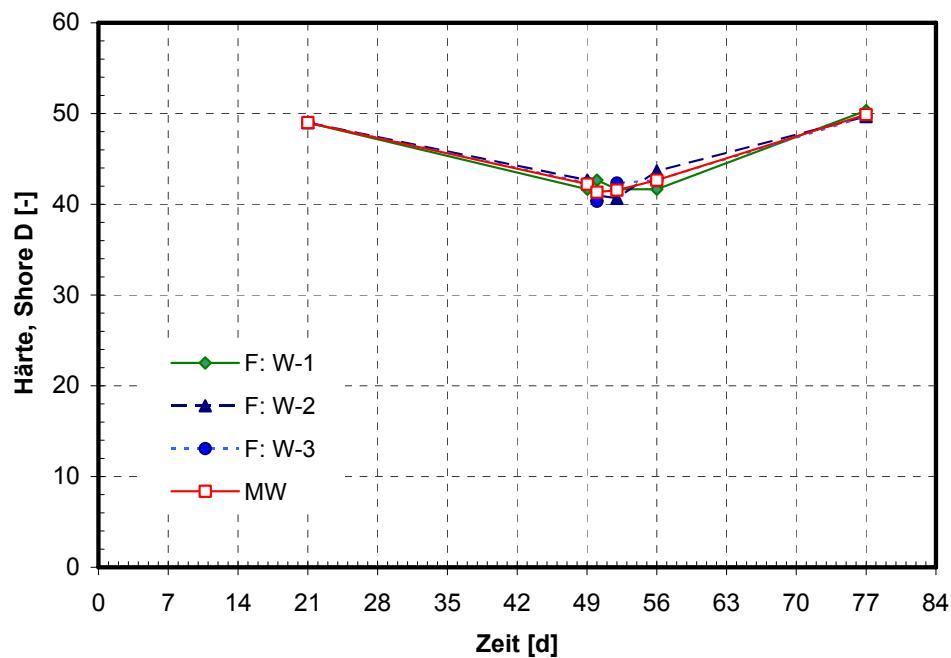


Bild 7: PUR-Beschichtung, Einlagerung in Wasser, Härteänderung (Shore-Einheiten)

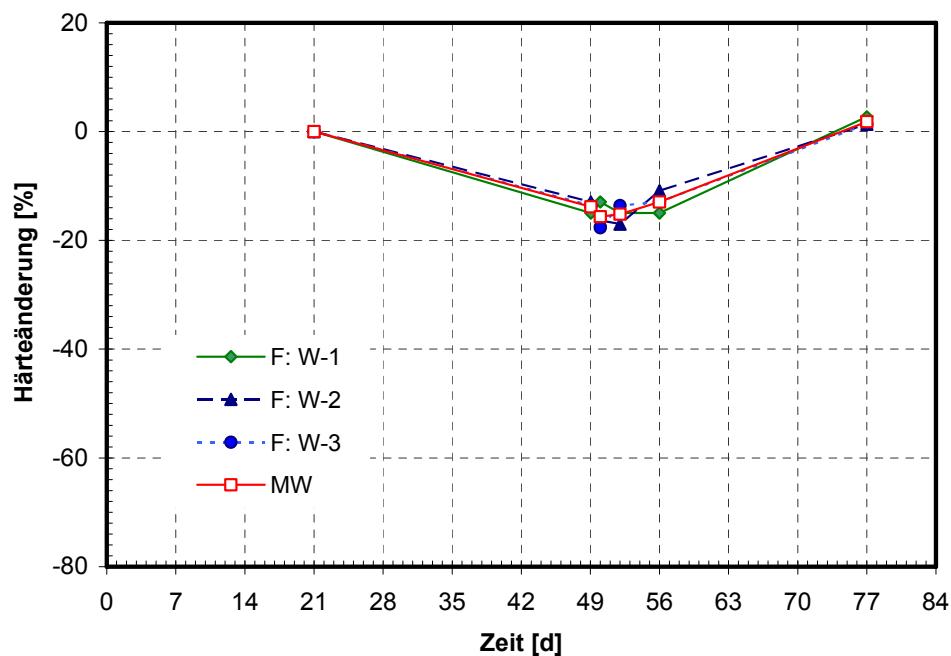


Bild 8: PUR-Beschichtung, Einlagerung in Wasser, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

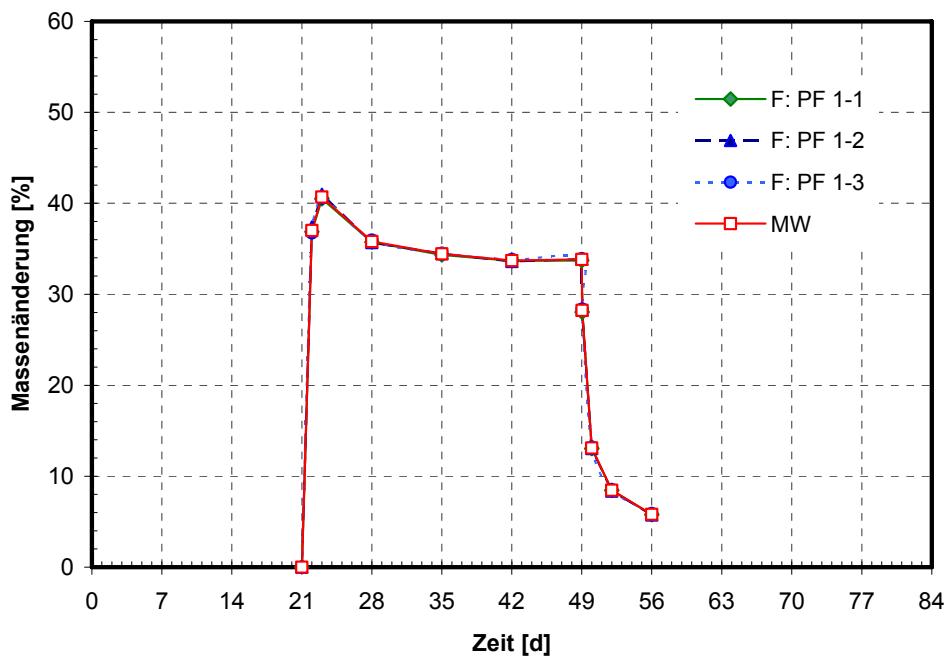


Bild 9: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 1, Masseänderung

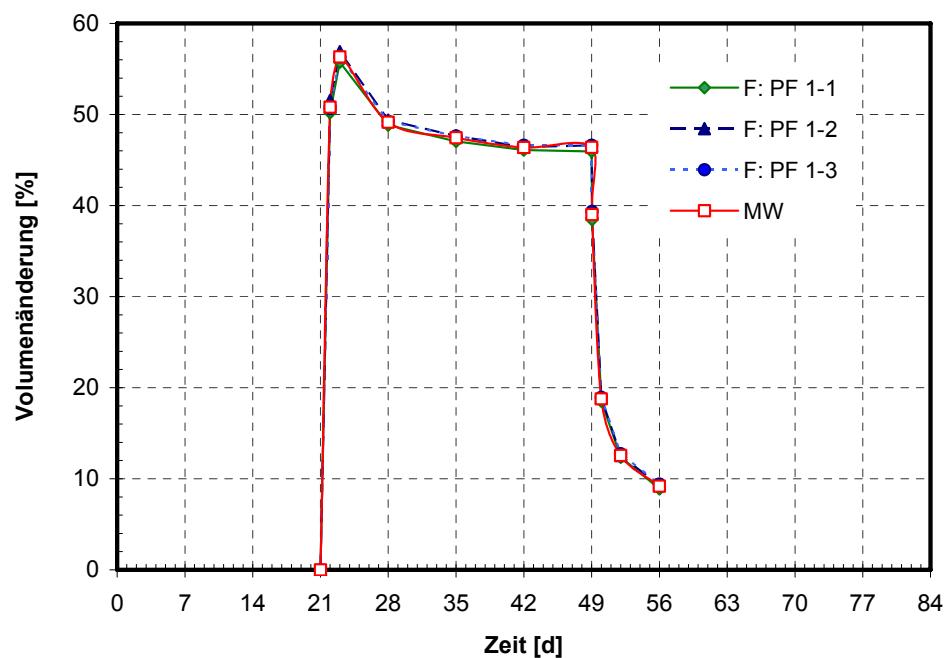


Bild 10: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 1, Volumenänderung

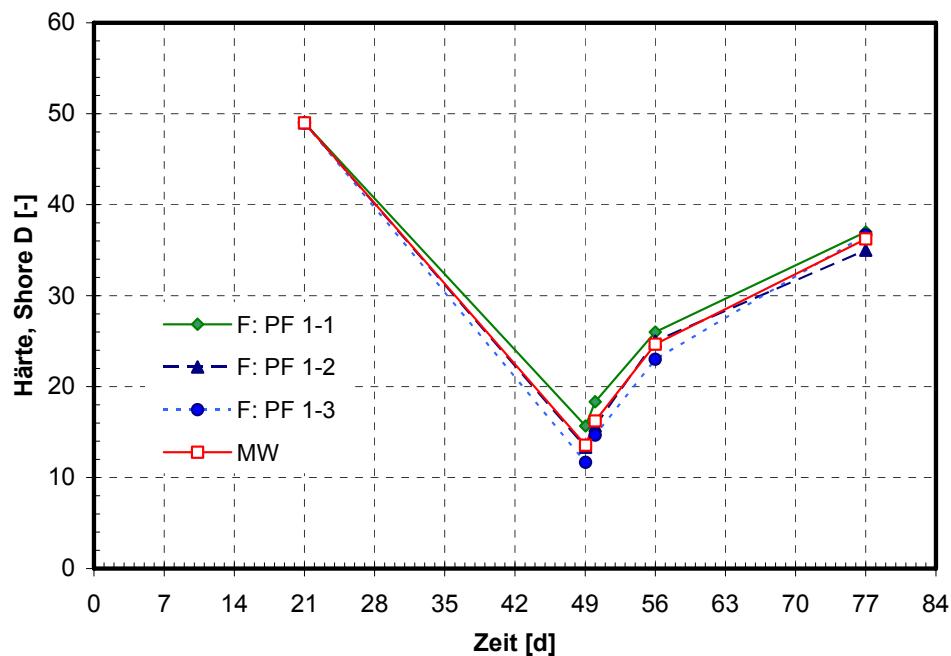


Bild 11: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 1, Härteänderung (Shore-Einheiten)

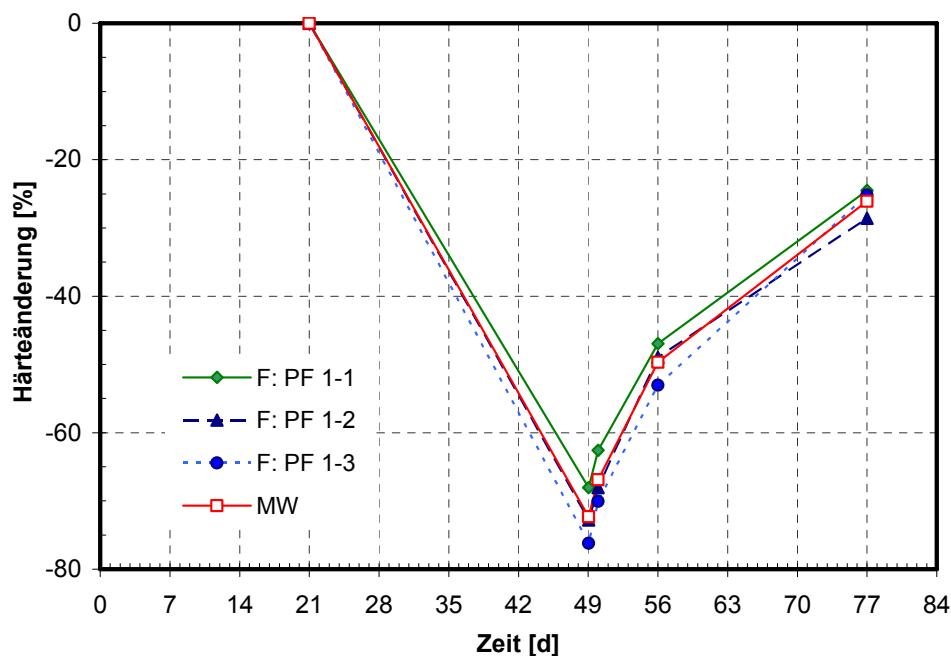


Bild 12: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 1, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

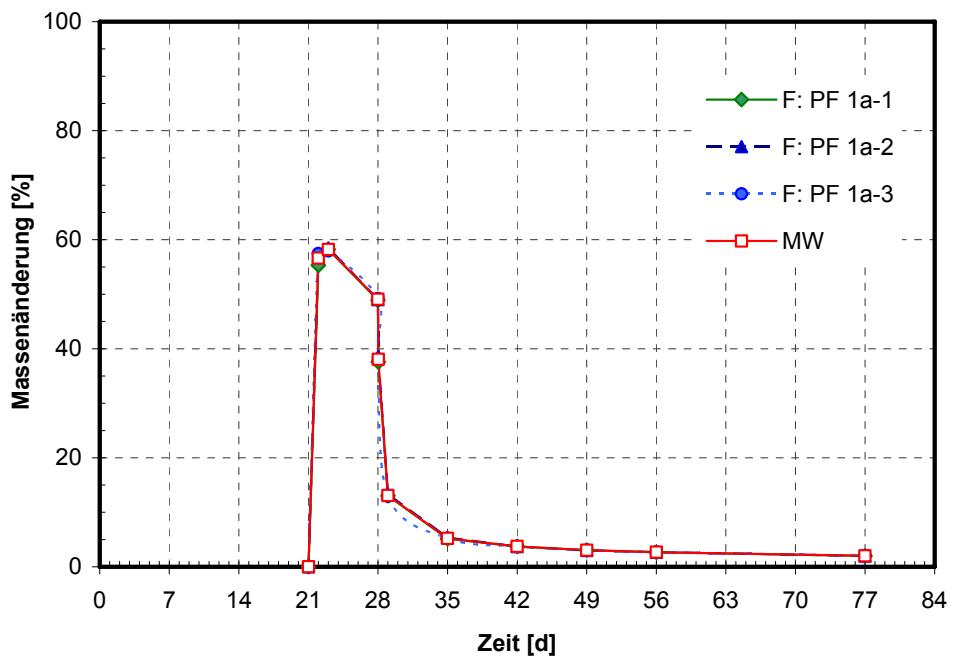


Bild 13: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 1a, Masseänderung
Probe 1, 2, 3: Risse, Abbruch der Einlagerung ab 7. Tag

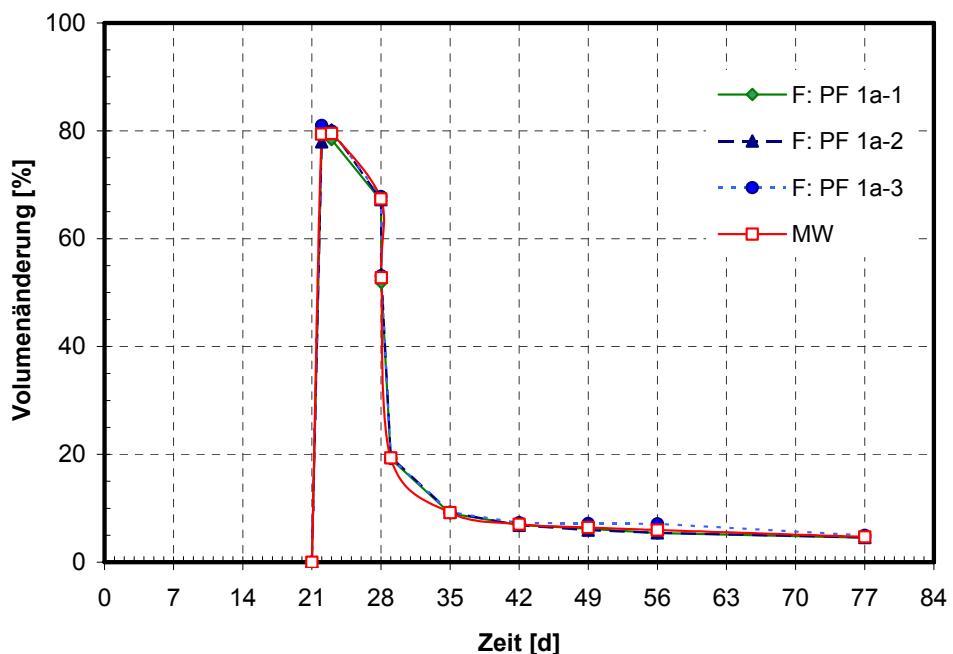


Bild 14: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 1a, Volumenänderung
Probe 1, 2, 3: Risse, Abbruch der Einlagerung ab 7. Tag

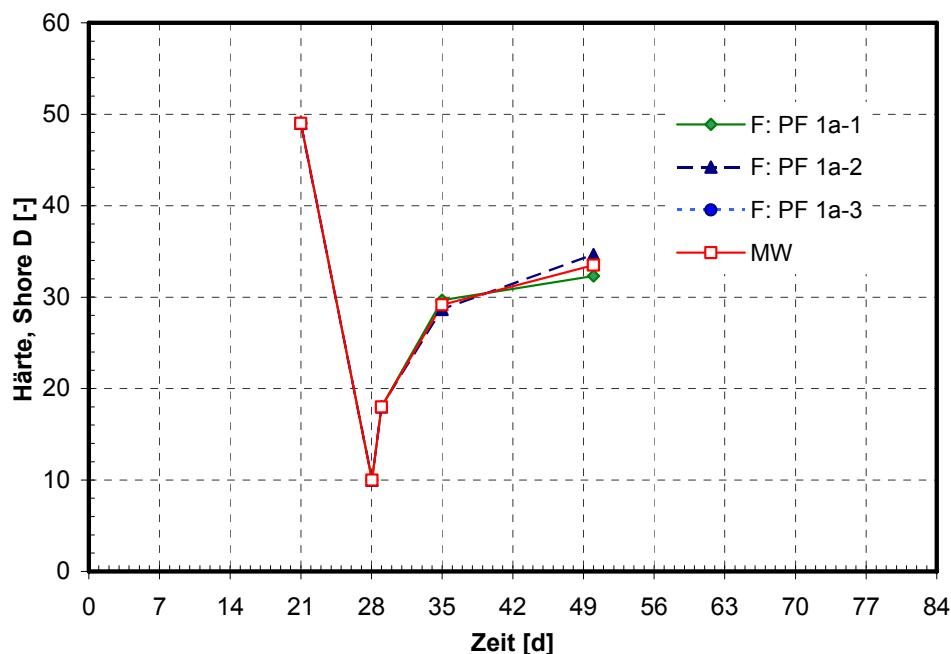


Bild 15: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 1a, Härteänderung (Shore-Einheiten)
Härtmessungen nach 7 Tagen Einlagerung begonnen
Probe 3: Risse, keine Messung

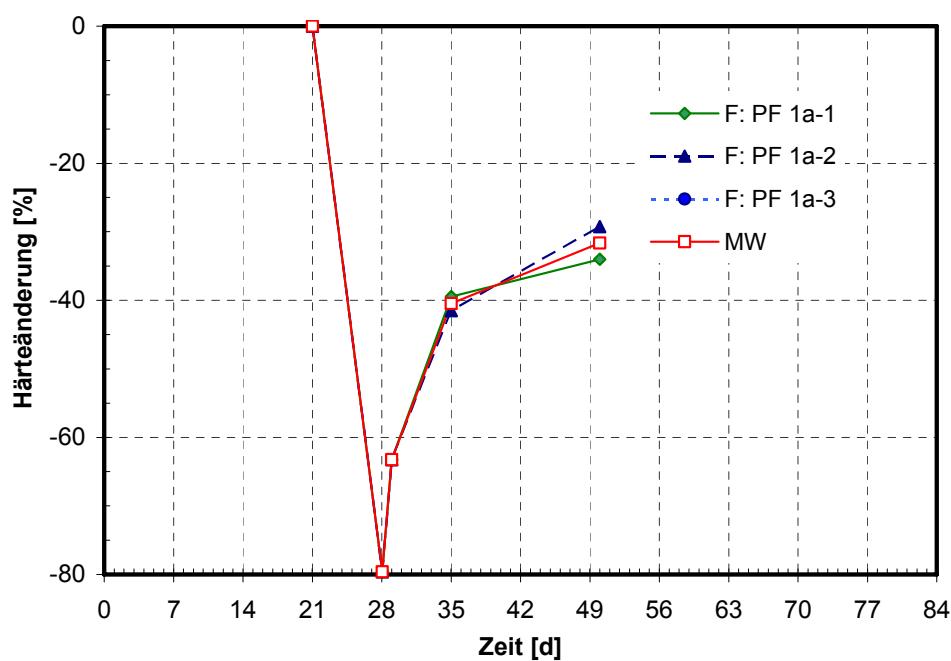


Bild 16: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 1a, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F.
gelagerte Probe
Härtmessungen nach 7 Tagen Einlagerung begonnen
Probe 3: Risse, keine Messung

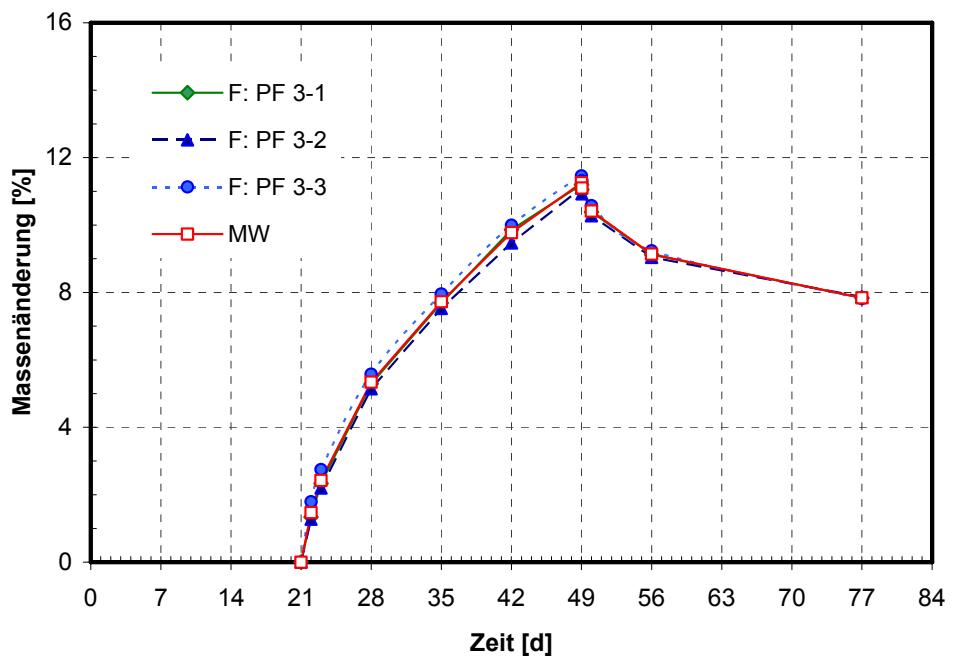


Bild 17: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 3, Masseänderung

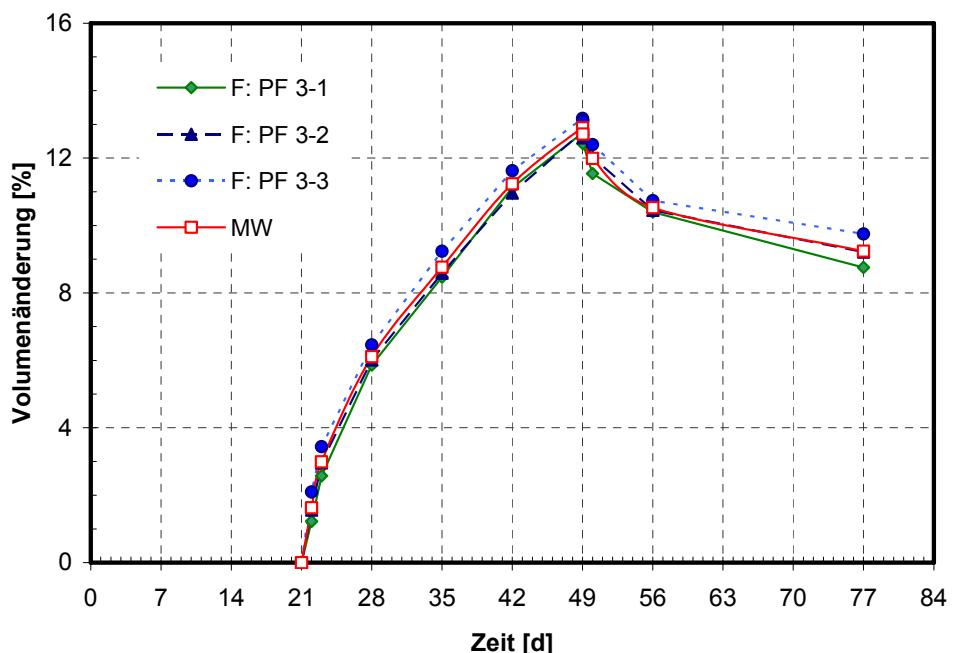


Bild 18: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 3, Volumenänderung

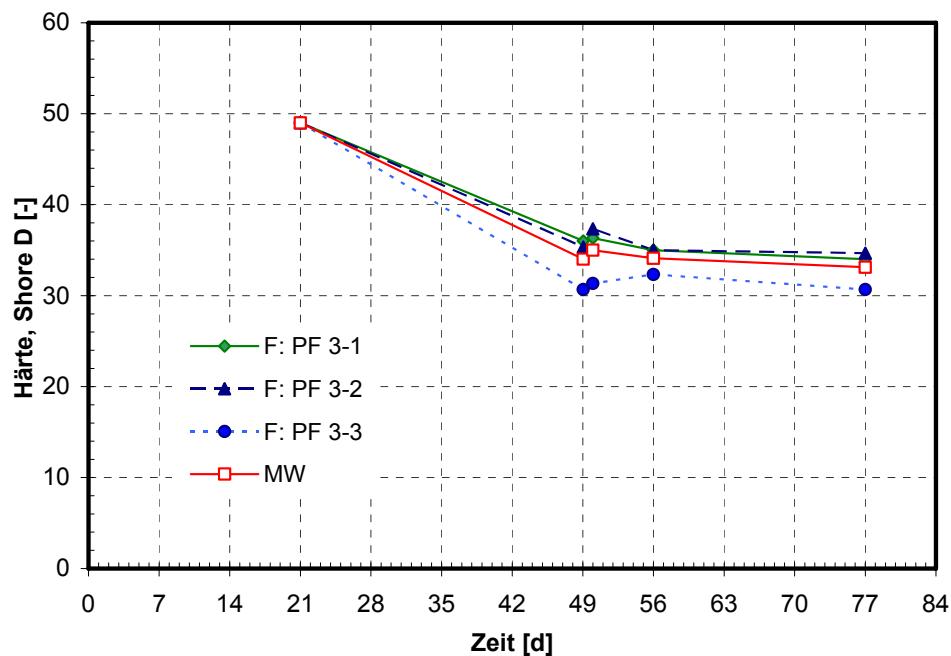


Bild 19: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 3, Härteänderung (Shore-Einheiten)

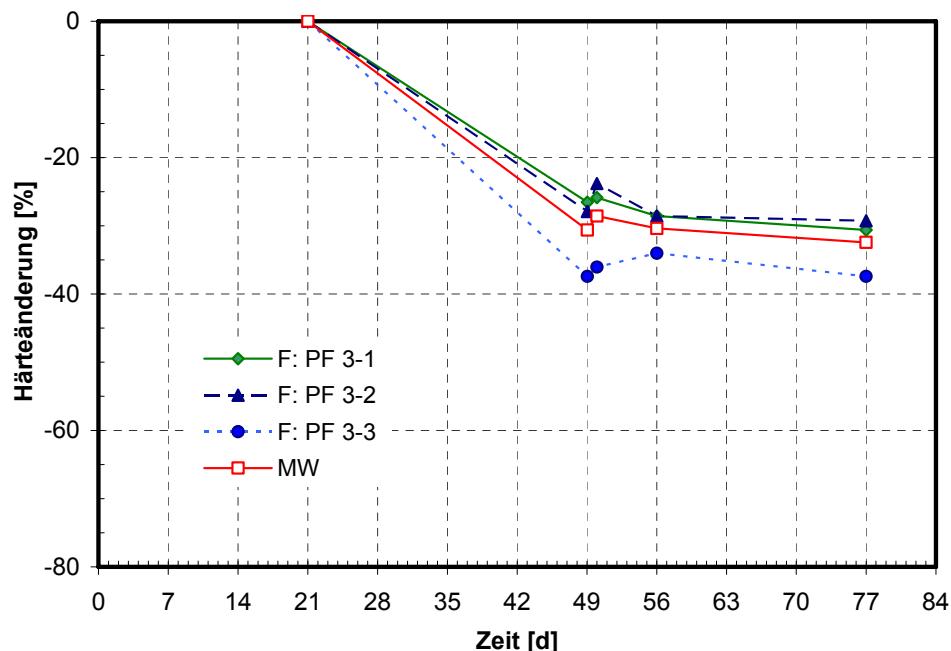


Bild 20: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 3, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

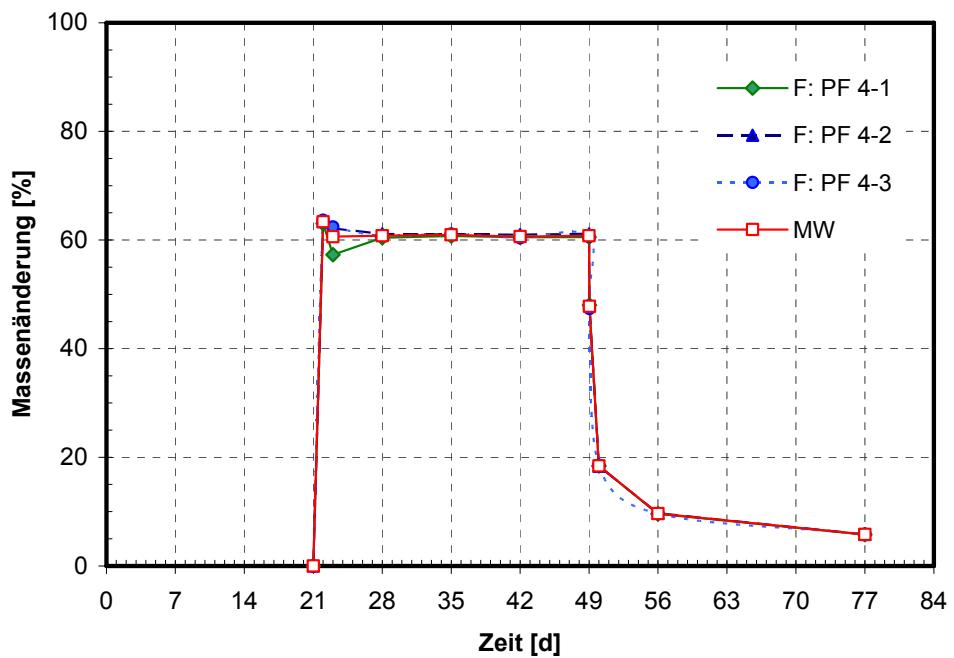


Bild 21: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 4, Masseänderung

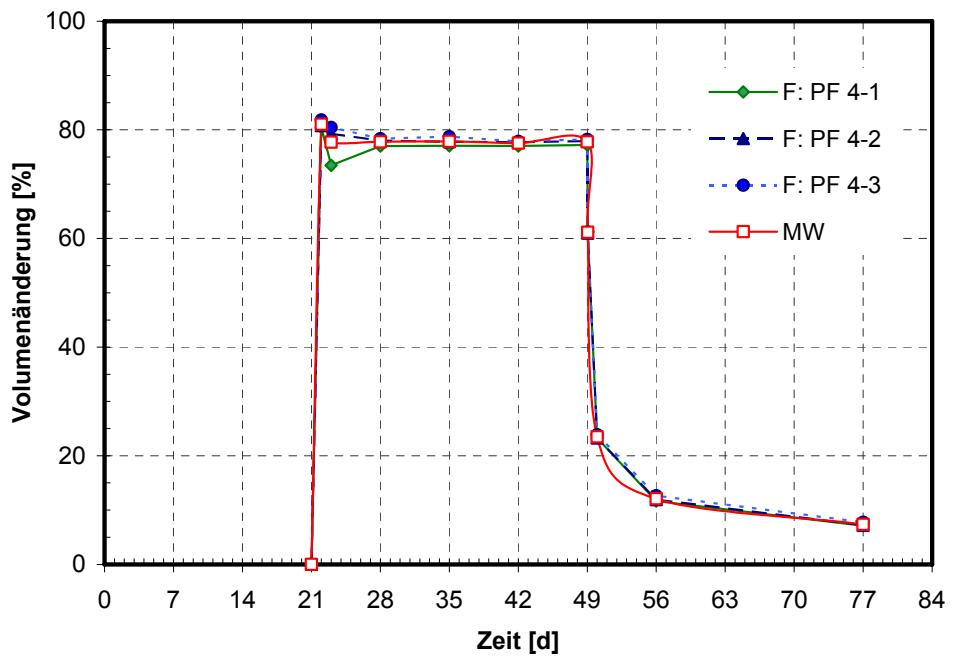


Bild 22: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 4, Volumenänderung

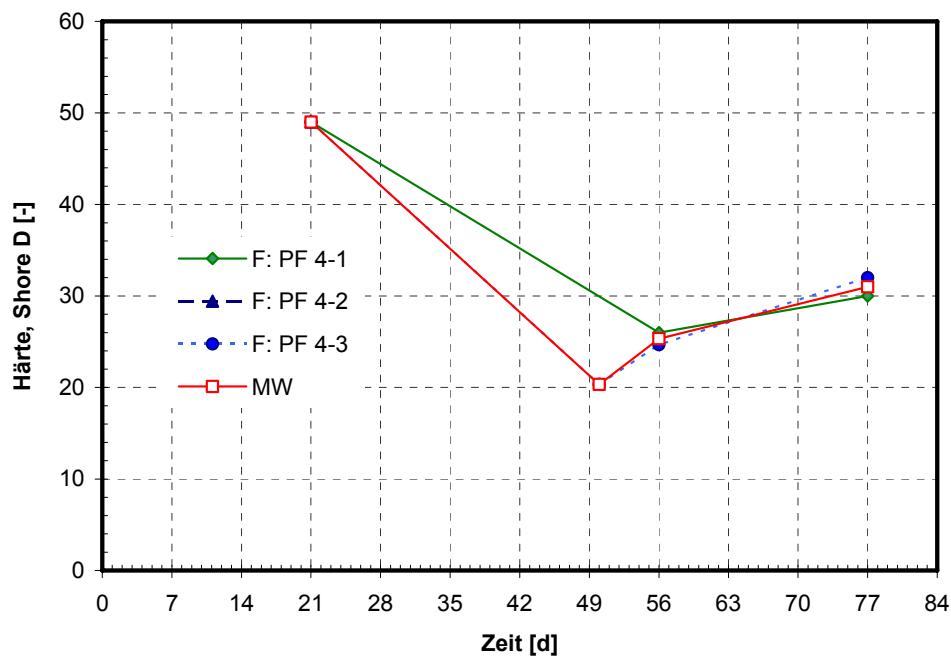


Bild 23: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 4, Härteänderung (Shore-Einheiten)
Messung nur stark eingeschränkt möglich, Probe 1 ab 7. Tag, Probe 2 keine Messung

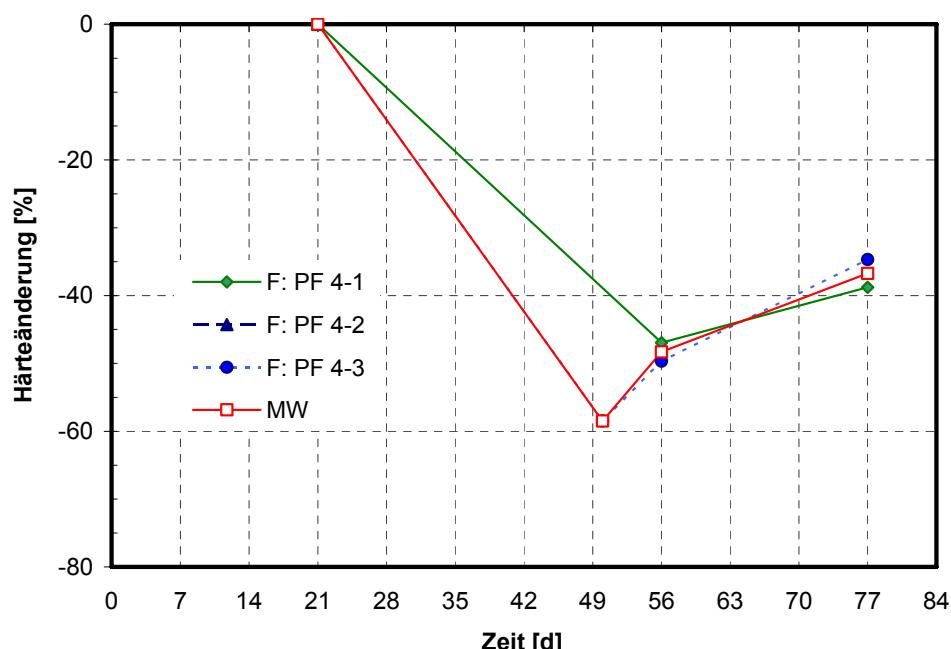


Bild 24: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 4, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F.
gelagerte Probe
Messung nur stark eingeschränkt möglich, Probe 1 ab 7. Tag, Probe 2 keine Messung

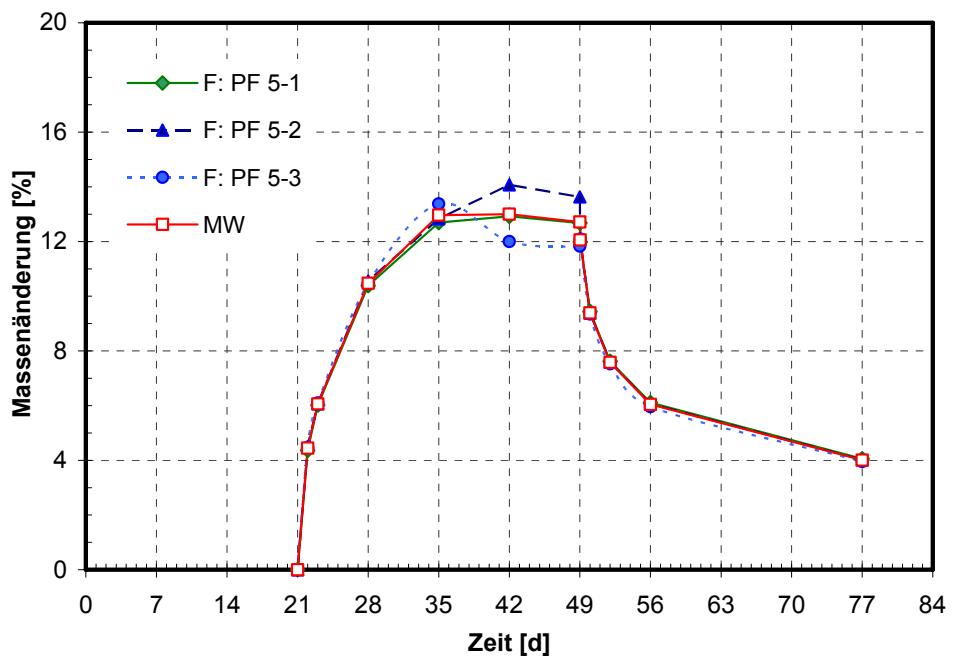


Bild 25: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 5, Masseänderung

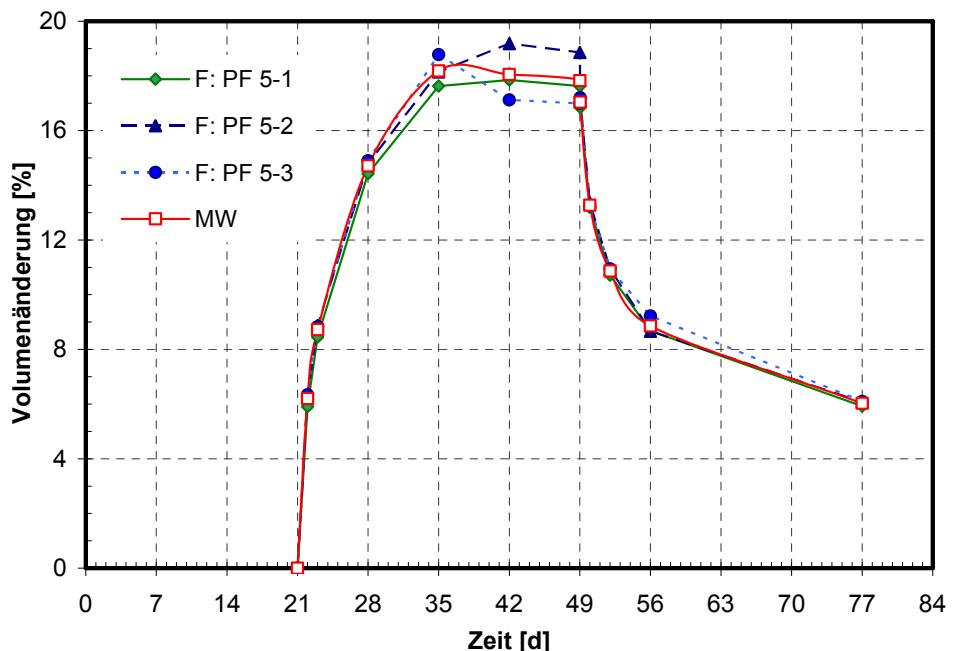


Bild 26: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 5, Volumenänderung

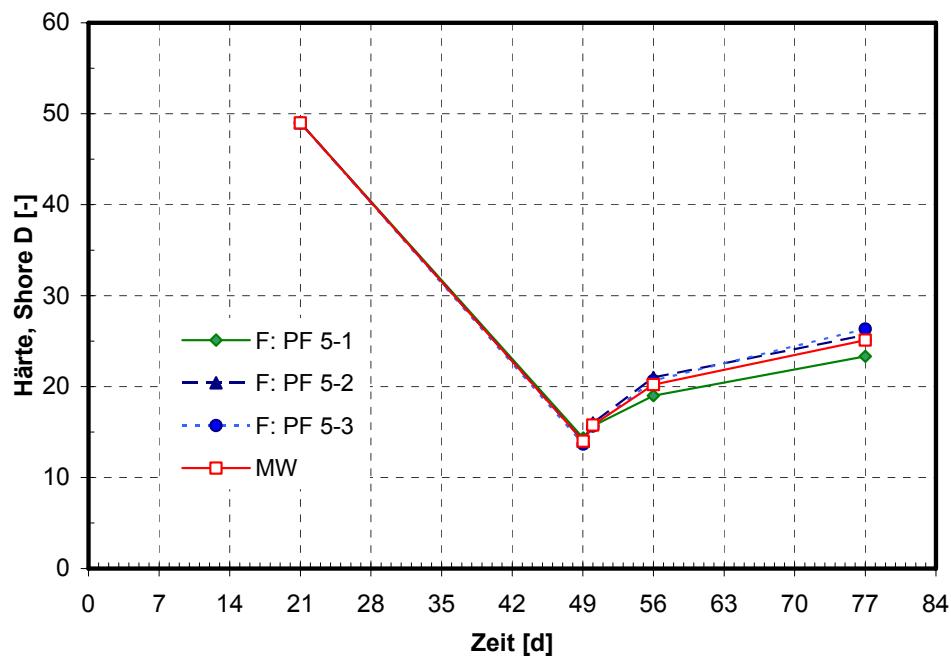


Bild 27: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 5, Härteänderung (Shore-Einheiten)

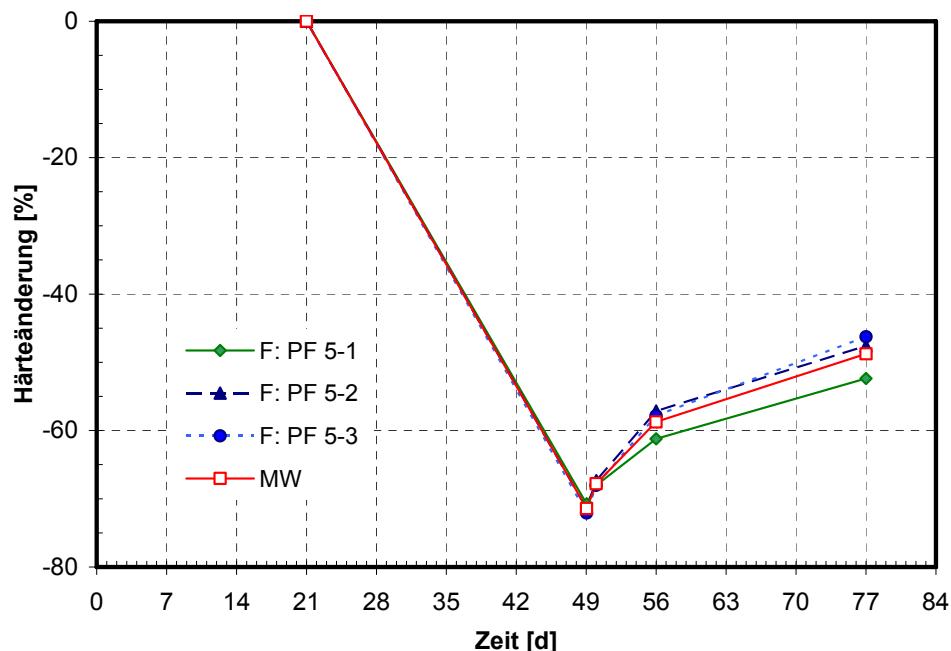


Bild 28: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 5, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

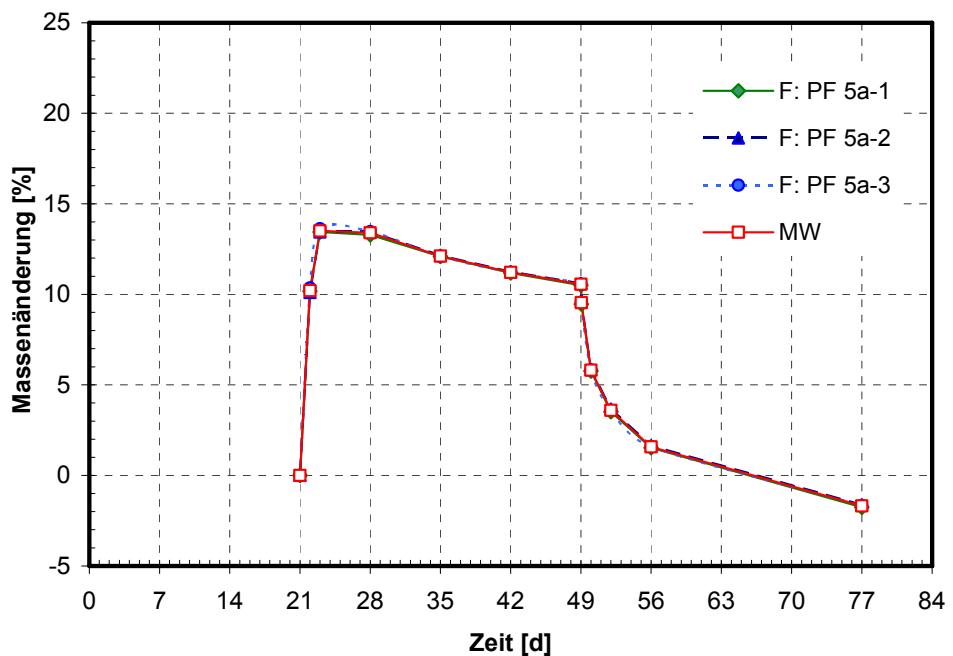


Bild 29: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 5a, Masseänderung

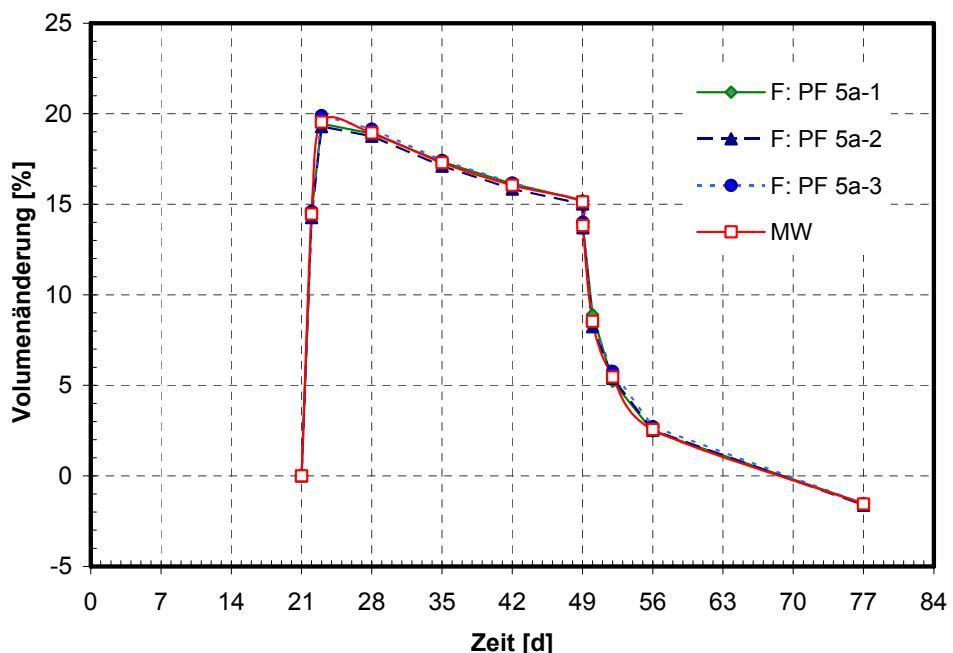


Bild 30: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 5a, Volumenänderung

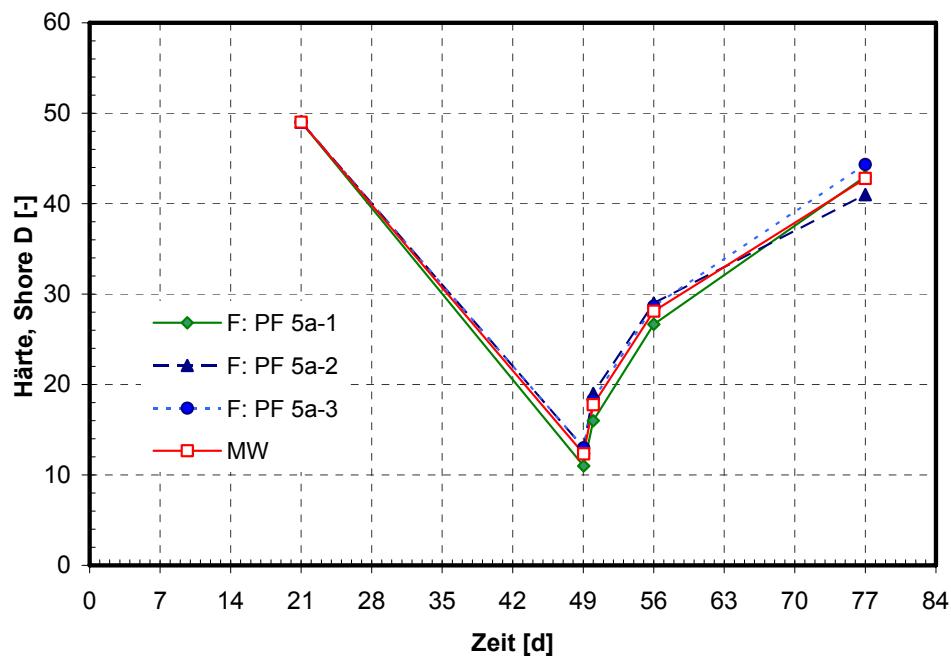


Bild 31: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 5a, Härteänderung (Shore-Einheiten)

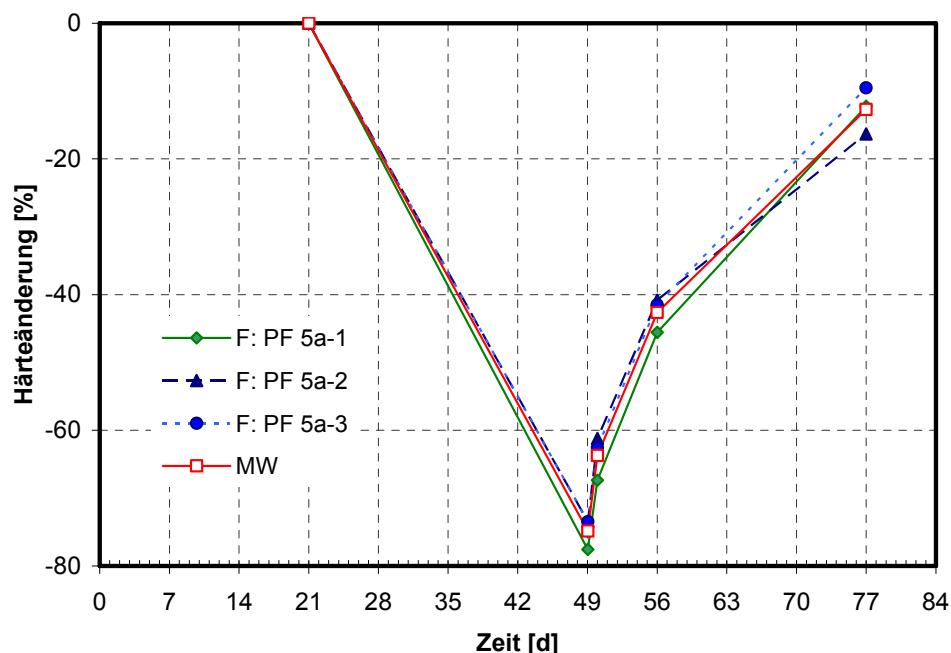


Bild 32: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 5a, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

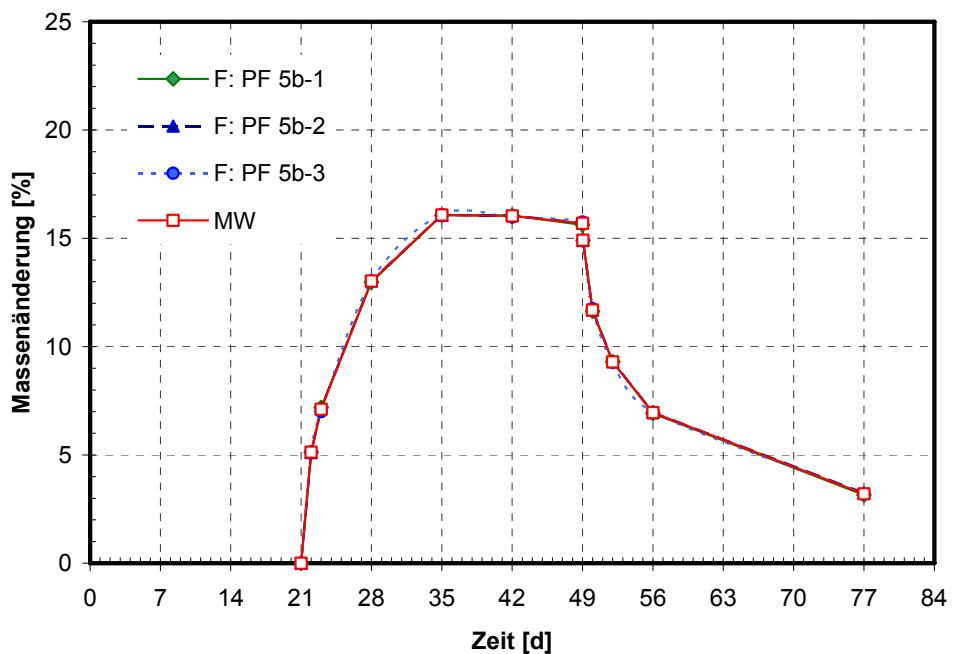


Bild 33: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 5b, Masseänderung

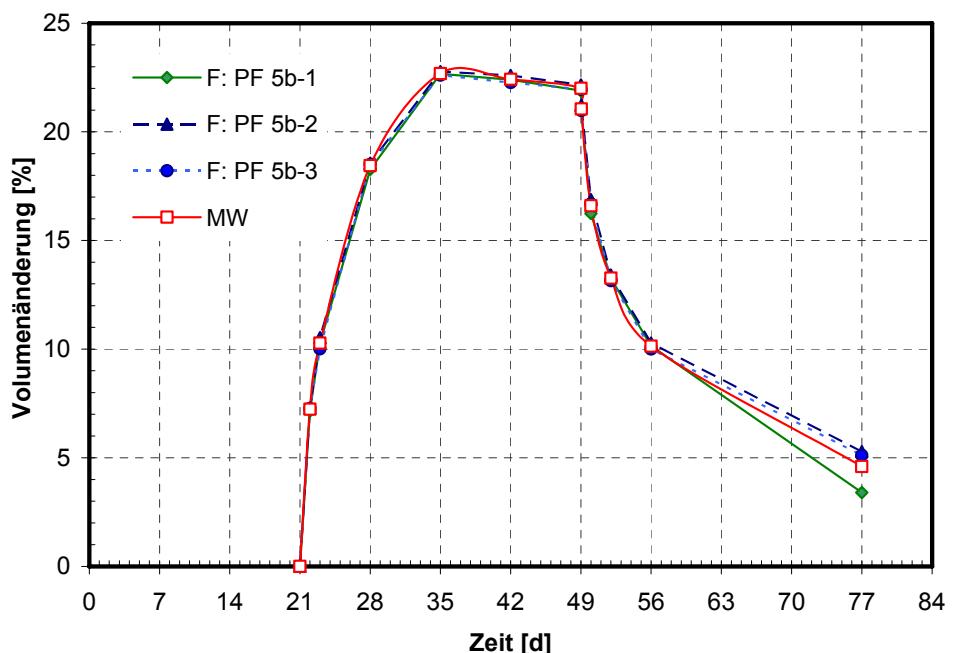


Bild 34: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 5b, Volumenänderung

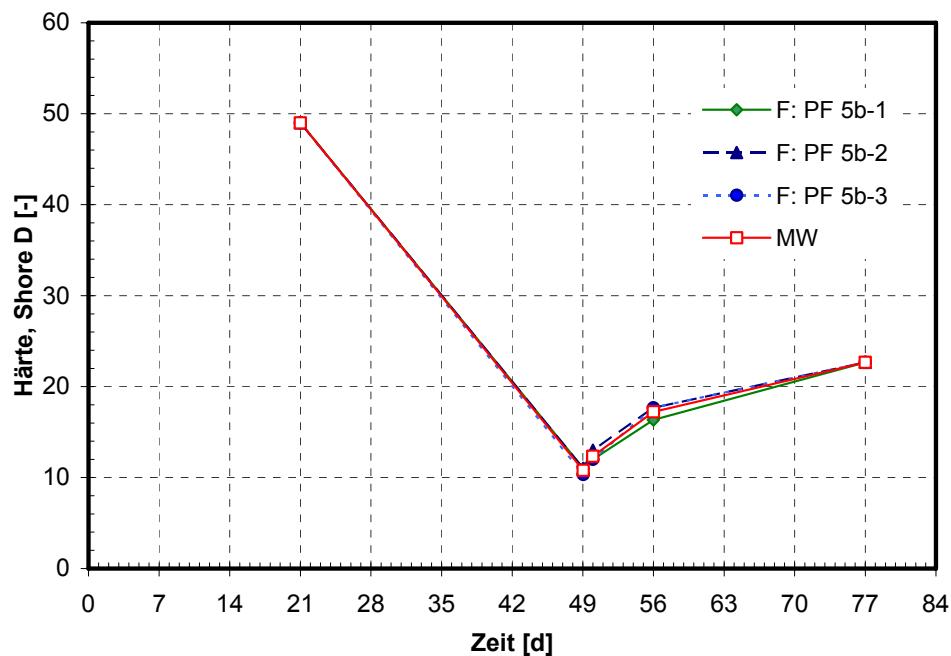


Bild 35: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 5b, Härteänderung (Shore-Einheiten)

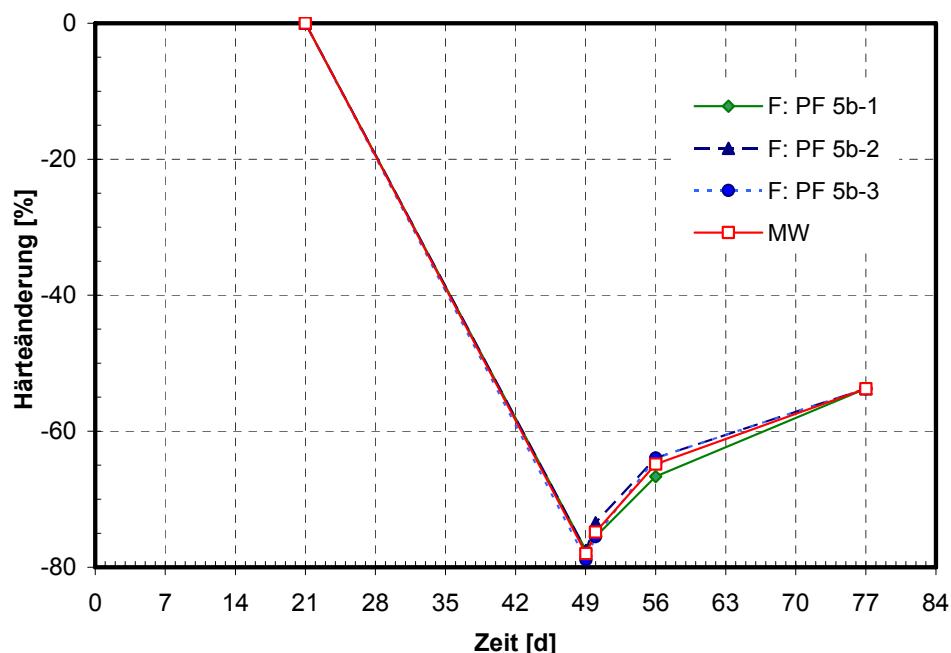


Bild 36: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 5b, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

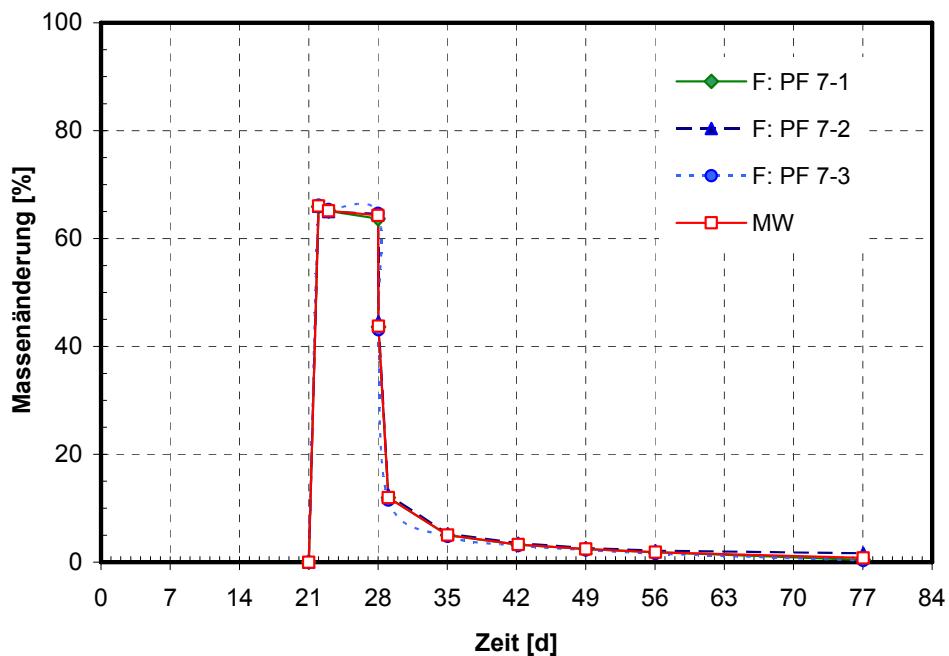


Bild 37: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 7, Masseänderung
Abbruch der Einlagerung ab 7. Tag

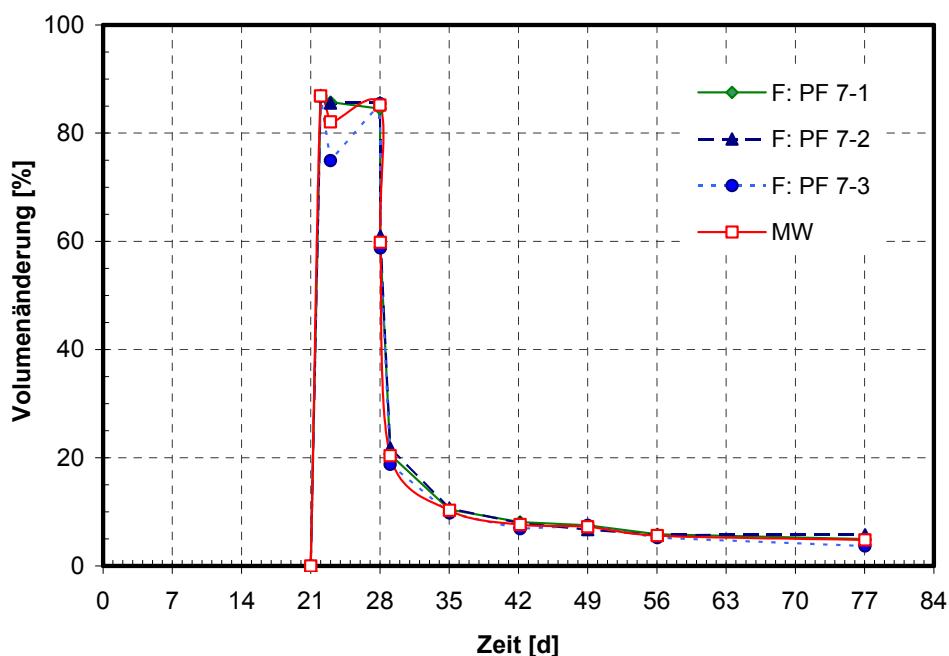


Bild 38: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 7, Volumenänderung
Abbruch der Einlagerung ab 7. Tag

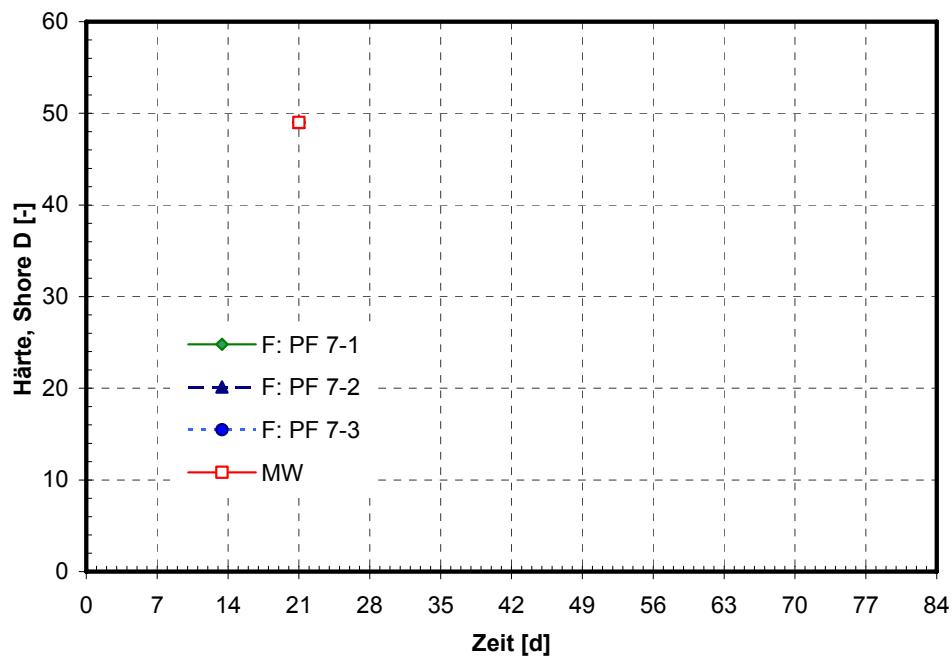


Bild 39: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 7, Härteänderung (Shore-Einheiten)
Proben 1,2,3: Risse, keine Messungen

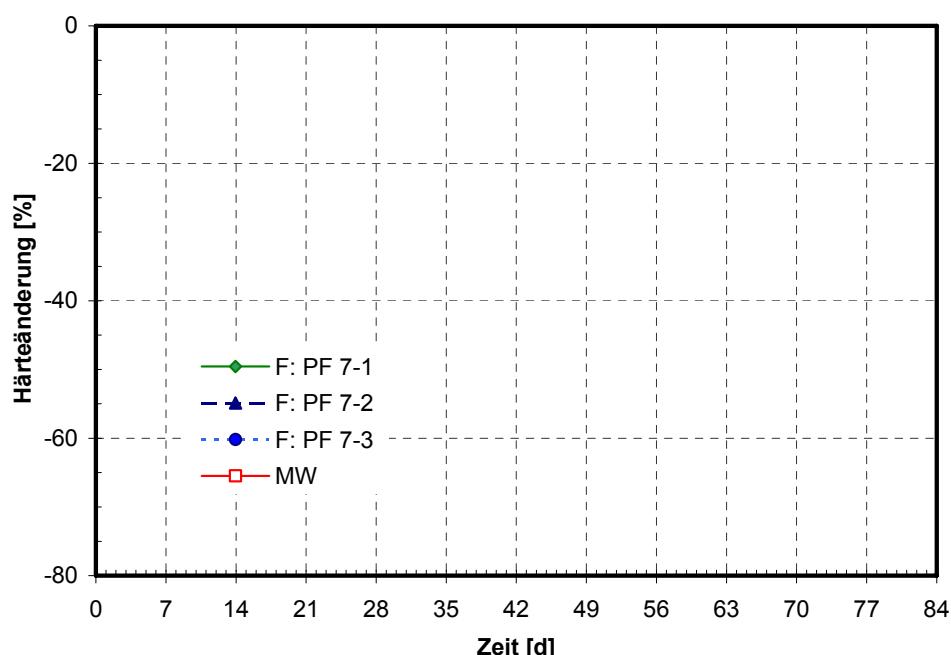


Bild 40: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 7, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F.
gelagerte Probe
Proben 1, 2, 3: Risse, keine Messungen

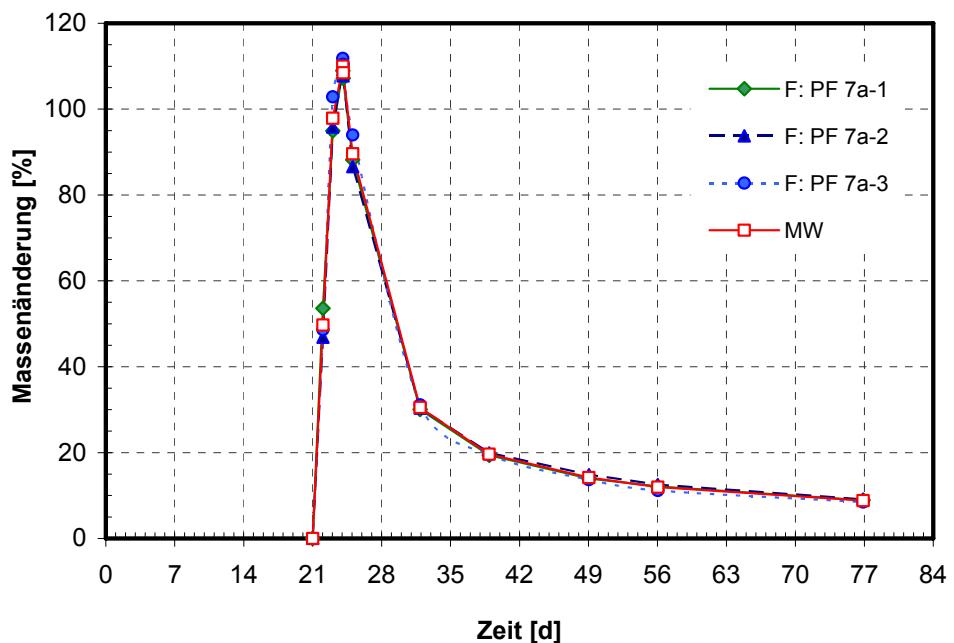


Bild 41: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 7a, Masseänderung
Probe 1,2,3: Risse, Abbruch der Einlagerung ab 3. Tag

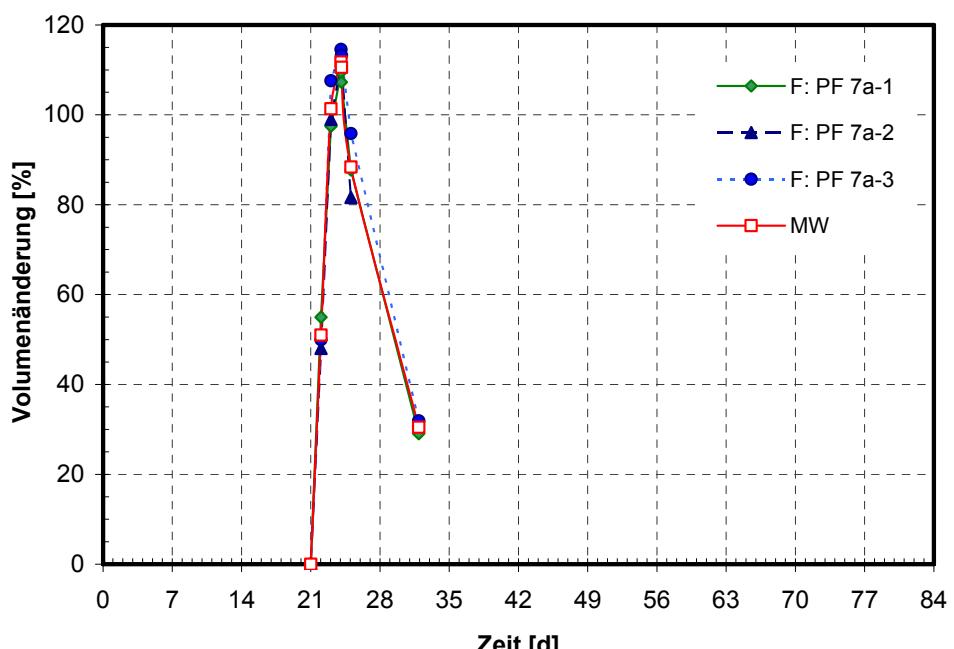


Bild 42: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 7a, Volumenänderung
Probe 1,2,3: Risse, Abbruch der Einlagerung ab 3. Tag, keine Tauchwägung ab 7. Tag nach der
Einlagerung - keine Volumenänderung bestimmt

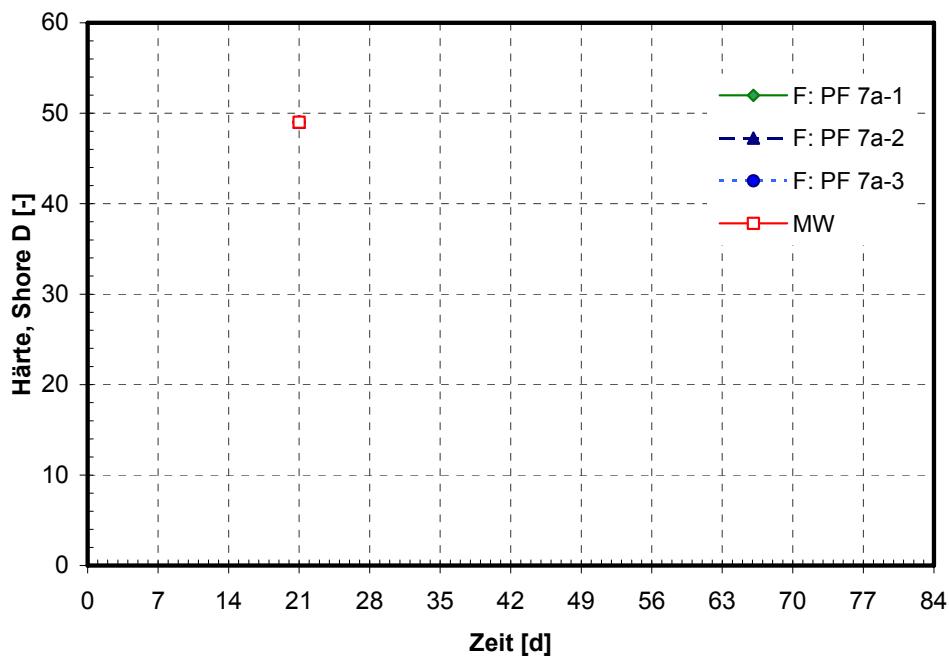


Bild 43: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 7a, Härteänderung (Shore-Einheiten)
Probe 1,2,3: Risse, keine Messungen

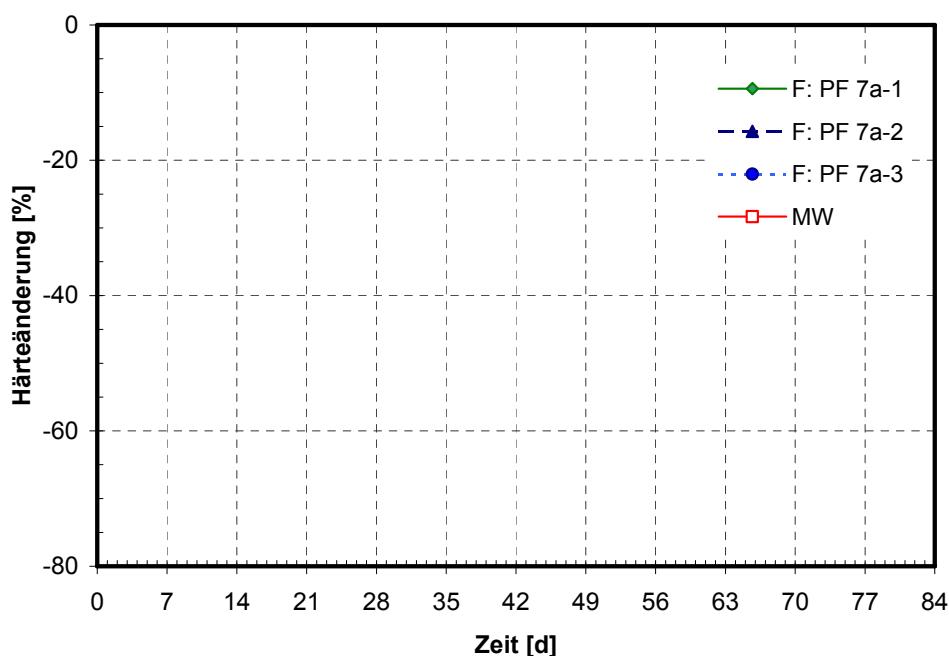


Bild 44: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF 7a, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F.
gelagerte Probe
Probe 1,2,3: Risse, keine Messungen

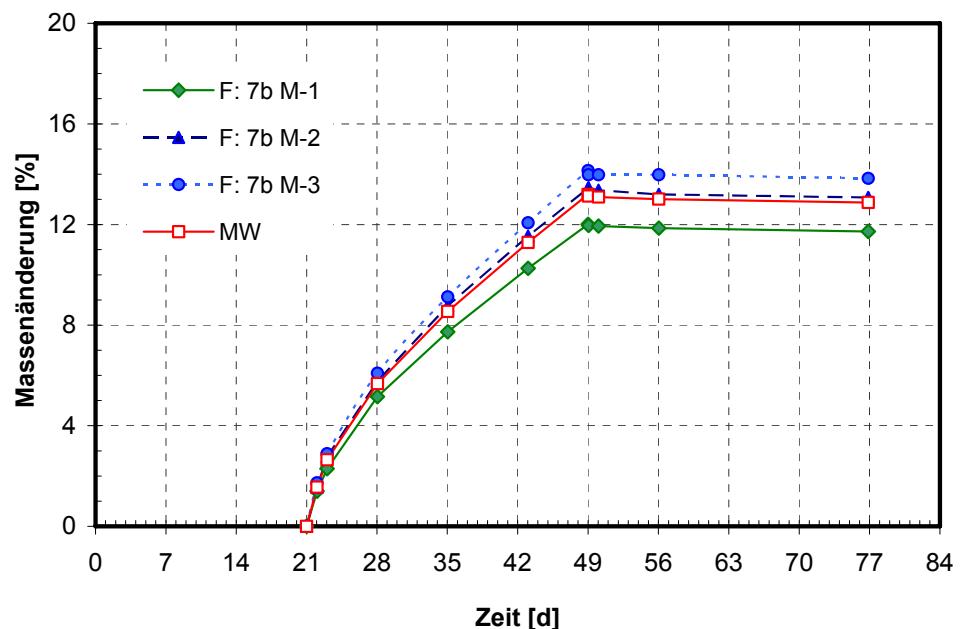


Bild 45: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b M, Masseänderung

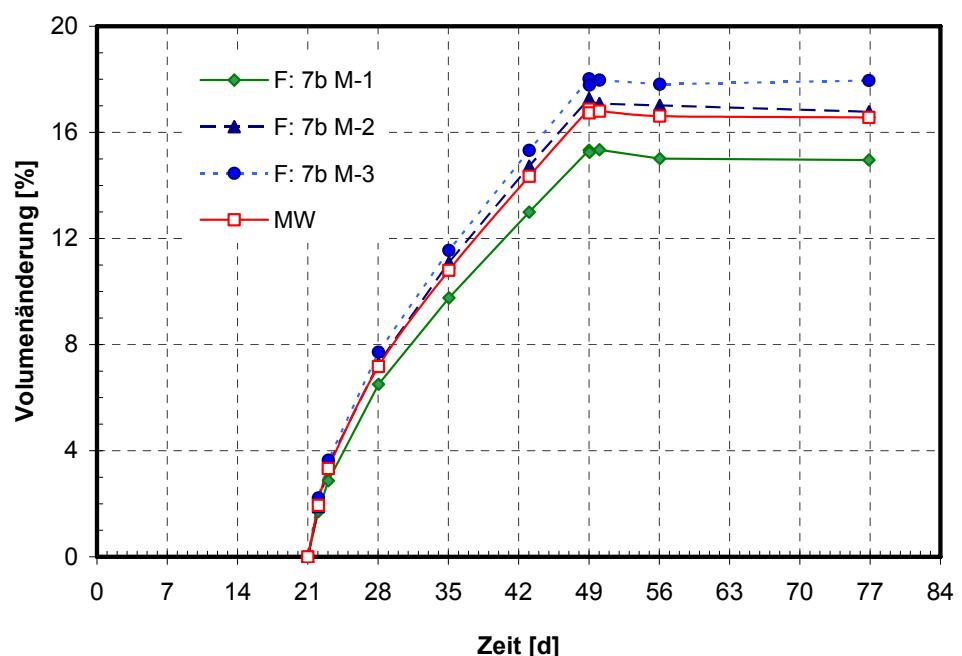


Bild 46: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b M, Volumenänderung

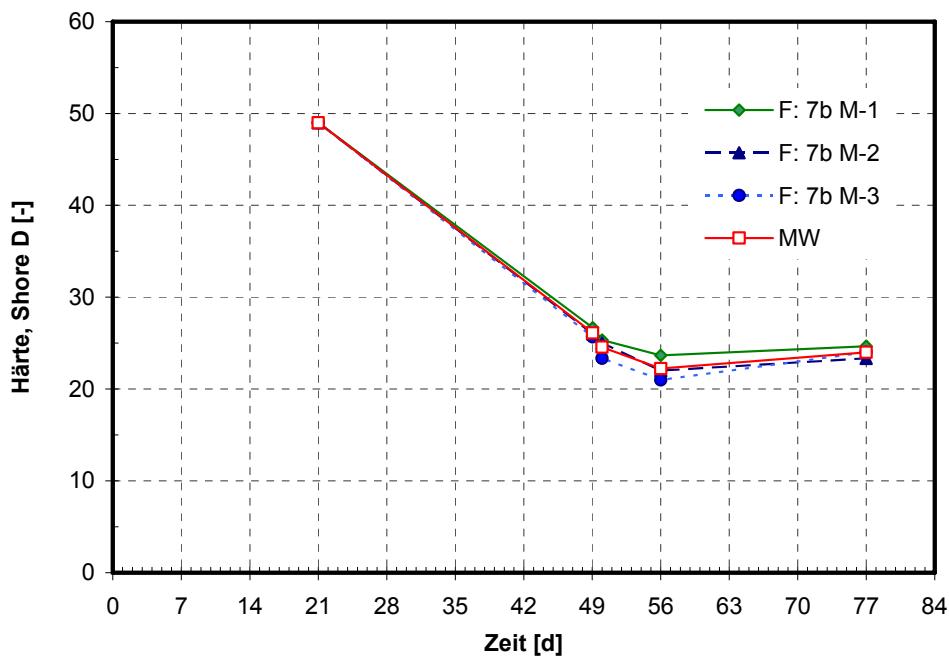


Bild 47: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b M, Härteänderung (Shore-Einheiten)

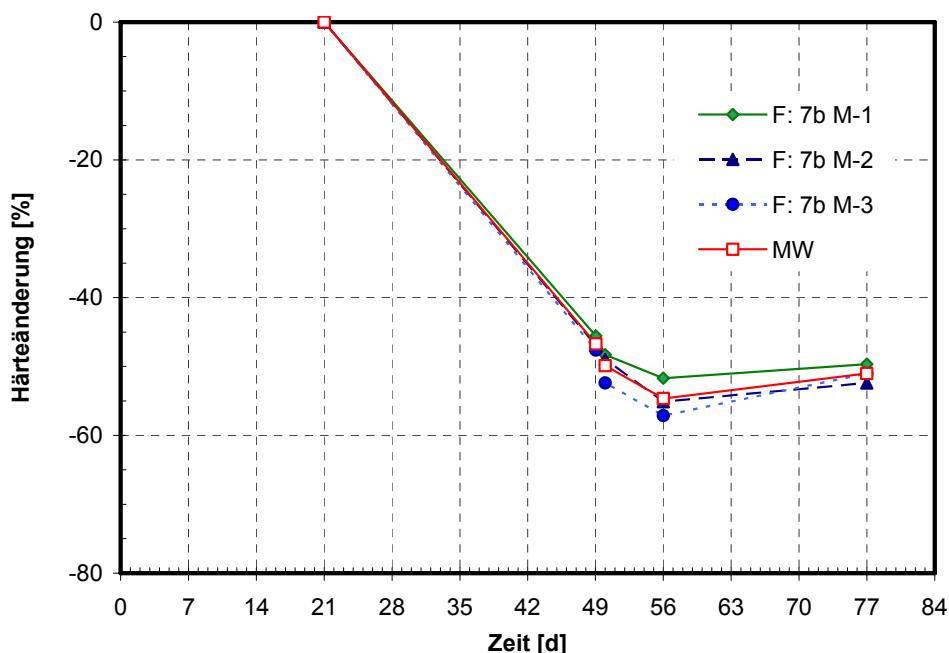


Bild 48: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b M, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

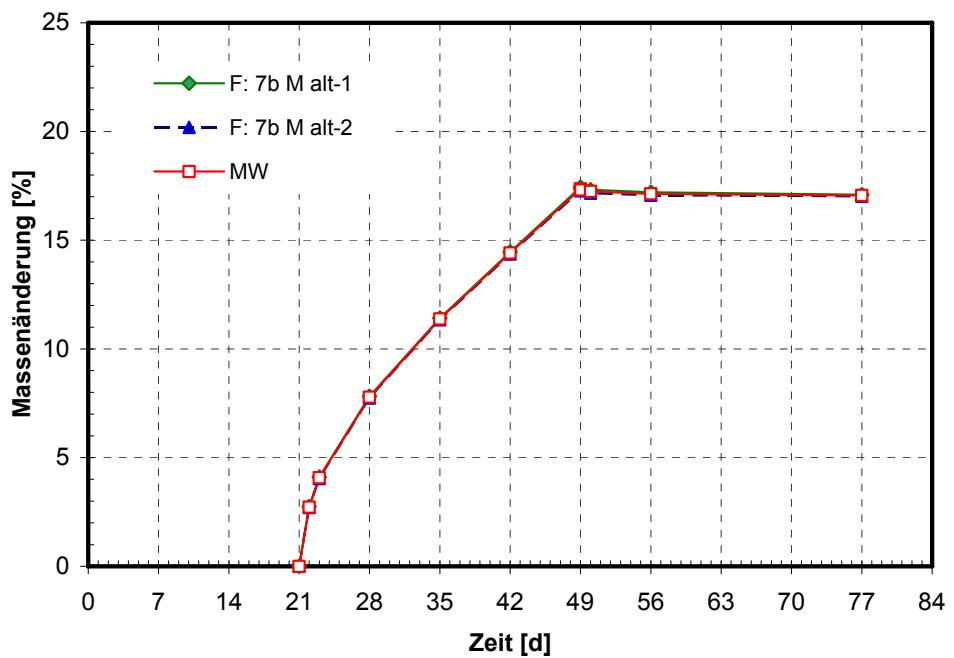


Bild 49: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b M alt, Masseänderung

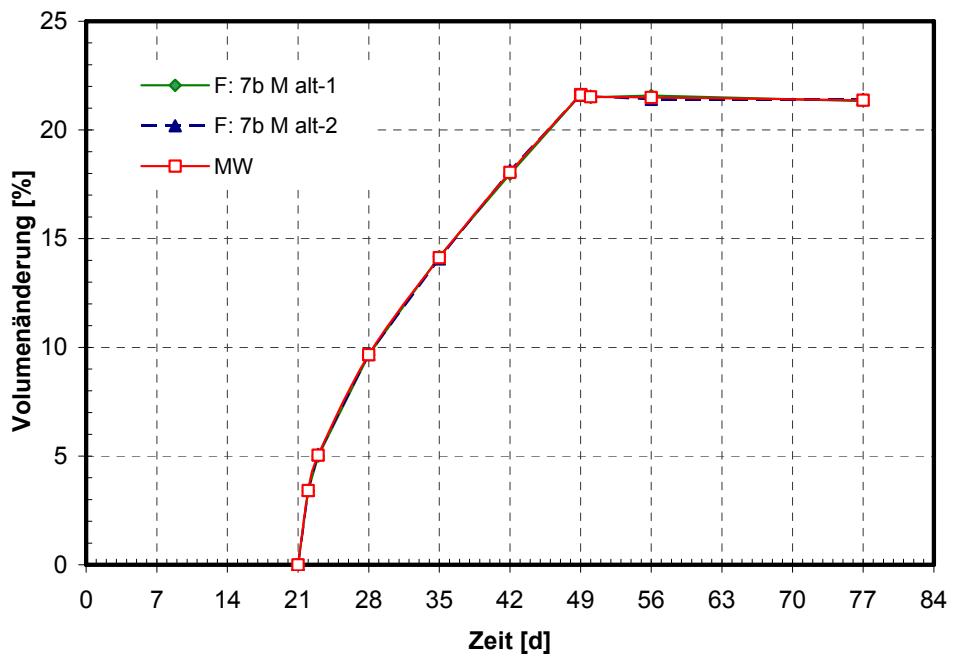


Bild 50: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b M alt, Volumenänderung

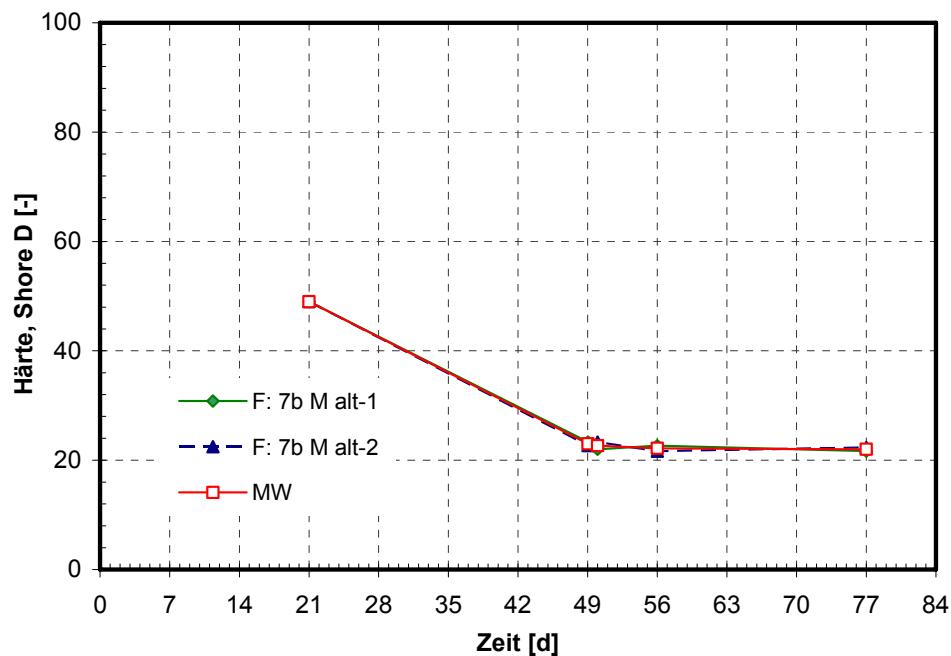


Bild 51: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b M alt, Härteänderung (Shore-Einheiten)

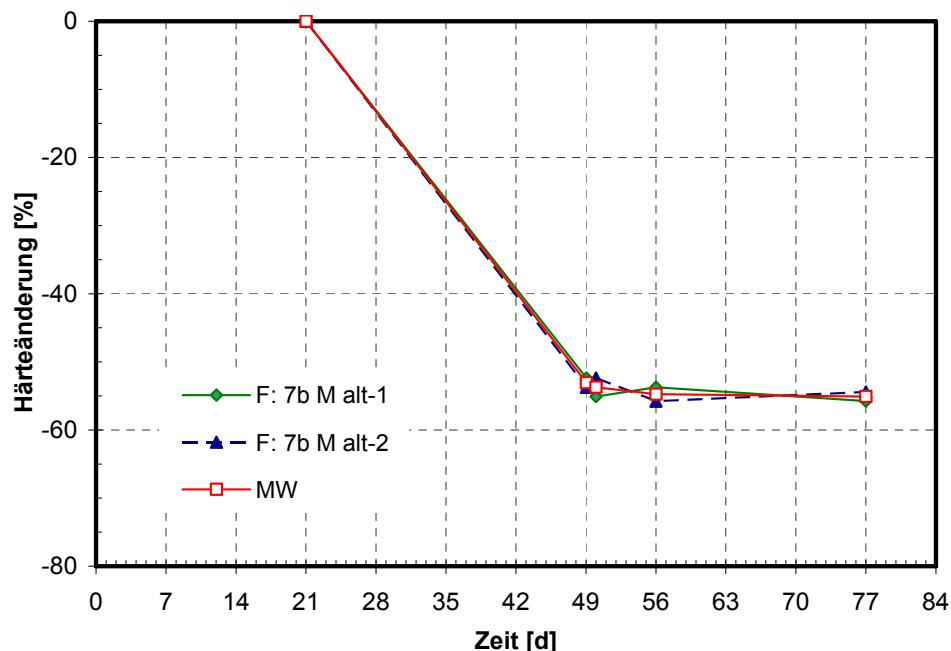


Bild 52: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b M alt, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

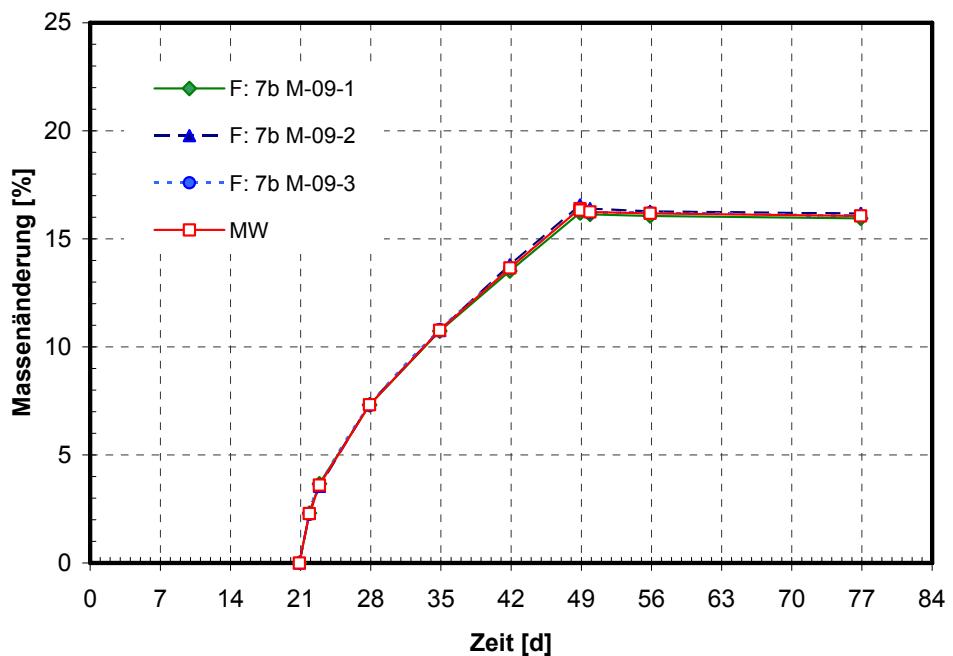


Bild 53: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b M-09, Masseänderung

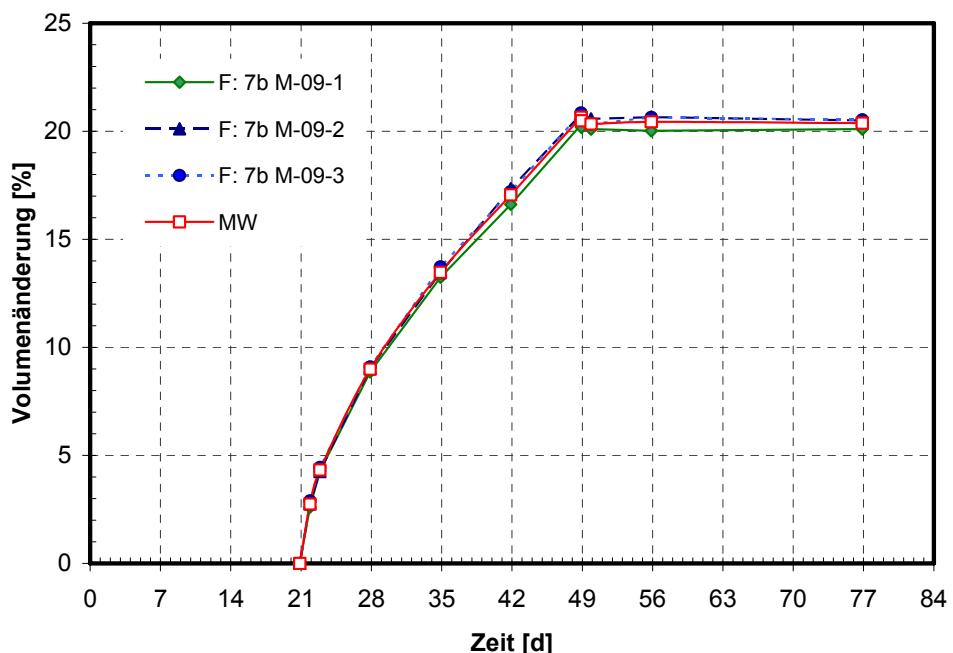


Bild 54: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b M-09, Volumenänderung

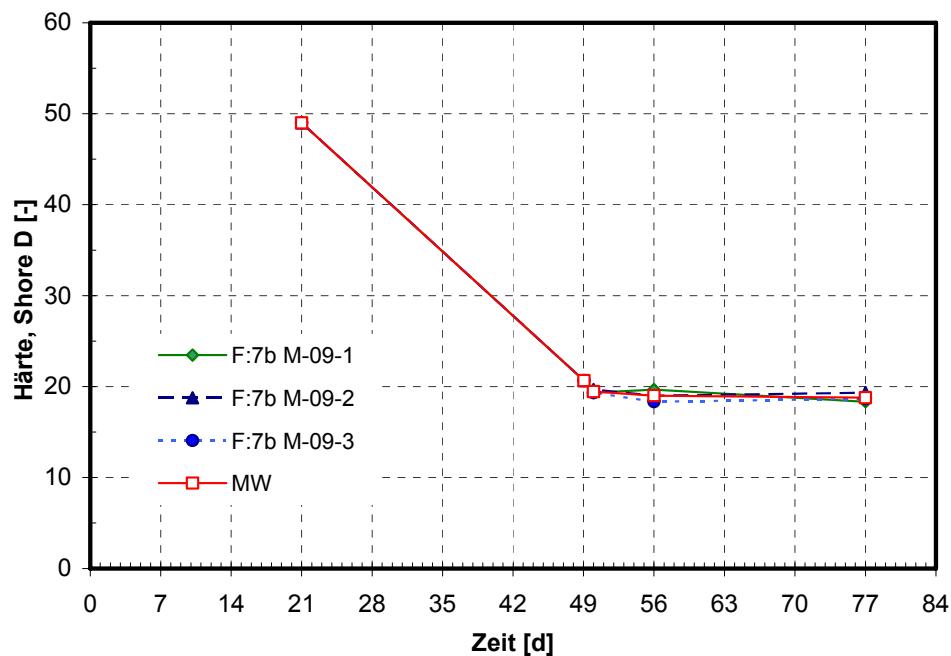


Bild 55: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b M-09, Härteänderung (Shore-Einheiten)

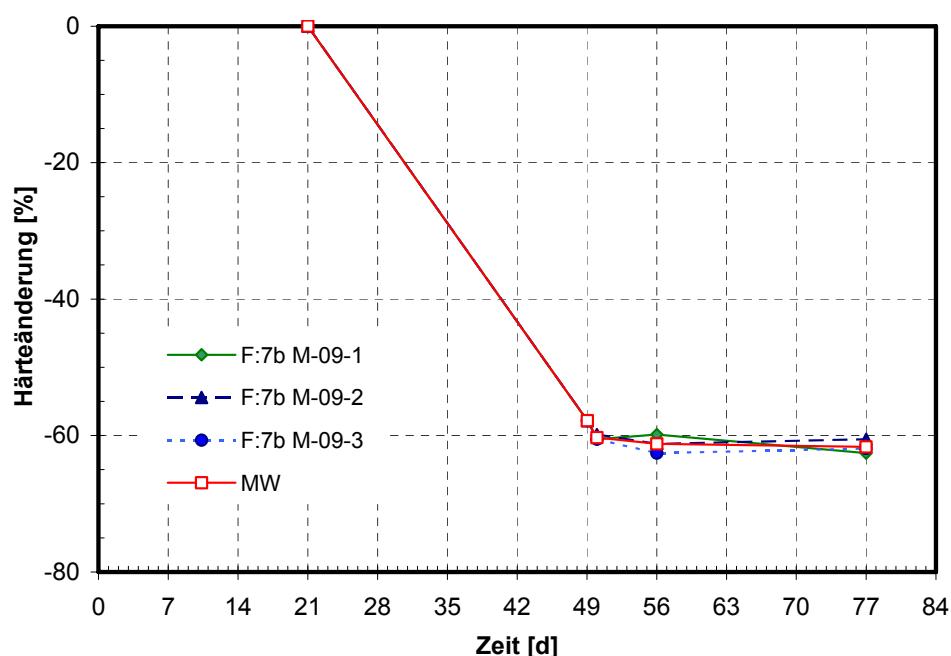


Bild 56: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b M-09, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

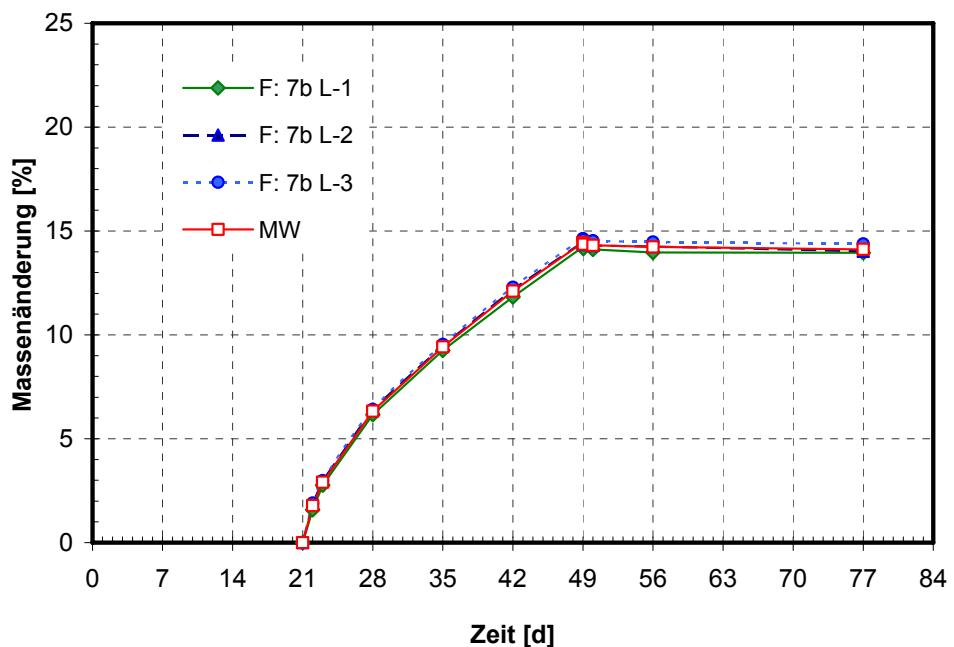


Bild 57: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b L, Masseänderung

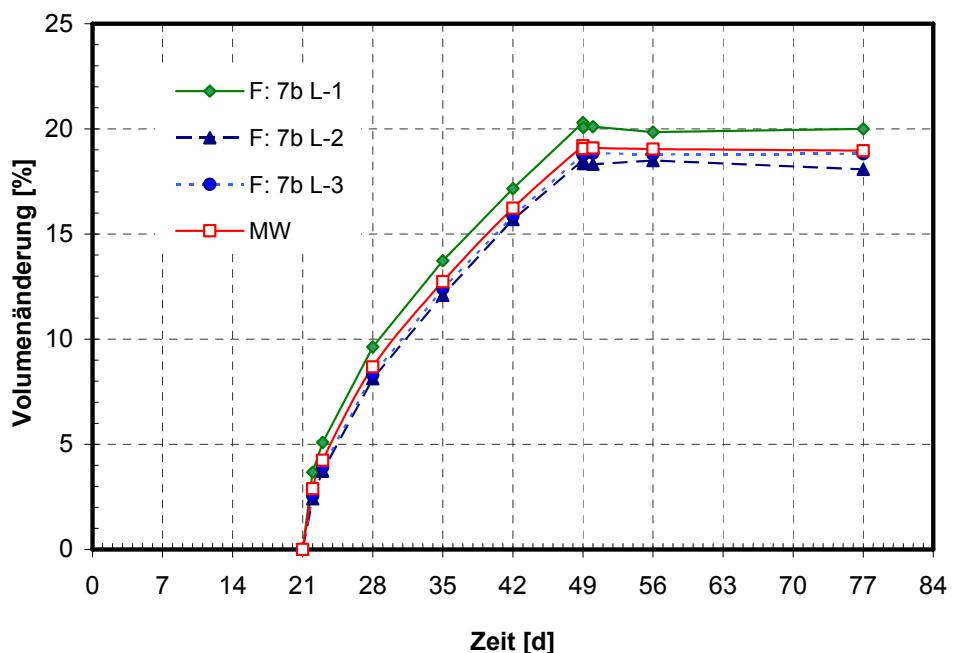


Bild 58: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b L, Volumenänderung

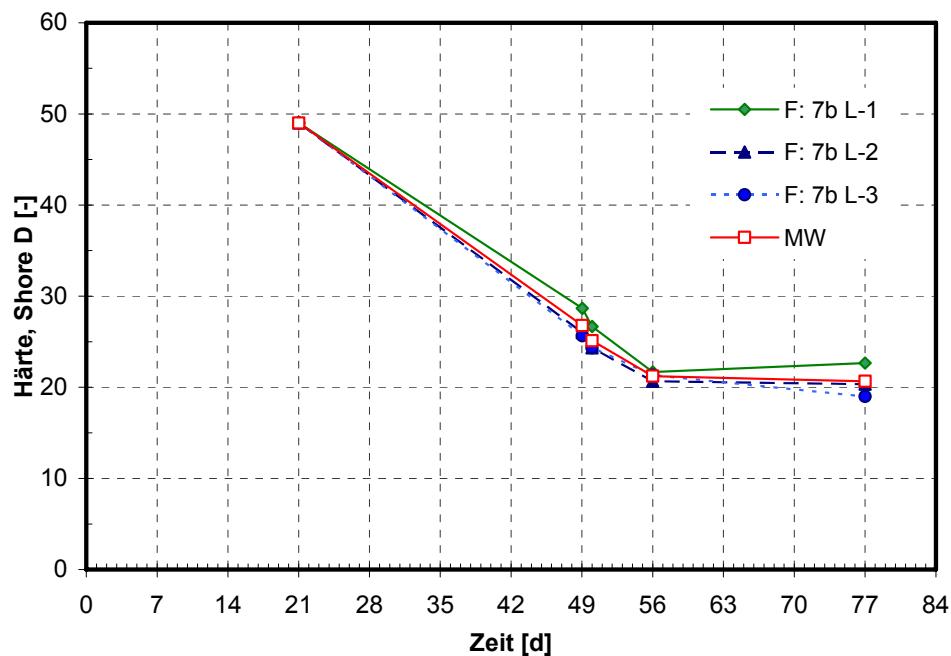


Bild 59: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b L, Härteänderung (Shore-Einheiten)

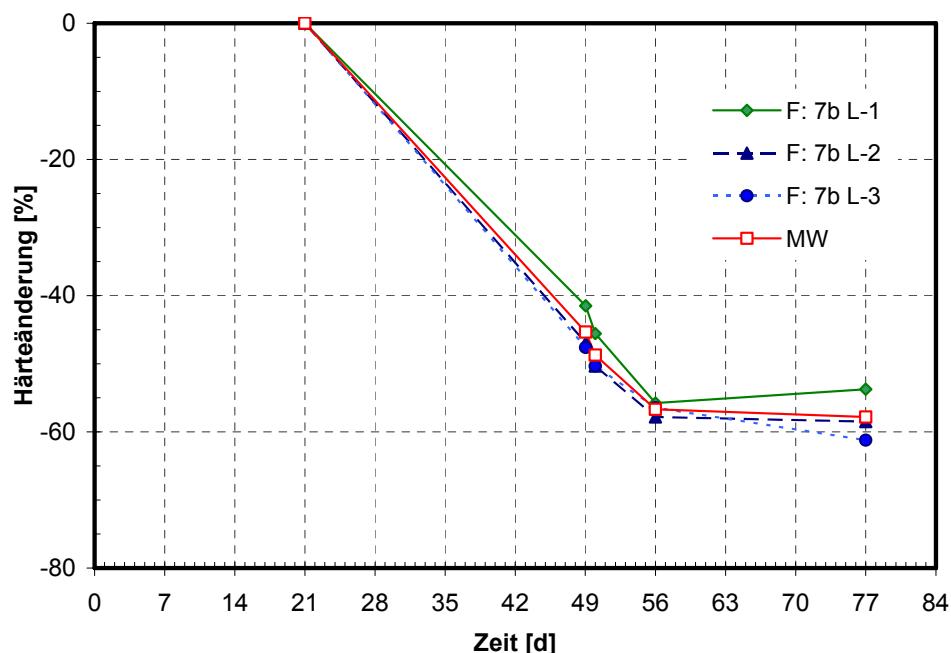


Bild 60: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b L, Härteänderung, bezogen auf die 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

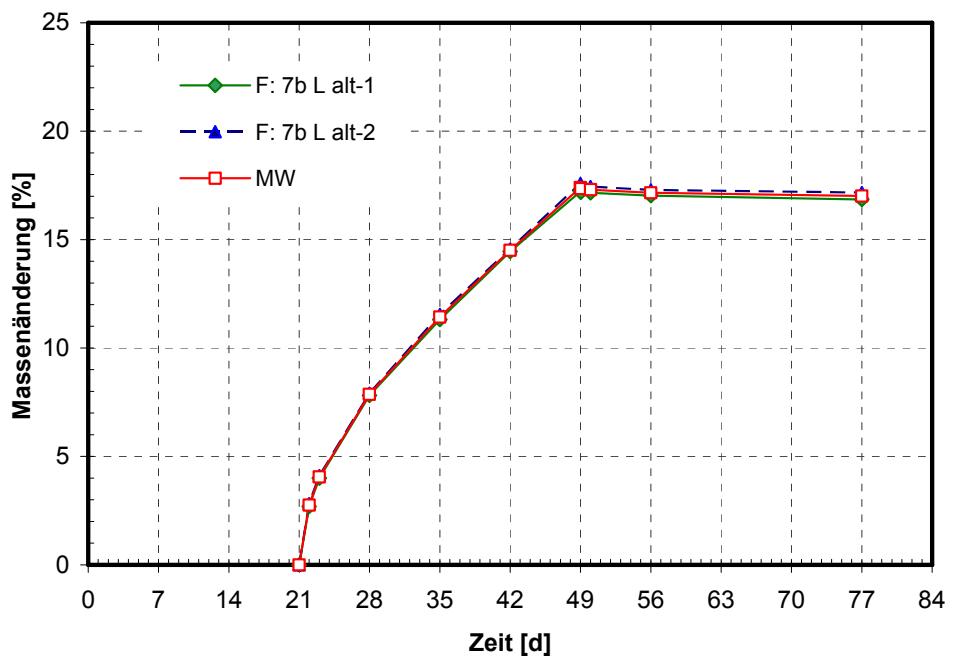


Bild 61: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b L alt, Masseänderung

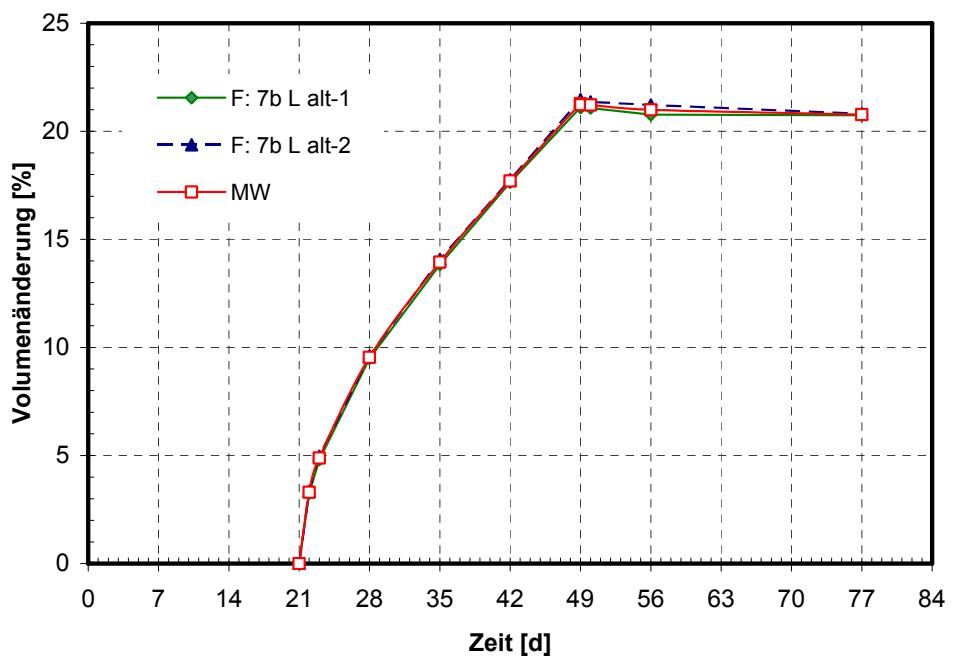


Bild 62: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b L alt, Volumenänderung

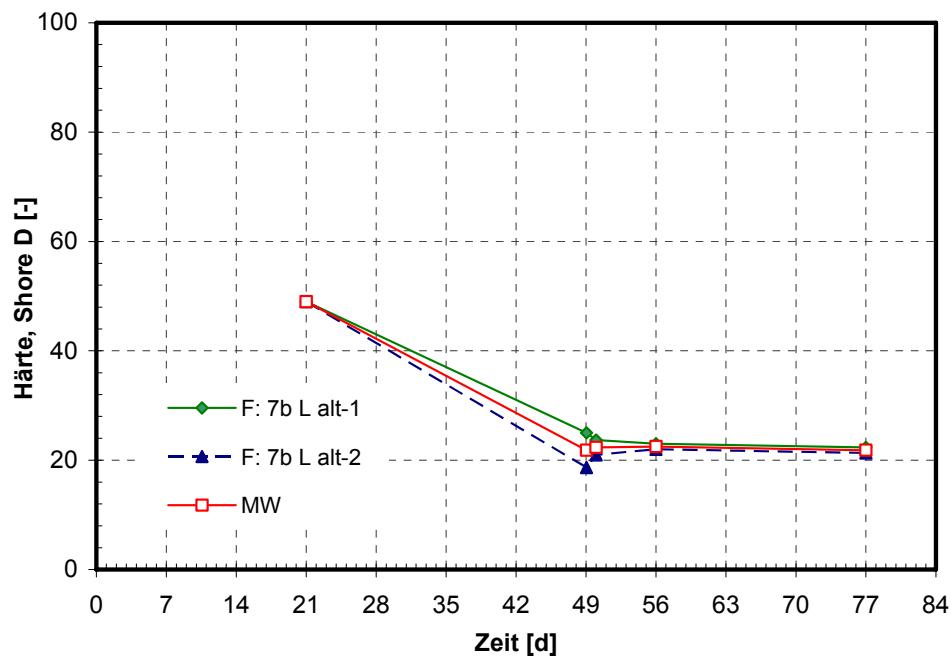


Bild 63: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b L alt, Härteänderung (Shore-Einheiten)

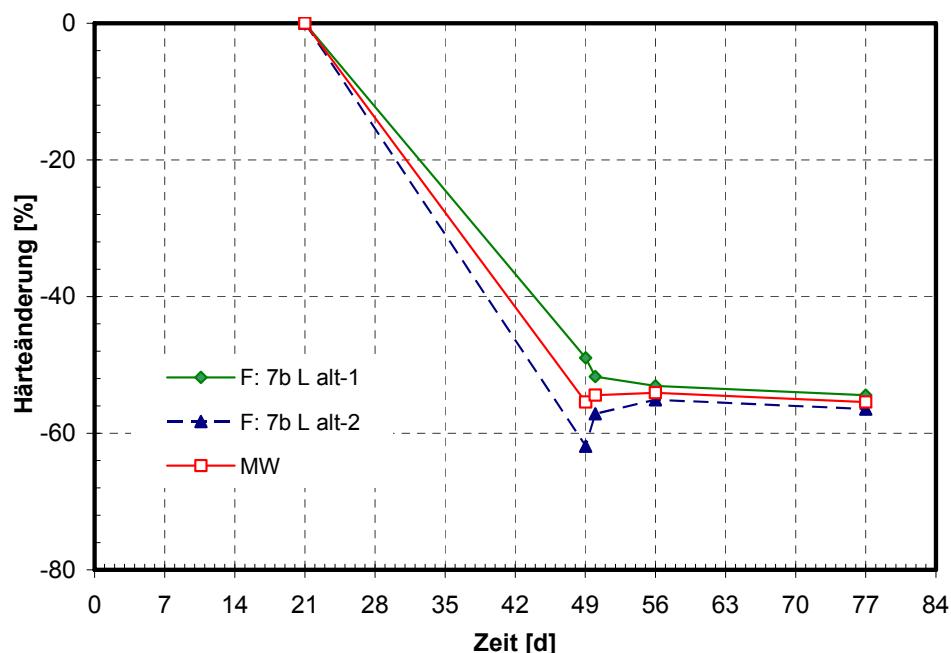


Bild 64: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 7b L alt, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

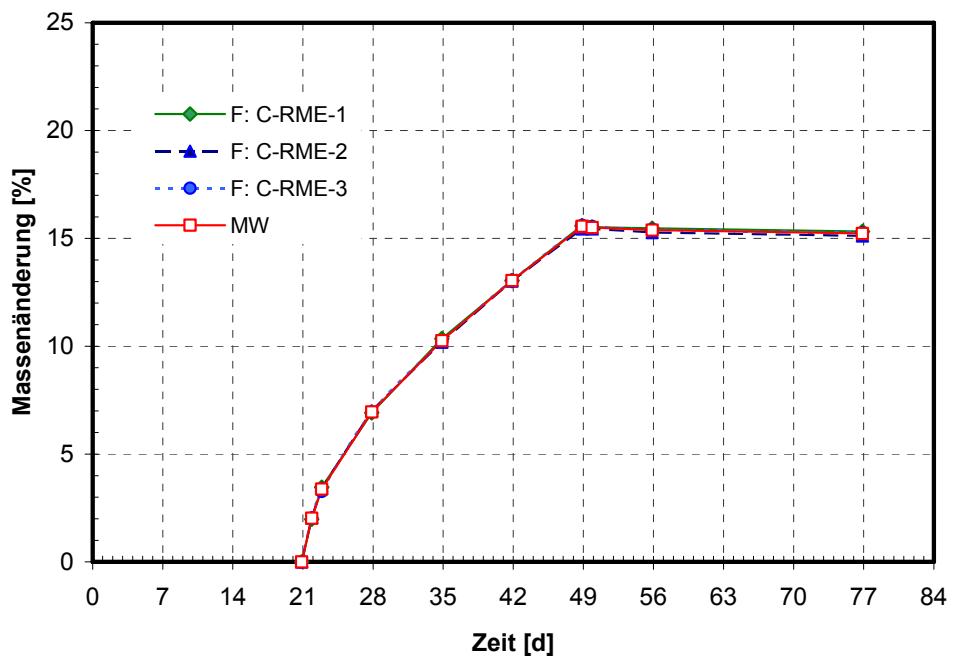


Bild 65: PUR-Beschichtung, Einlagerung in C-RME, Masseänderung

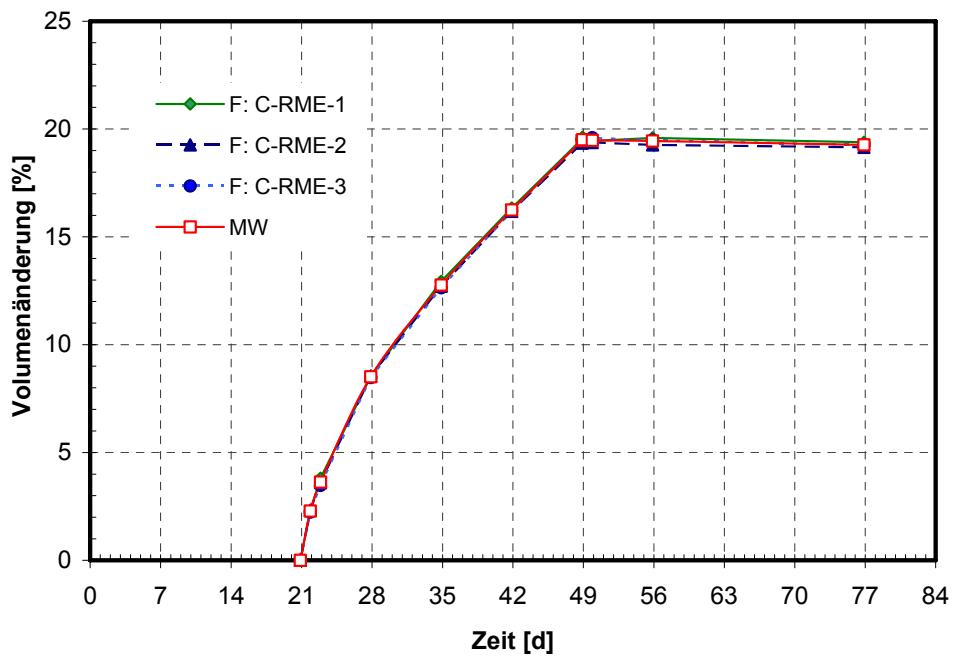


Bild 66: PUR-Beschichtung, Einlagerung in C-RME, Volumenänderung

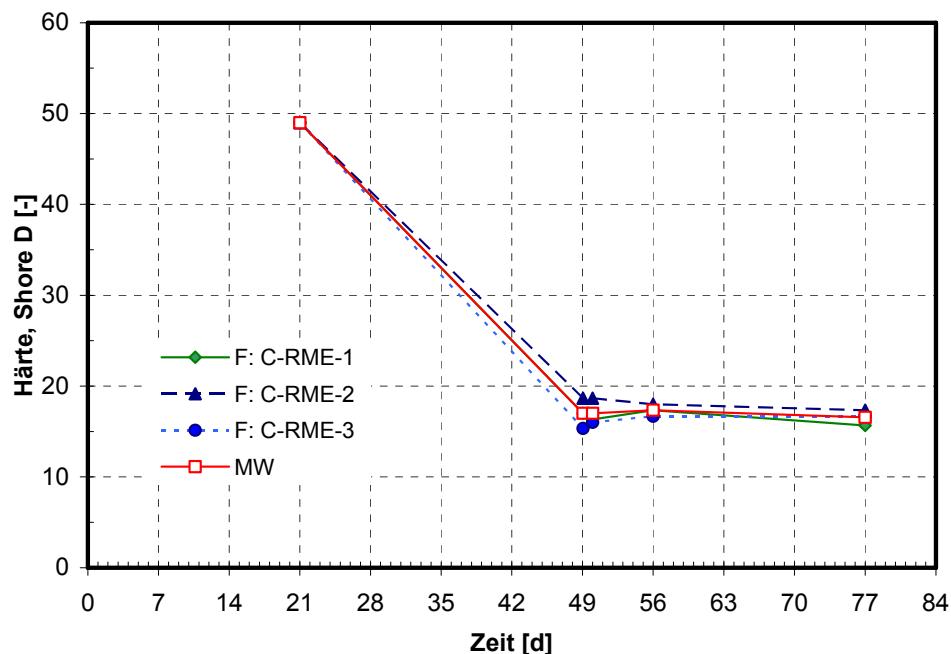


Bild 67: PUR-Beschichtung, Einlagerung in C-RME, Härteänderung (Shore-Einheiten)

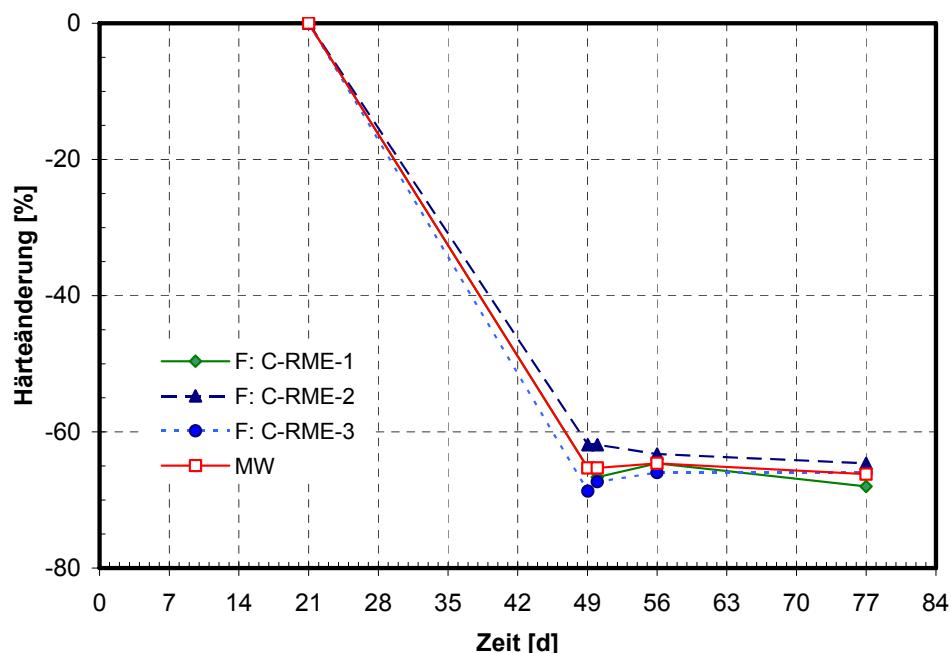


Bild 68: PUR-Beschichtung, Einlagerung in C-RME, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

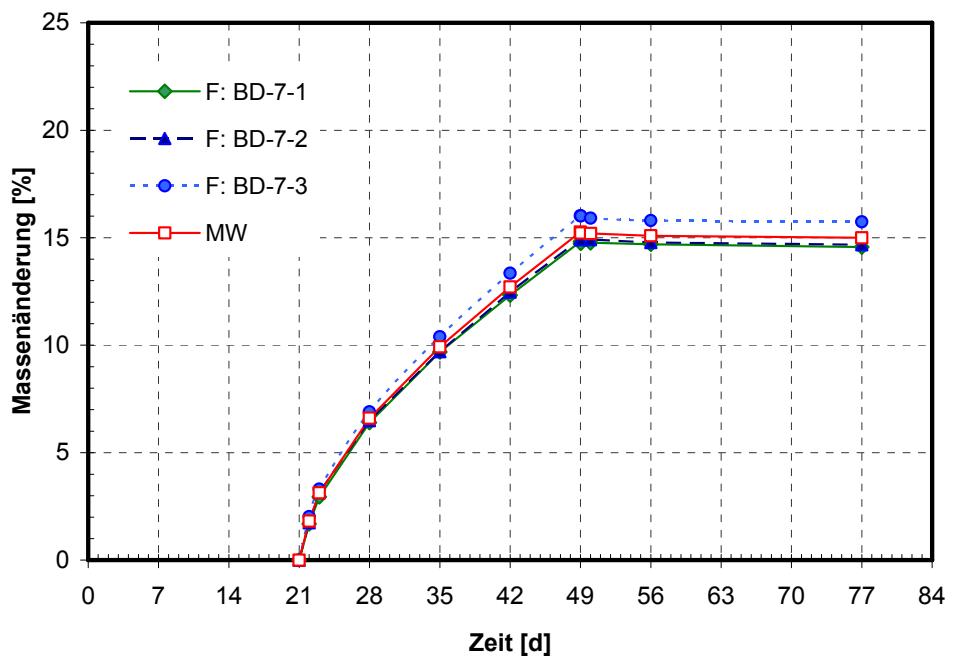


Bild 69: PUR-Beschichtung, Einlagerung in BD-7, Masseänderung

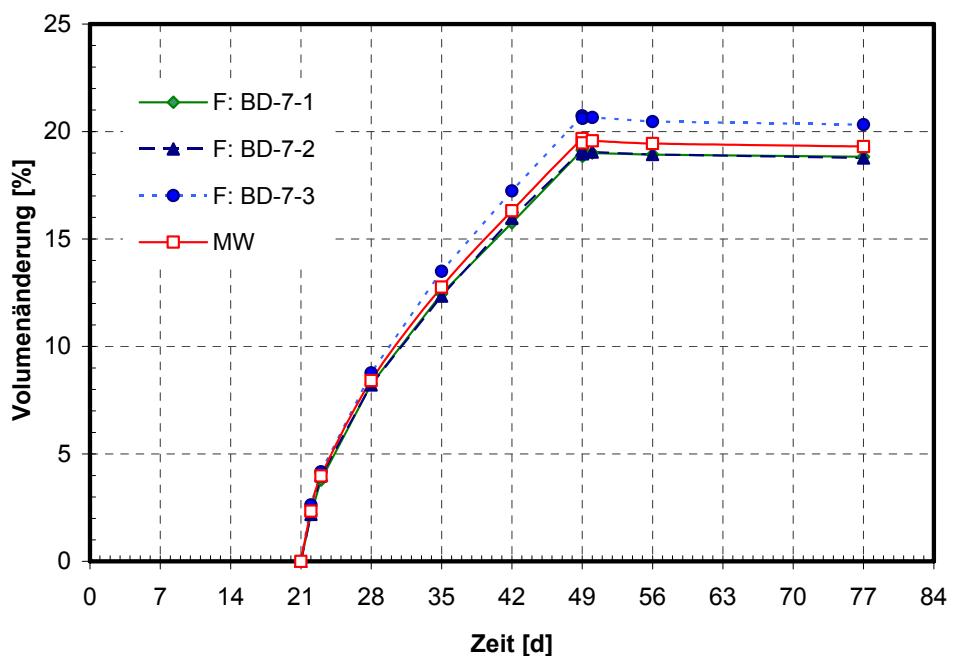


Bild 70: PUR-Beschichtung, Einlagerung in BD-7, Volumenänderung

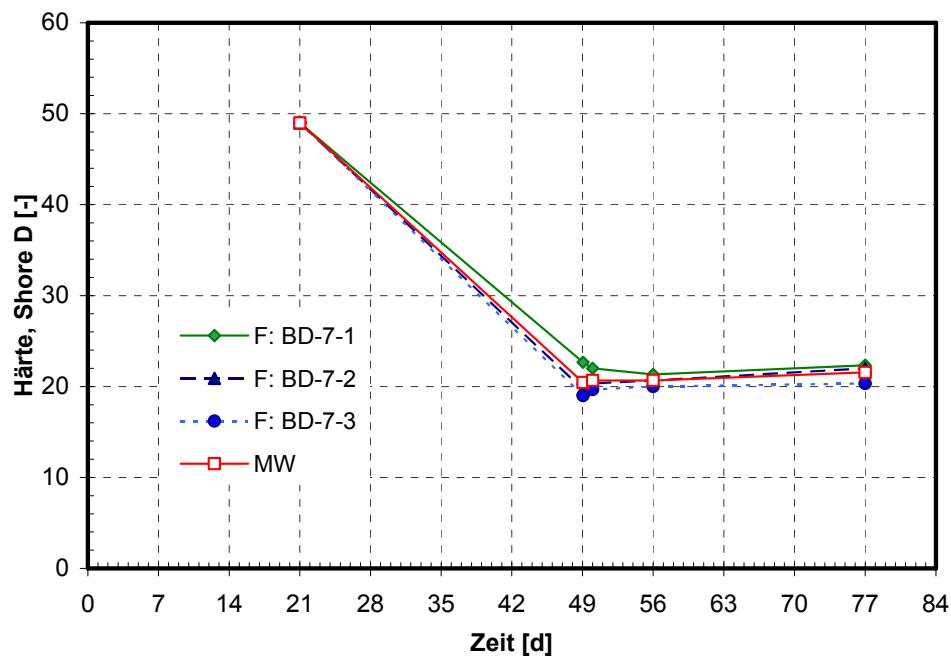


Bild 71: PUR-Beschichtung, Einlagerung in BD-7, Härteänderung (Shore-Einheiten)

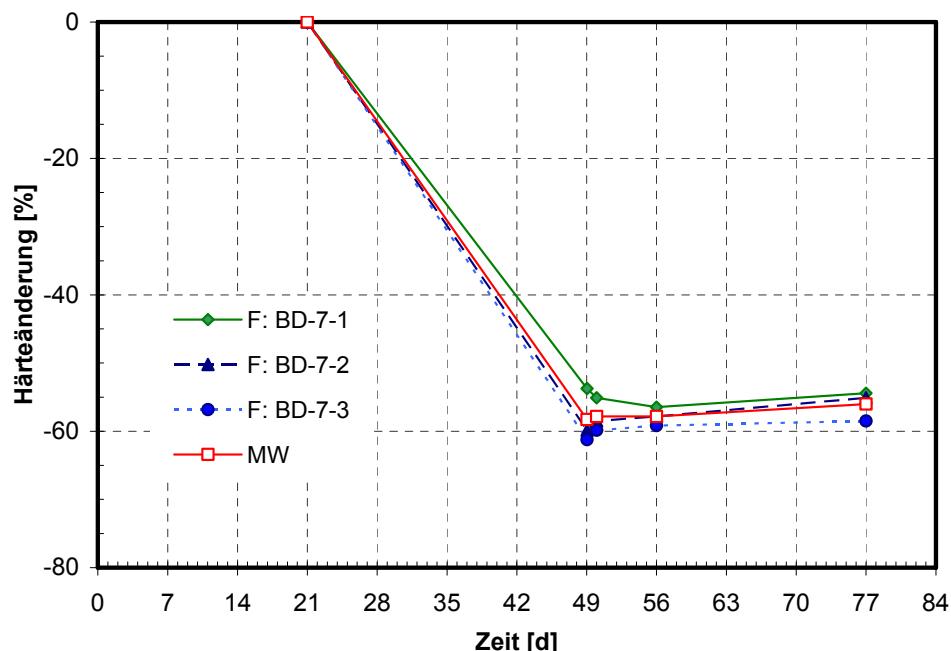


Bild 72: PUR-Beschichtung, Einlagerung in BD-7, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

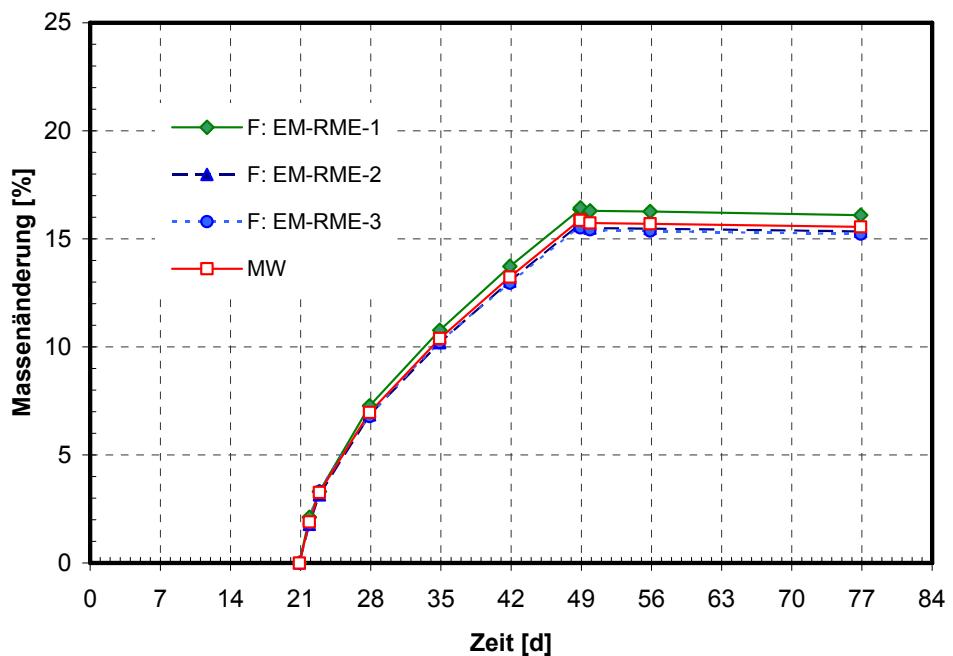


Bild 73: PUR-Beschichtung, Einlagerung in EM-RME, Masseänderung

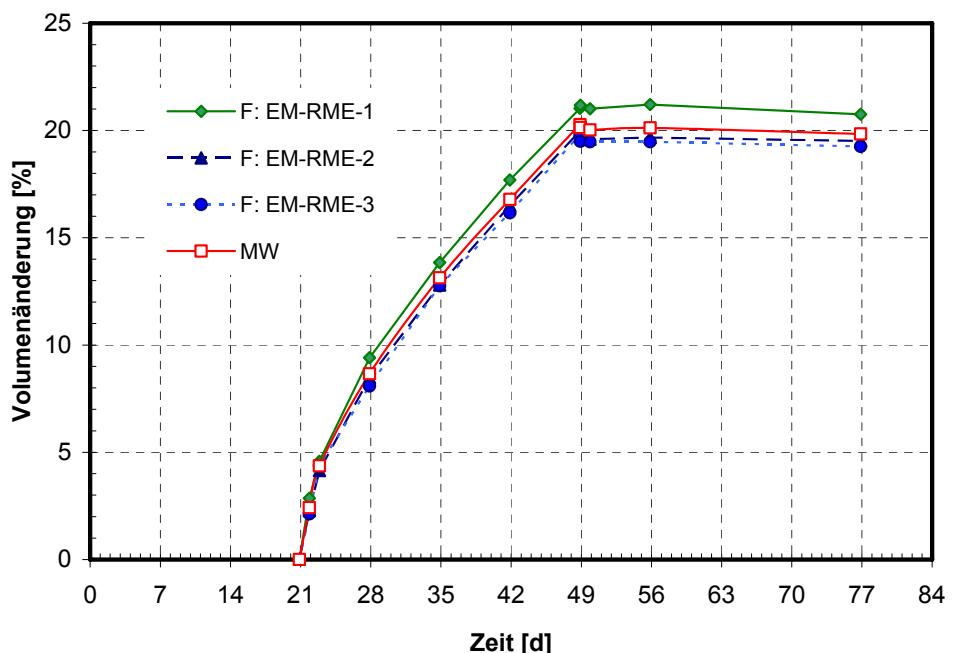


Bild 74: PUR-Beschichtung, Einlagerung in EM-RME, Volumenänderung

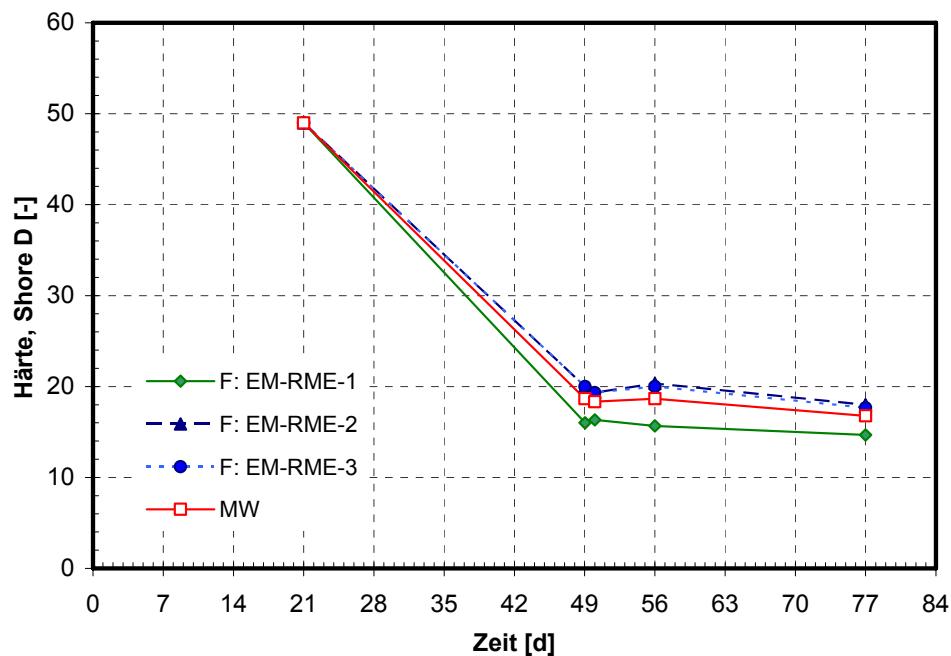


Bild 75: PUR-Beschichtung, Einlagerung in EM-RME, Härteänderung (Shore-Einheiten)

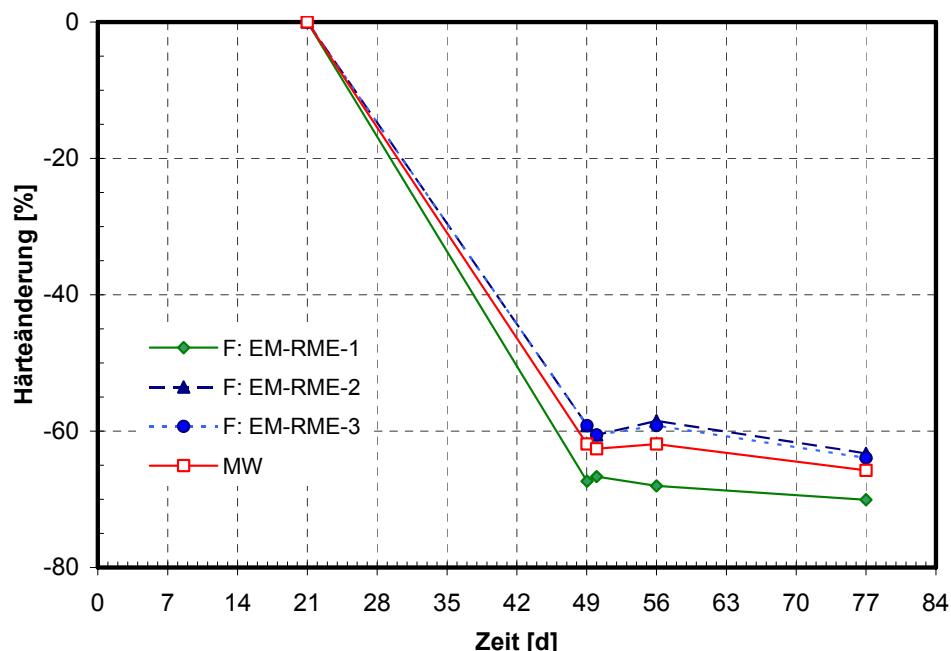


Bild 76: PUR-Beschichtung, Einlagerung in EM-RME, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

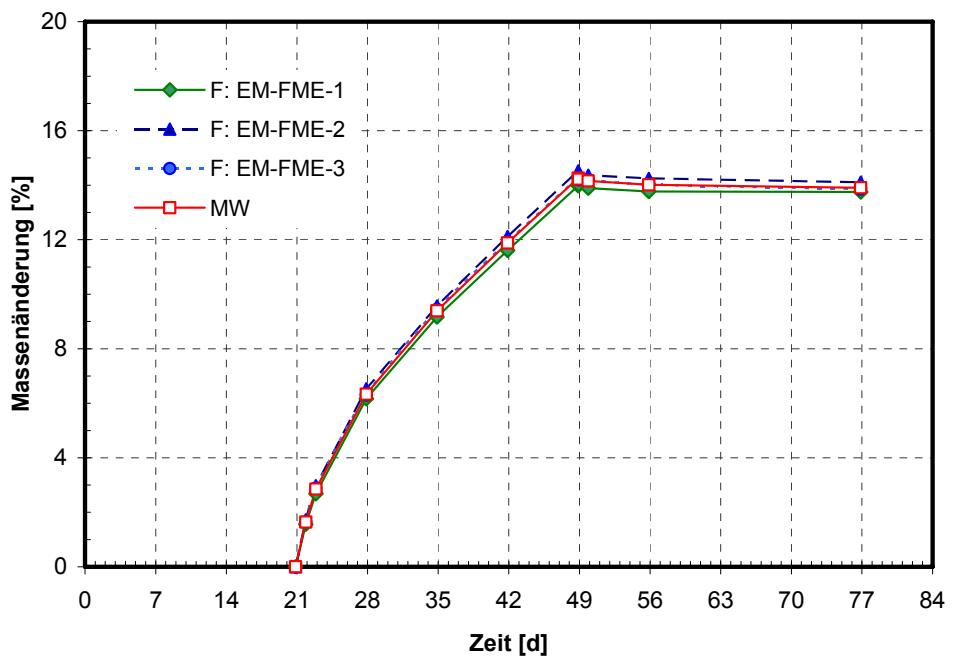


Bild 77: PUR-Beschichtung, Einlagerung in EM-FME, Masseänderung

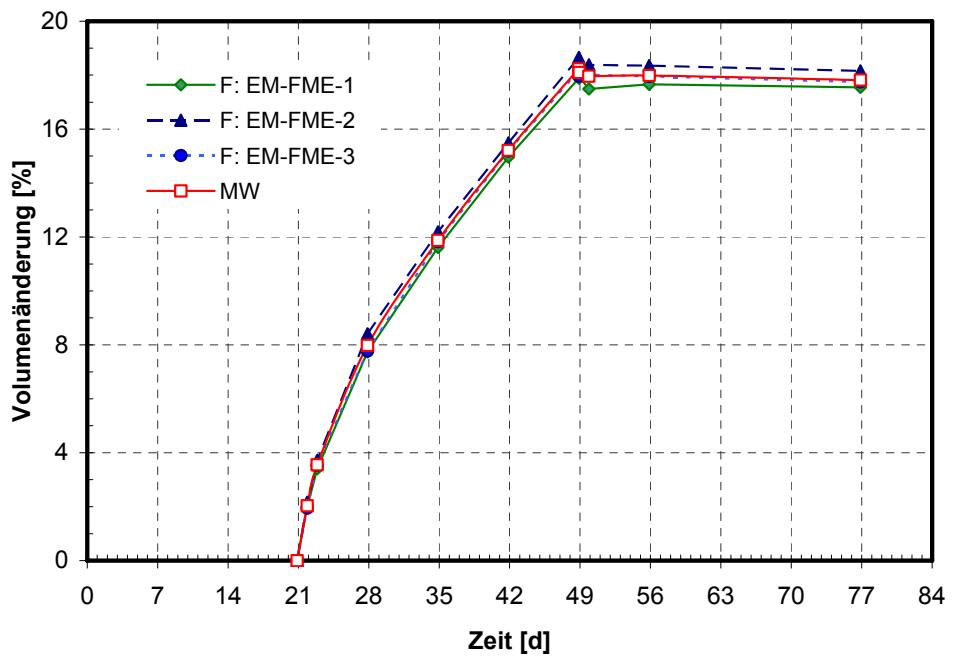


Bild 78: PUR-Beschichtung, Einlagerung in EM-FME, Volumenänderung

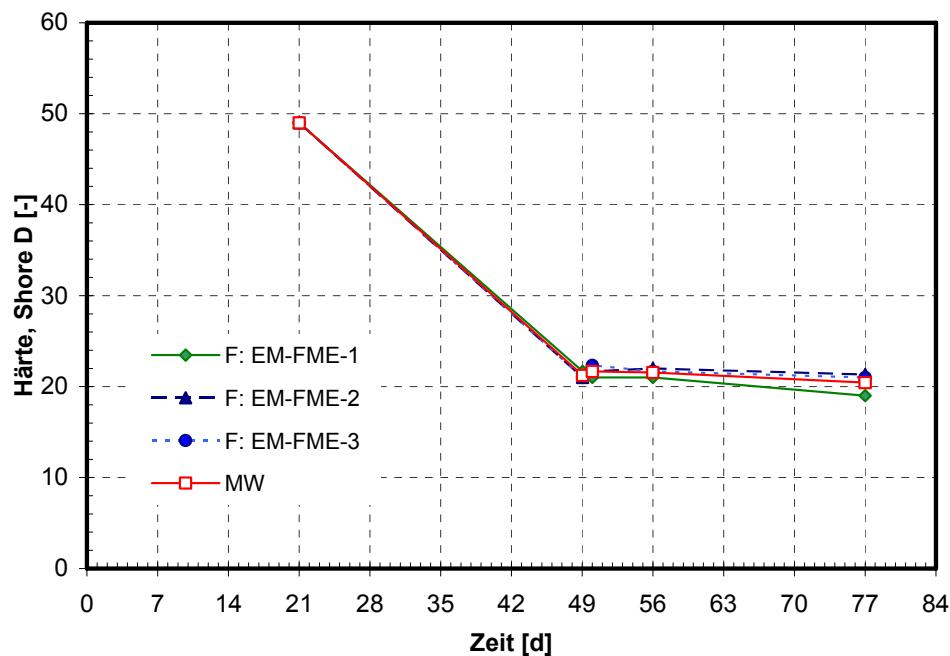


Bild 79: PUR-Beschichtung, Einlagerung in EM-FME, Härteänderung (Shore-Einheiten)

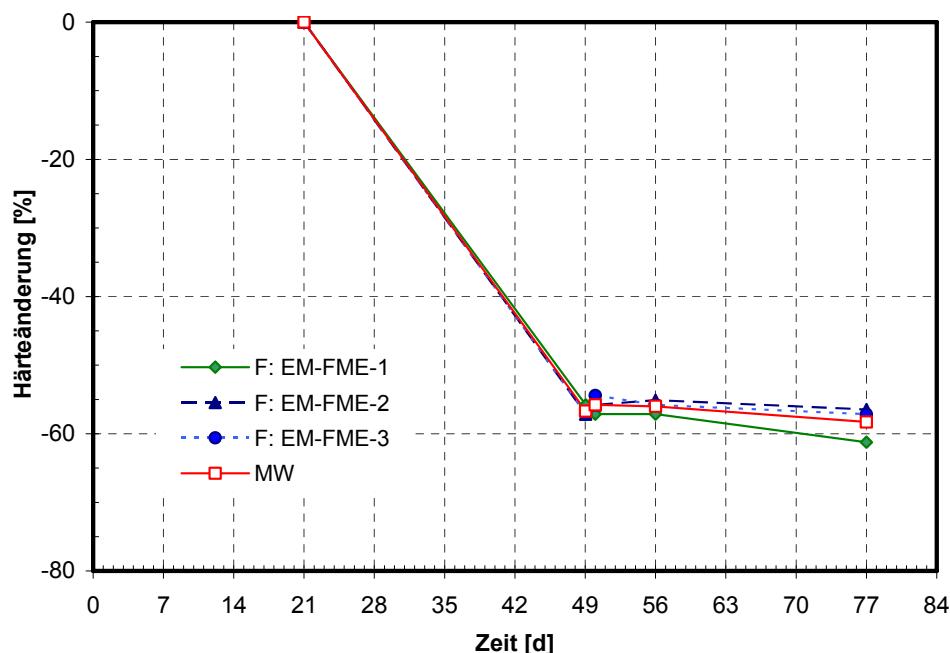


Bild 80: PUR-Beschichtung, Einlagerung in EM-FME, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

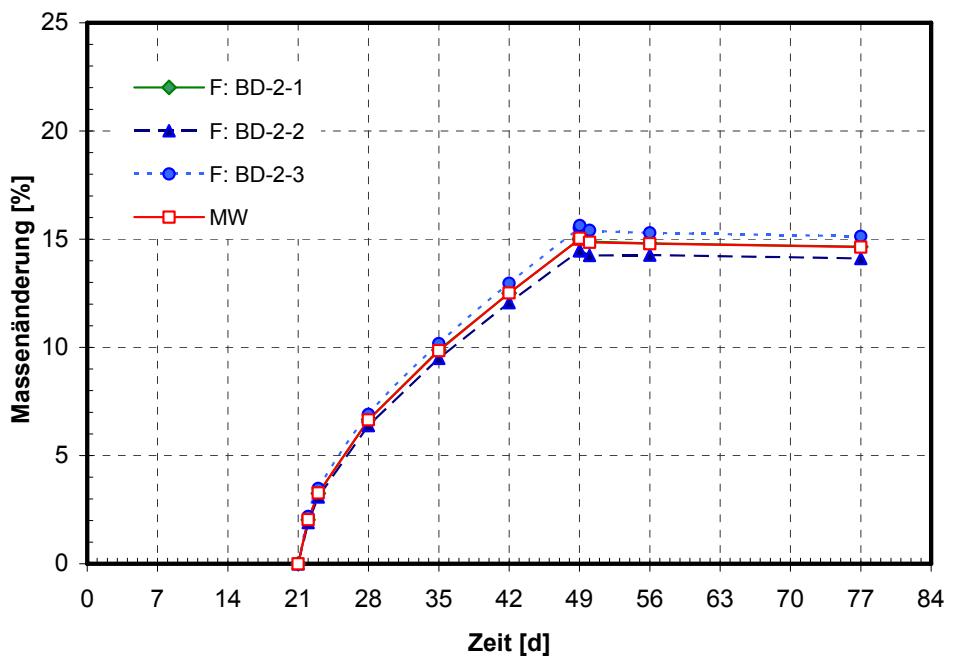


Bild 81: PUR-Beschichtung, Einlagerung in BD-2, Masseänderung

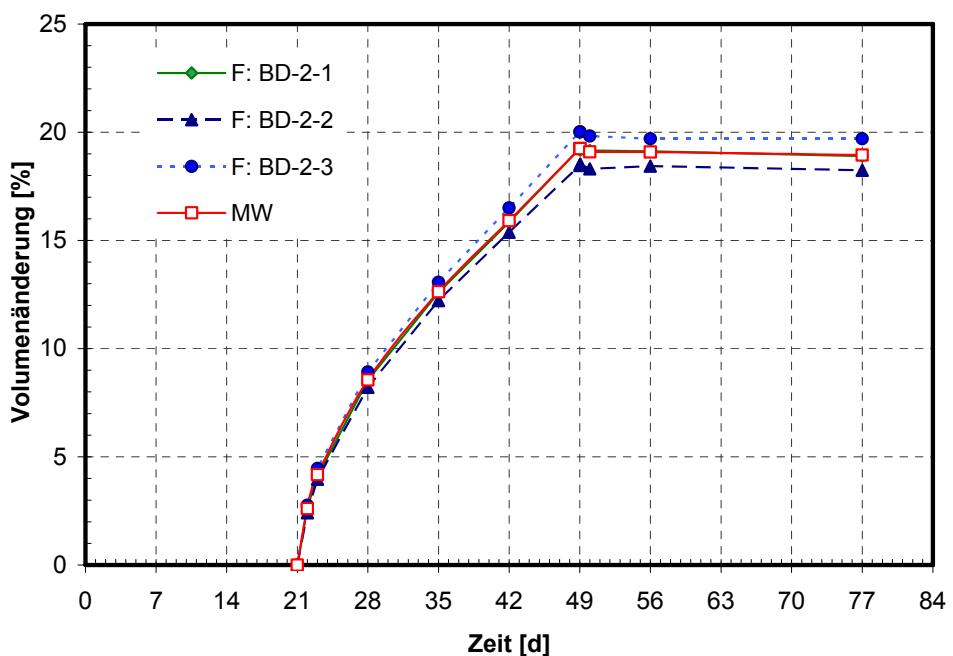


Bild 82: PUR-Beschichtung, Einlagerung in BD-2, Volumenänderung

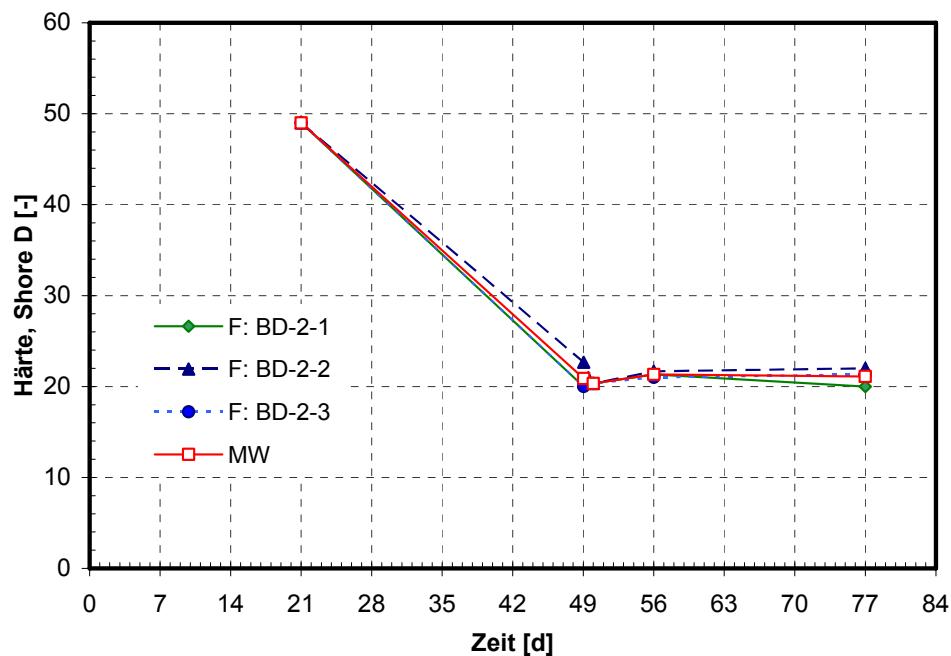


Bild 83: PUR-Beschichtung, Einlagerung in BD-2, Härteänderung (Shore-Einheiten)

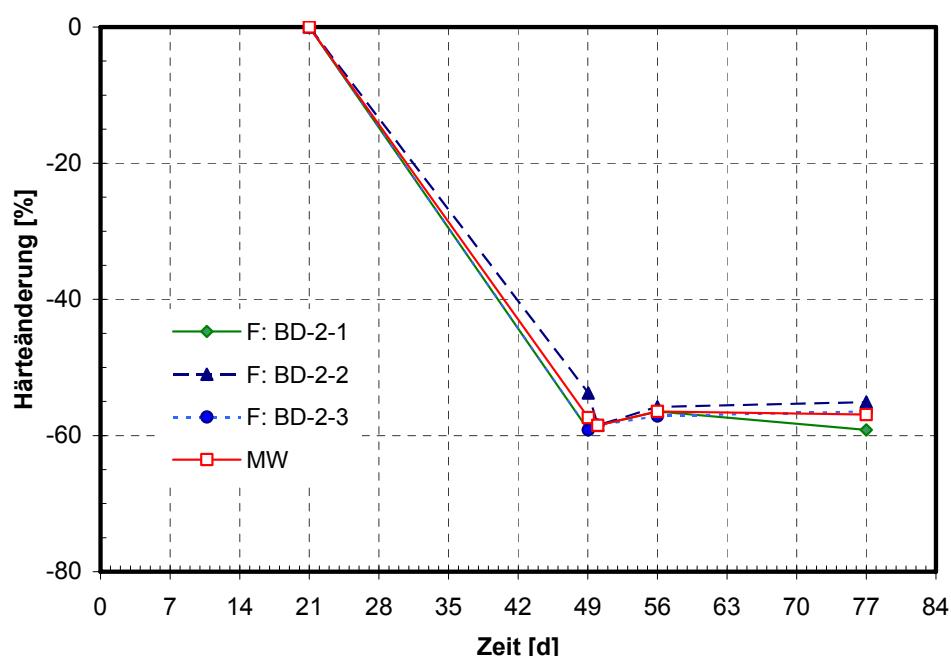


Bild 84: PUR-Beschichtung, Einlagerung in BD-2, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

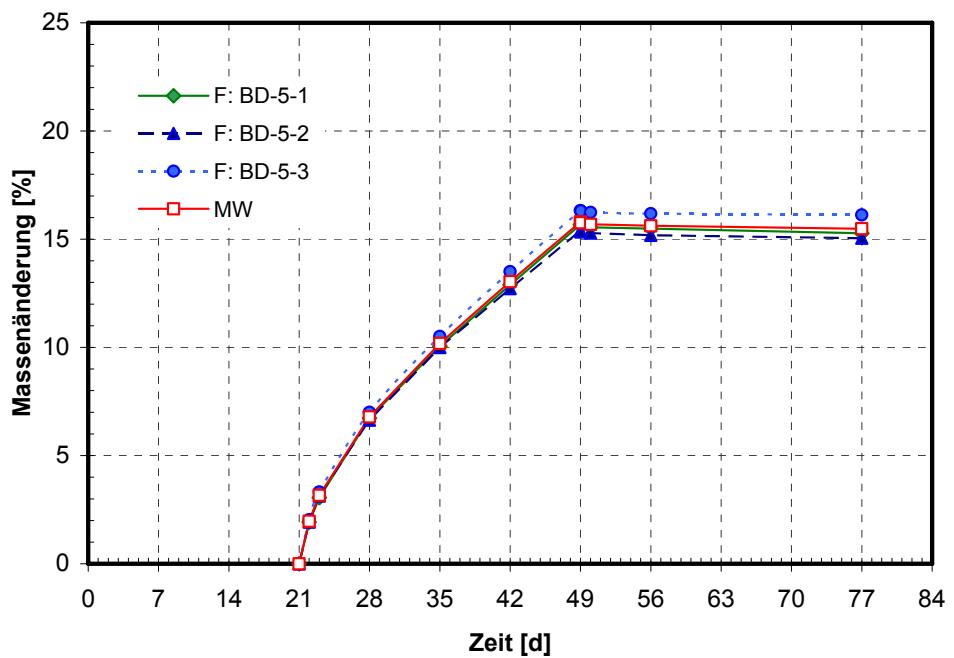


Bild 85: PUR-Beschichtung, Einlagerung in BD-5, Masseänderung

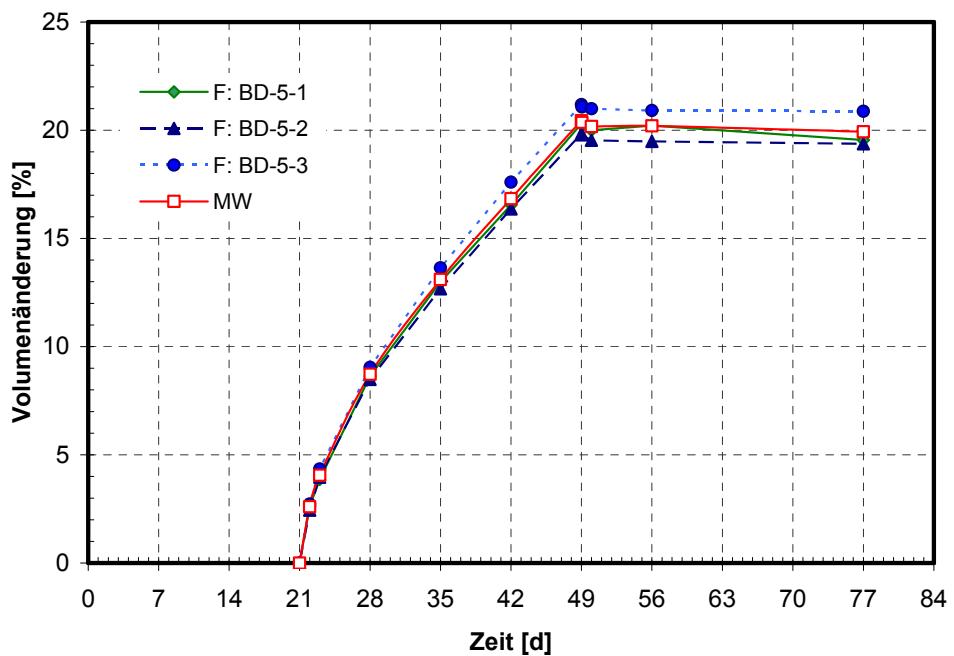


Bild 86: PUR-Beschichtung, Einlagerung in BD-5, Volumenänderung

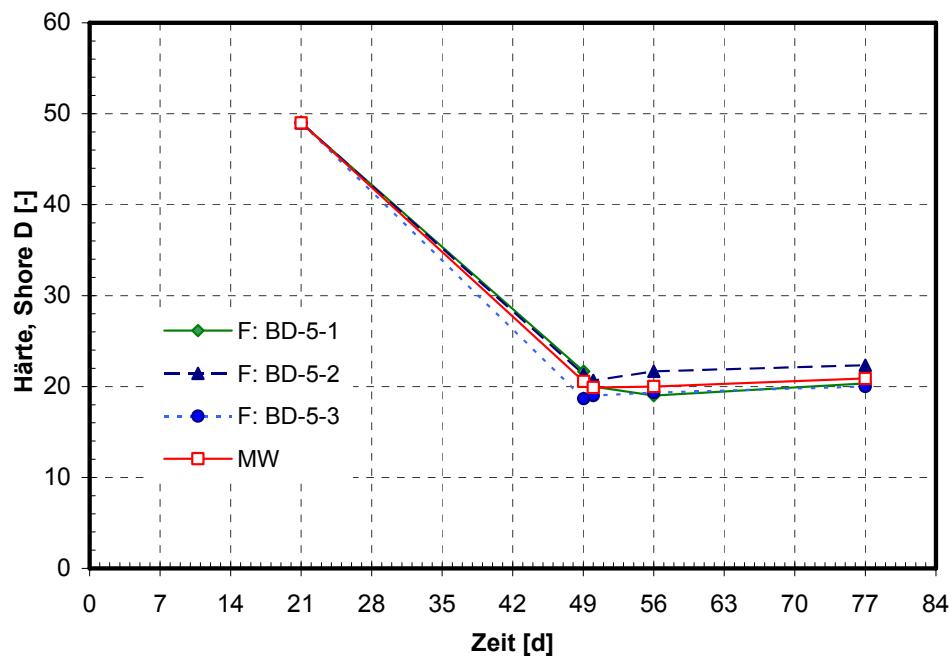


Bild 87: PUR-Beschichtung, Einlagerung in BD-5, Härteänderung (Shore-Einheiten)

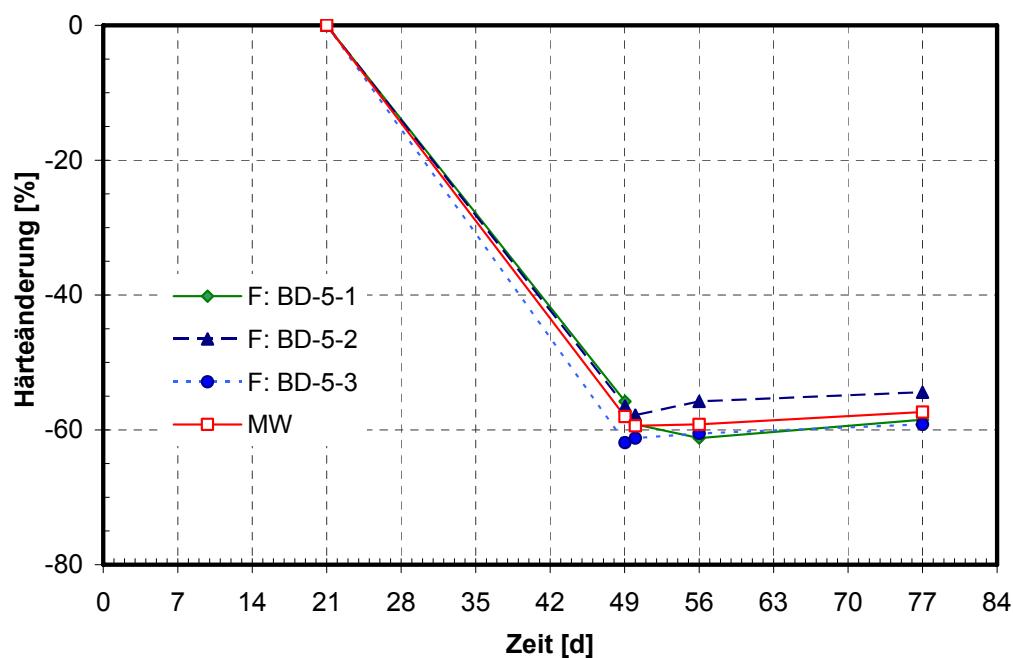


Bild 88: PUR-Beschichtung, Einlagerung in BD-5, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

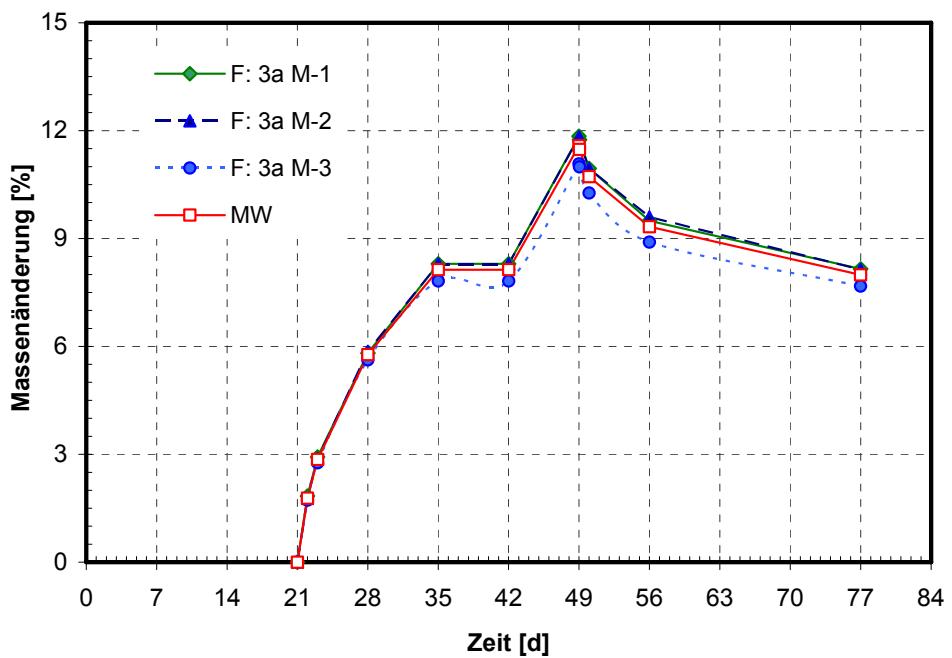


Bild 89: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a M, Masseänderung

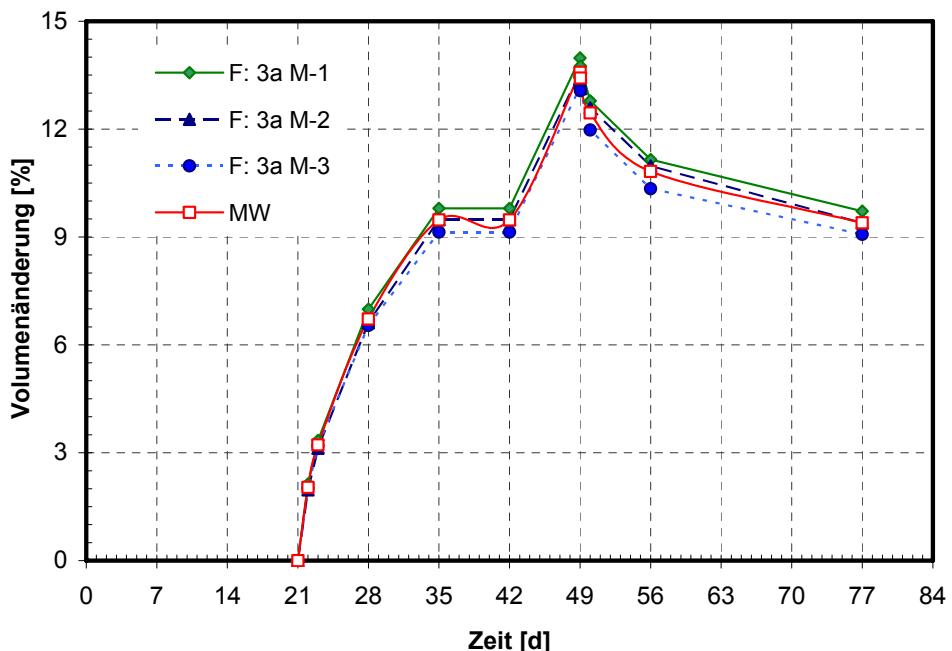


Bild 90: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a M, Volumenänderung

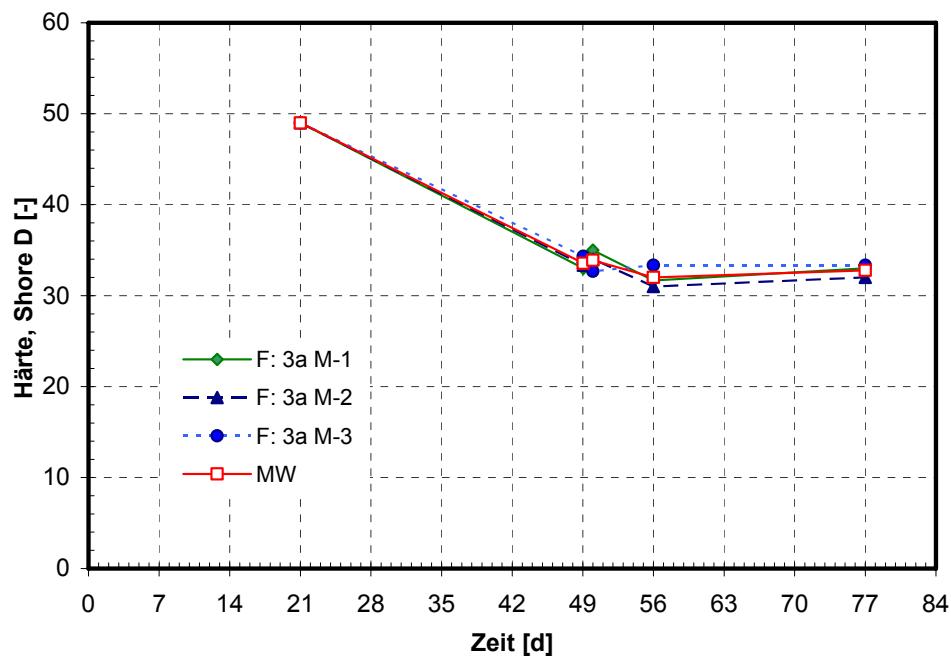


Bild 91: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a M, Härteänderung (Shore-Einheiten)

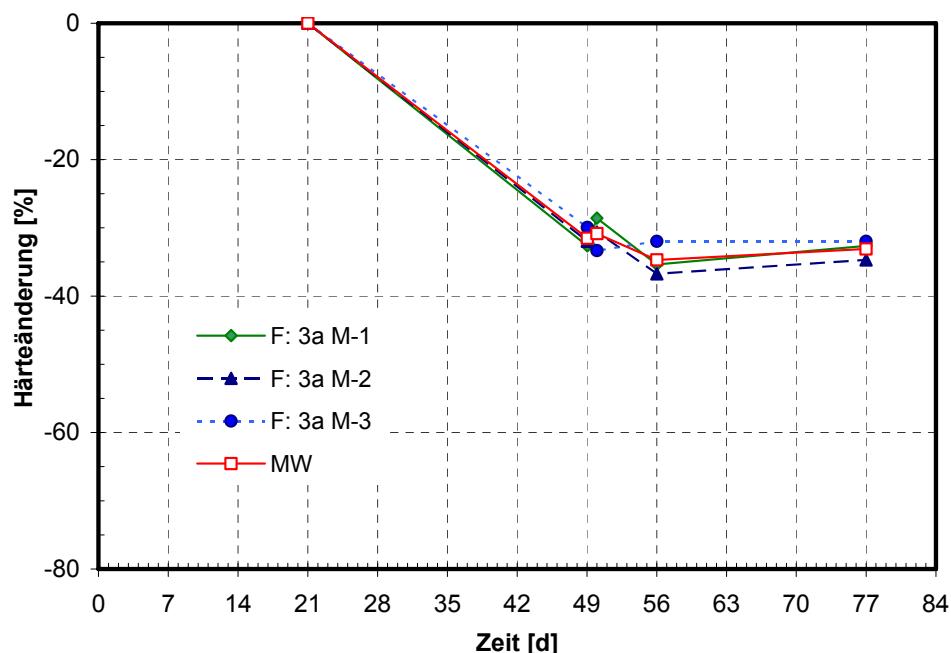


Bild 92: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a M, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

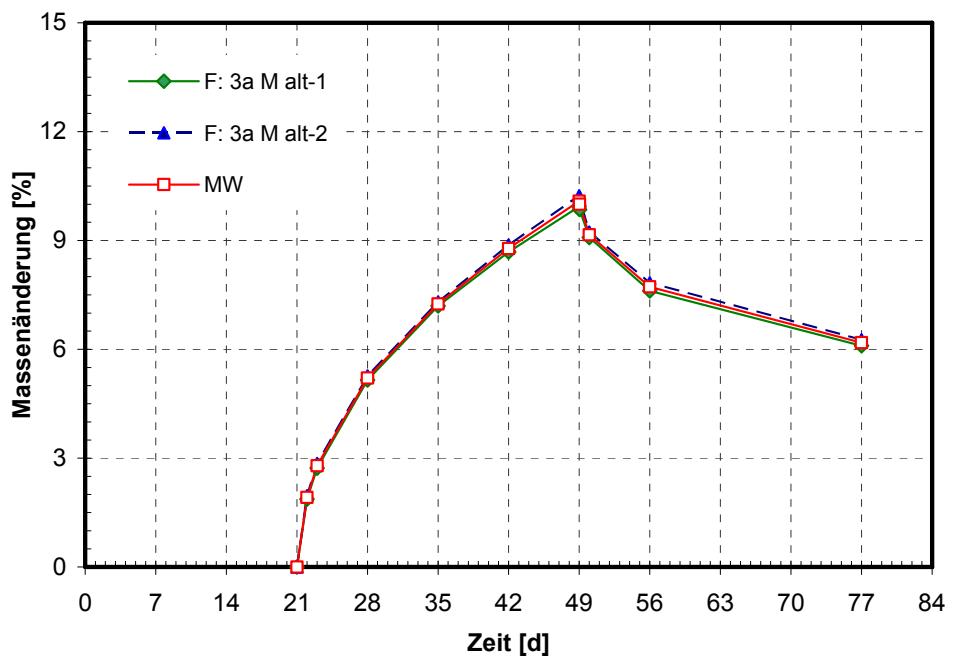


Bild 93: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a M alt, Masseänderung

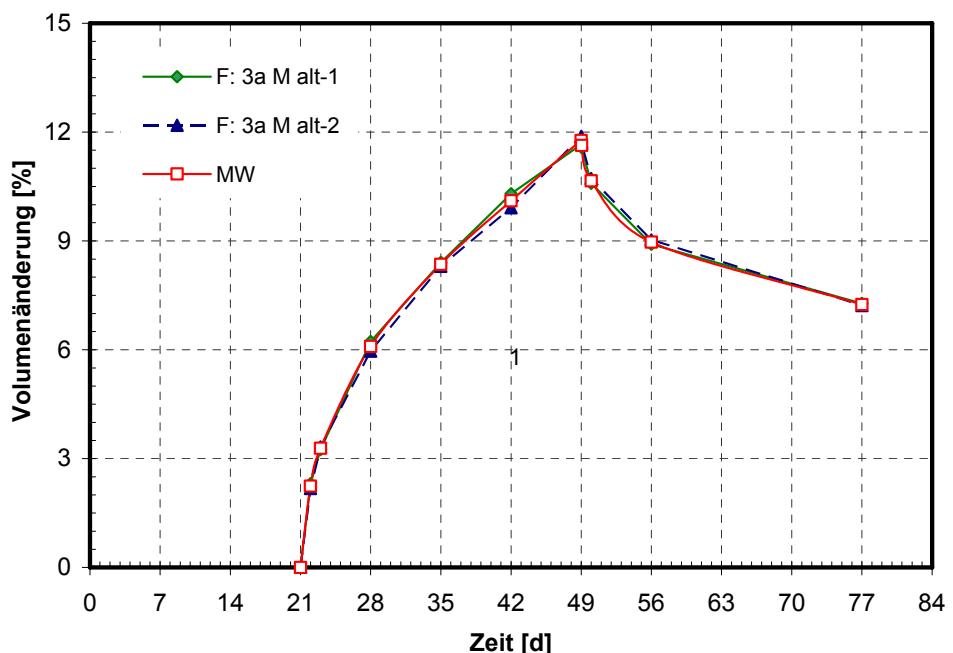


Bild 94: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a M alt, Volumenänderung

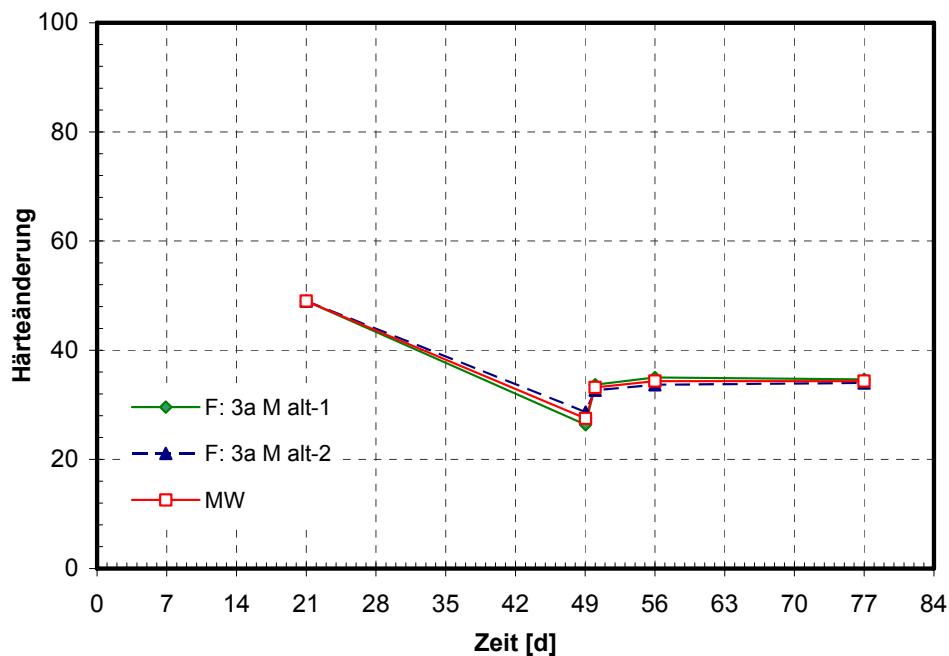


Bild 95: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a M alt, Härteänderung (Shore-Einheiten)

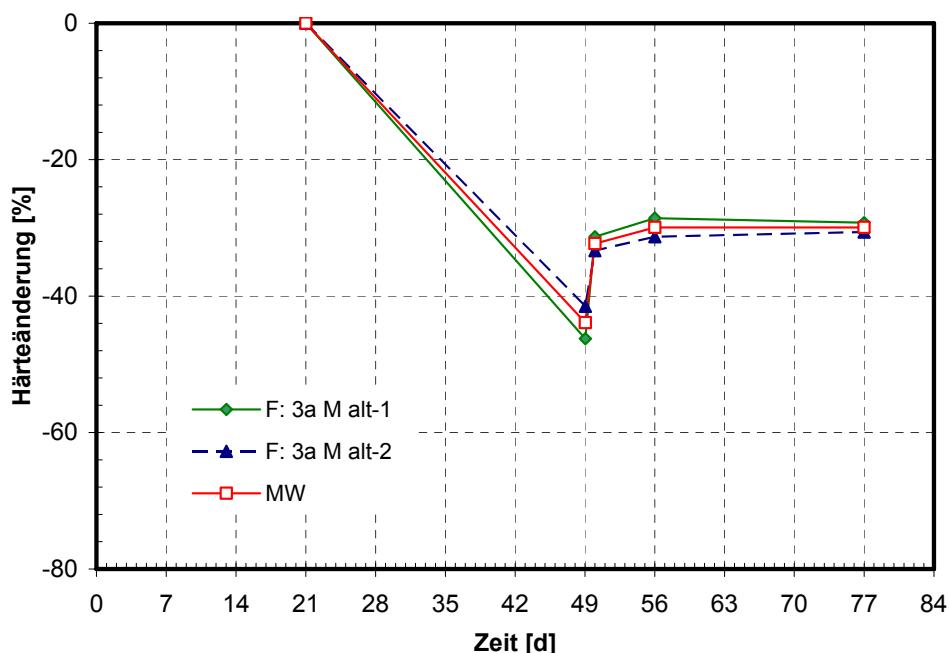


Bild 96: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a M alt, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

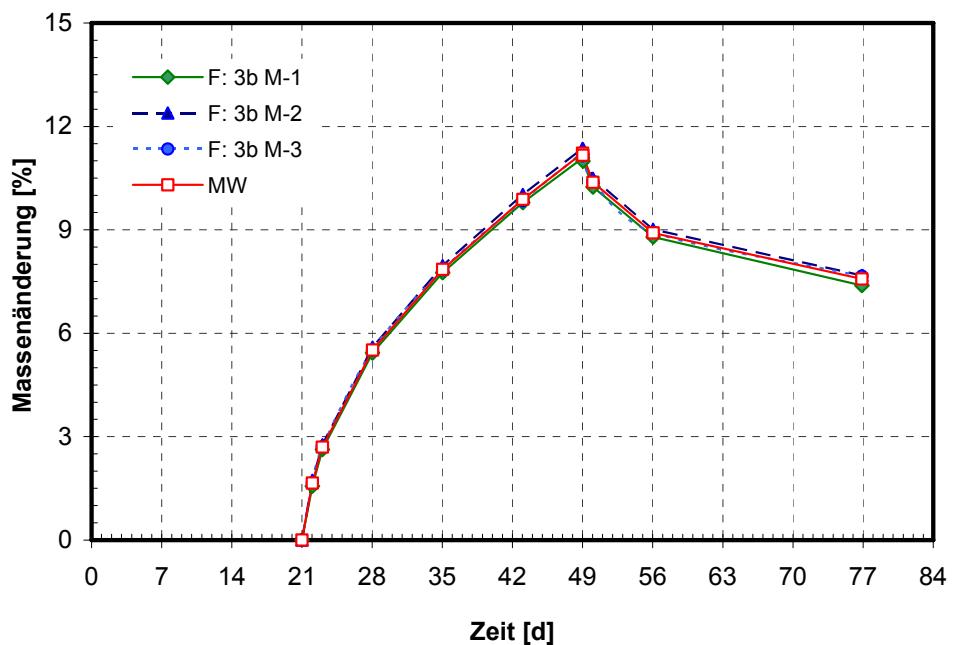


Bild 97: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b M, Masseänderung

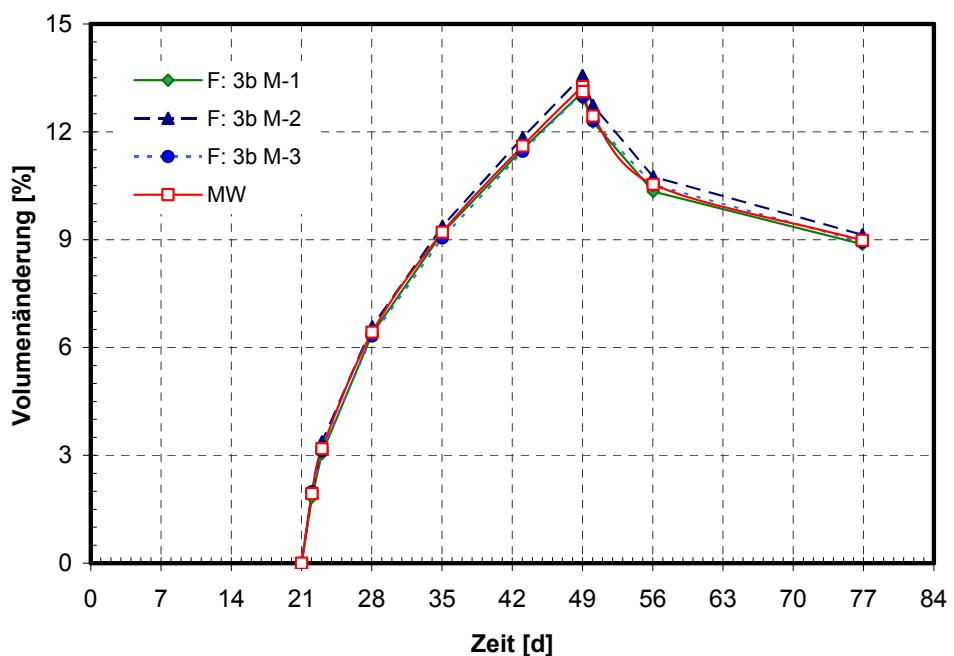


Bild 98: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b M, Volumenänderung

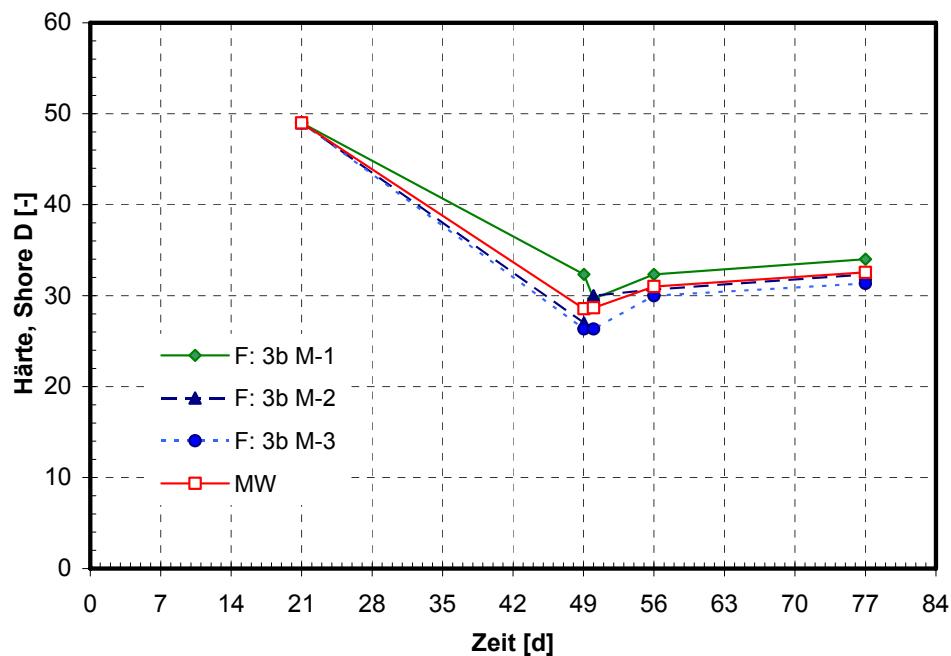


Bild 99: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b M, Härteänderung (Shore-Einheiten)

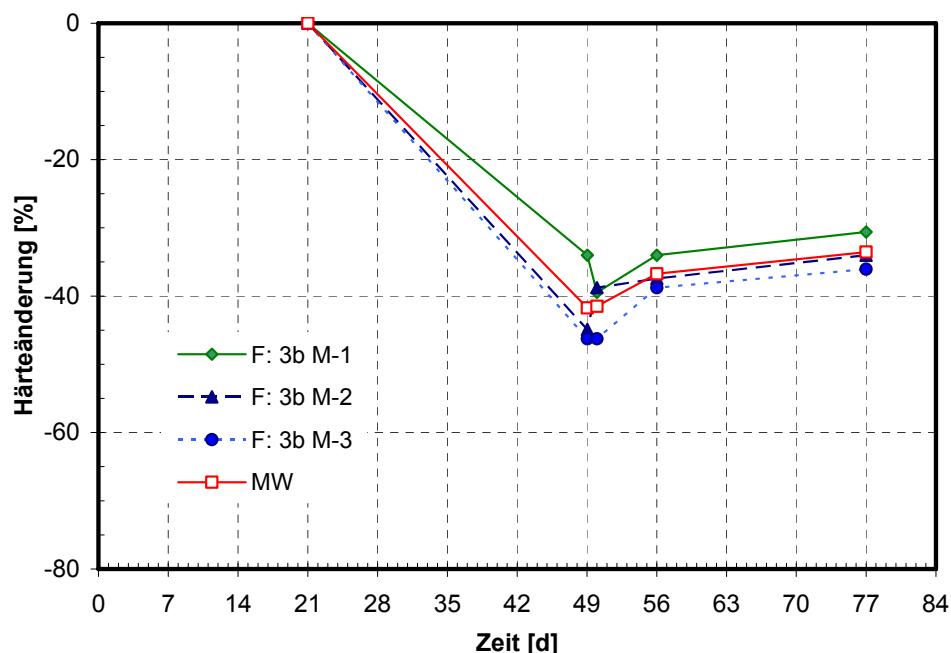


Bild 100: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b M, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

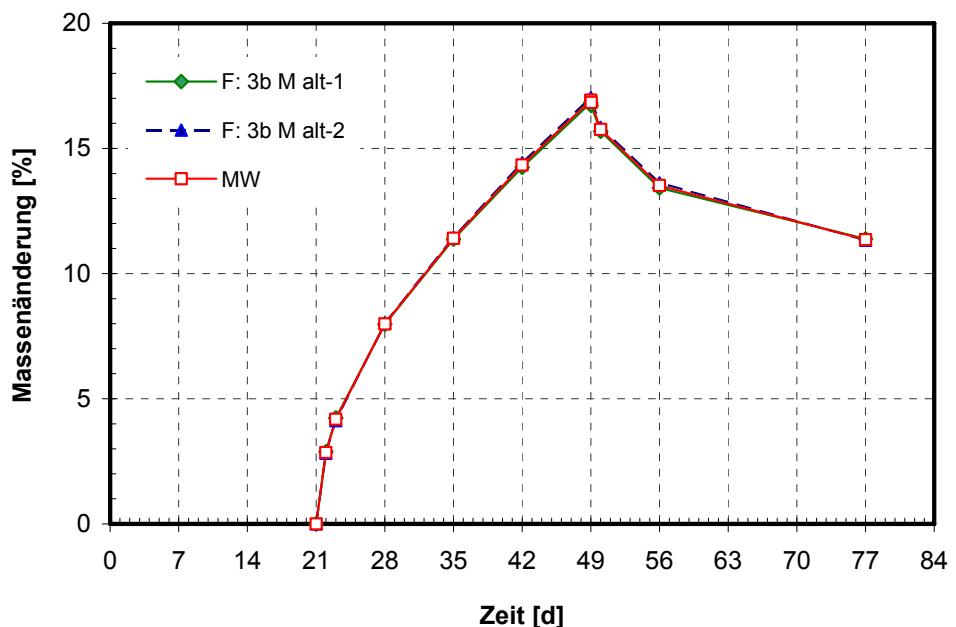


Bild 101: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b M alt, Masseänderung

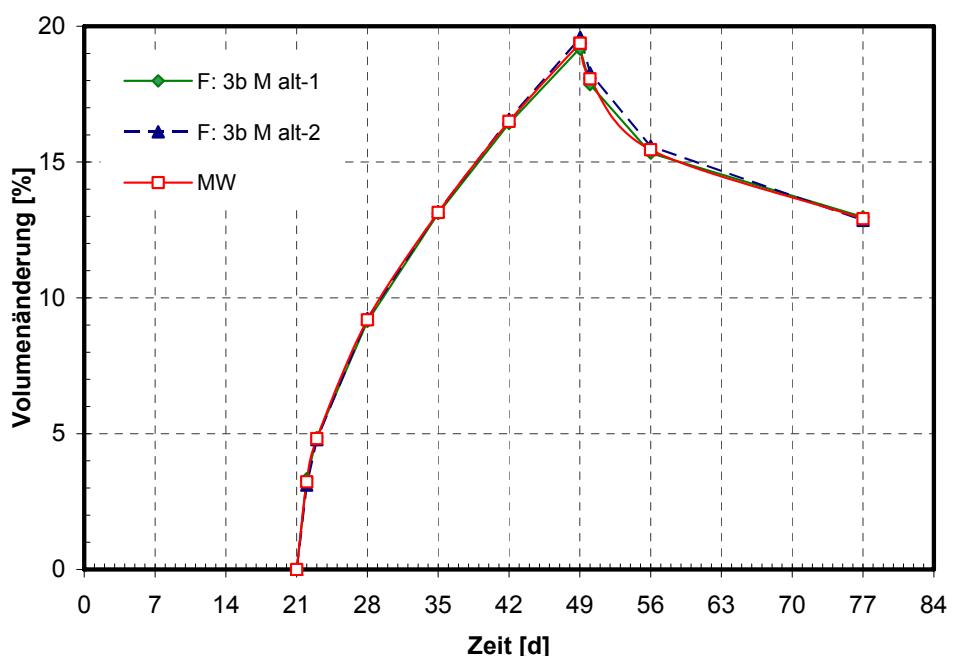


Bild 102: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b M alt, Volumenänderung

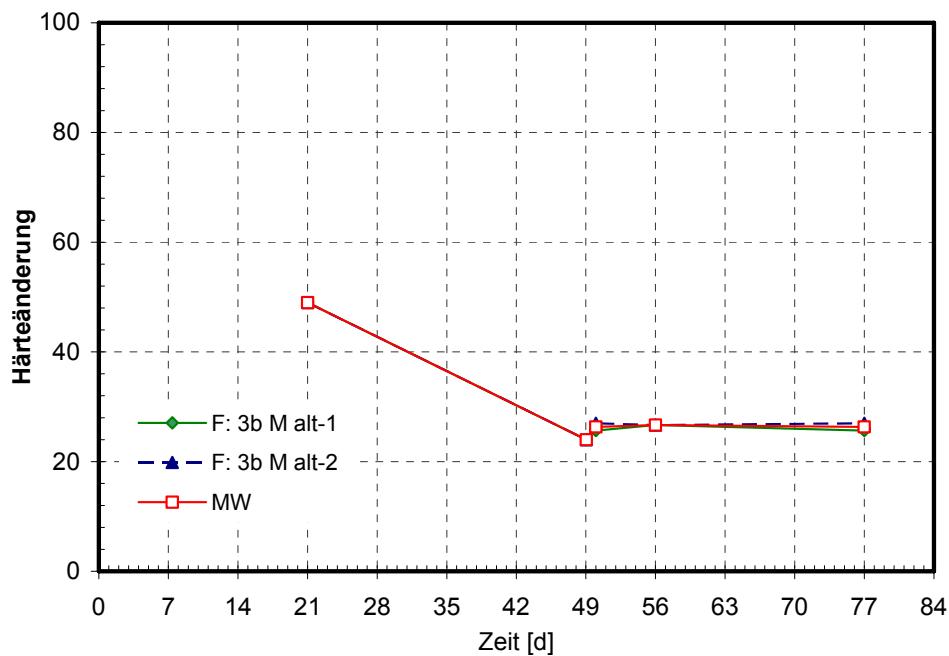


Bild 103: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b M alt, Härteänderung (Shore-Einheiten)

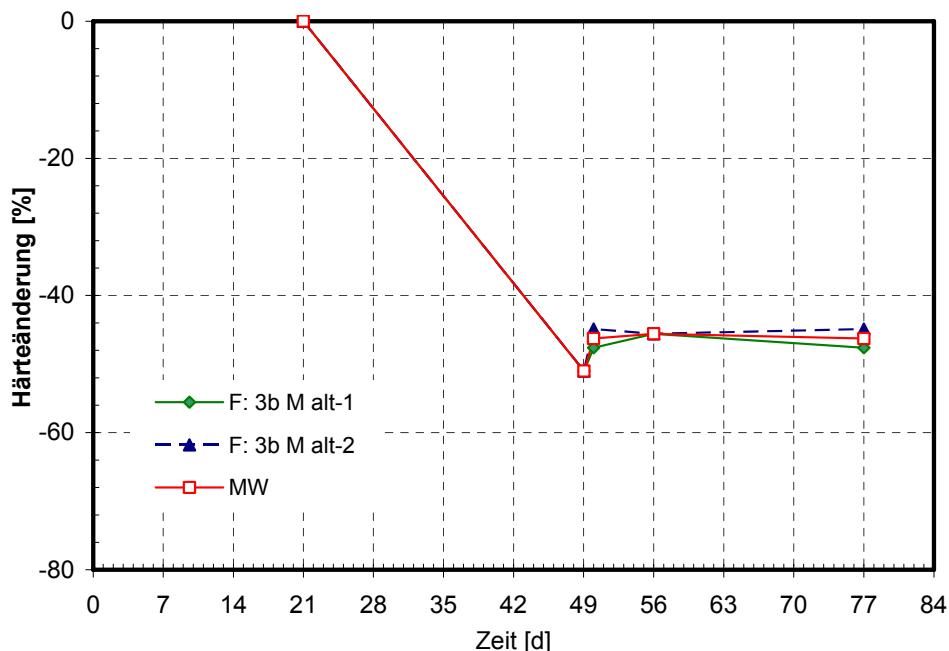


Bild 104: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b M alt, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

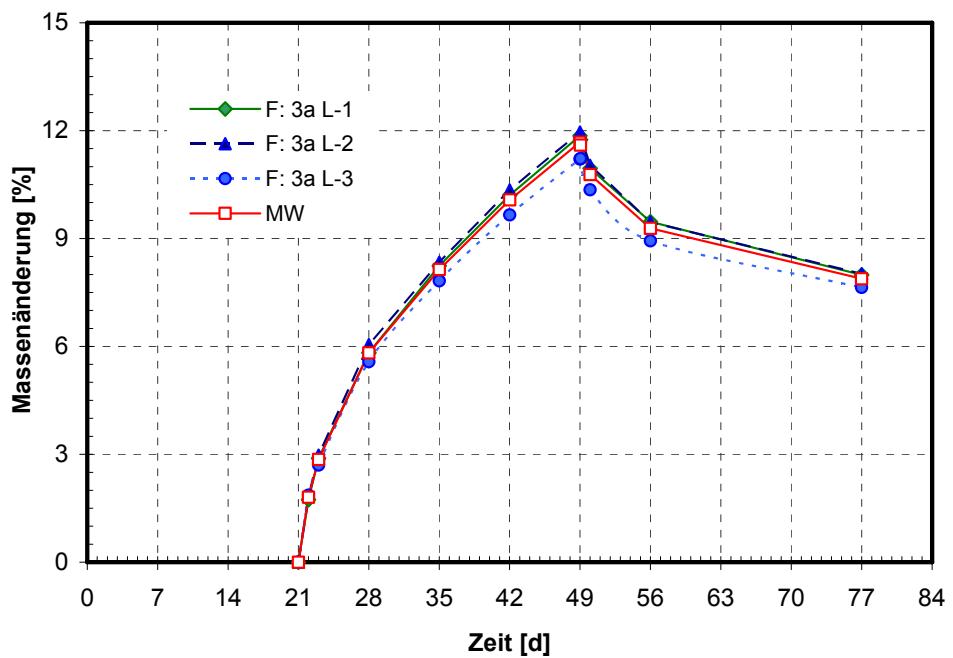


Bild 105: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a L, Masseänderung

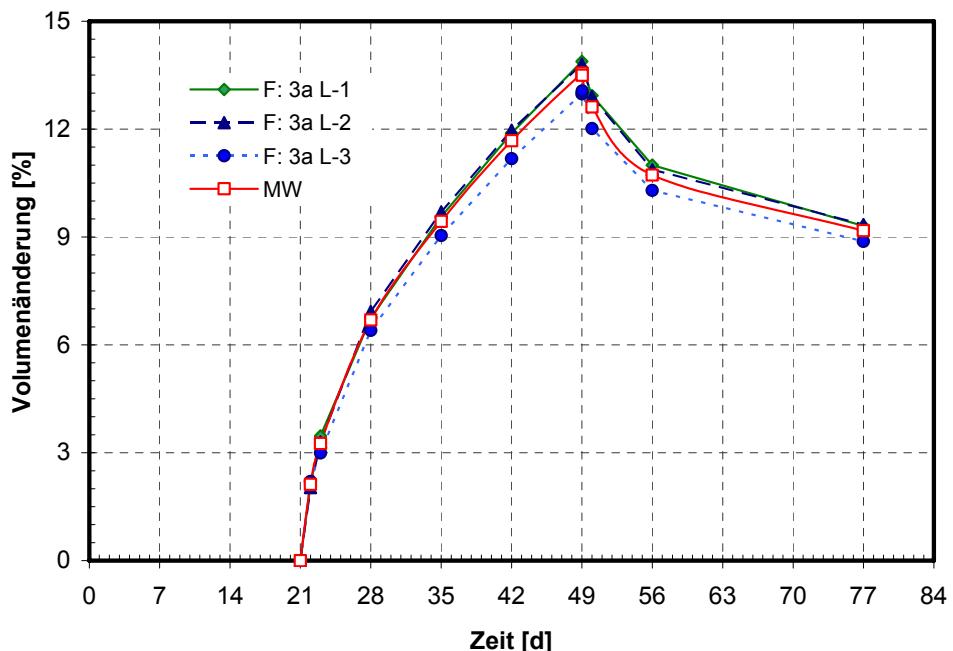


Bild 106: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a L, Volumenänderung

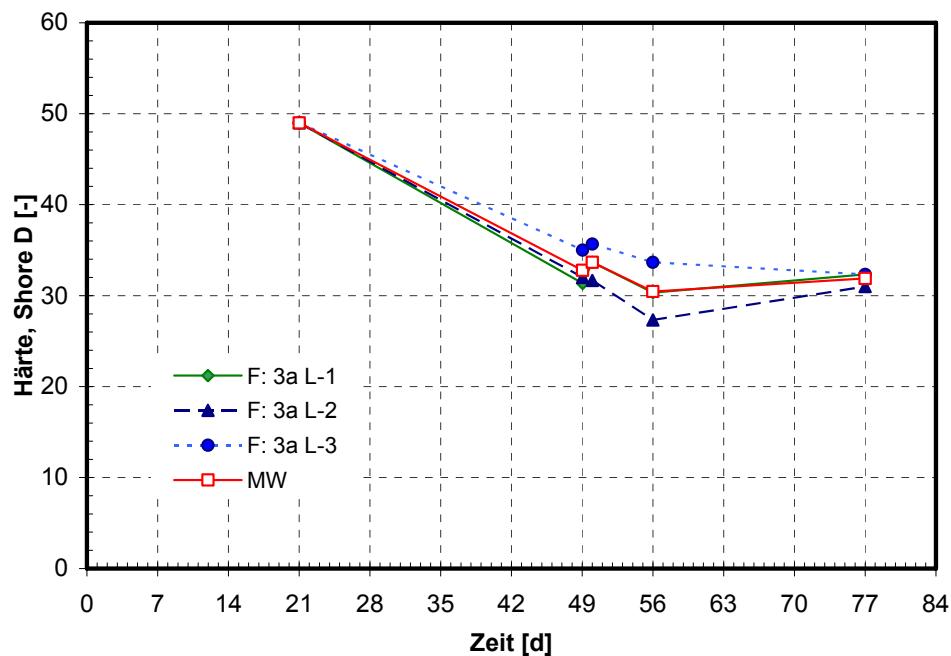


Bild 107: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a L, Härteänderung (Shore-Einheiten)

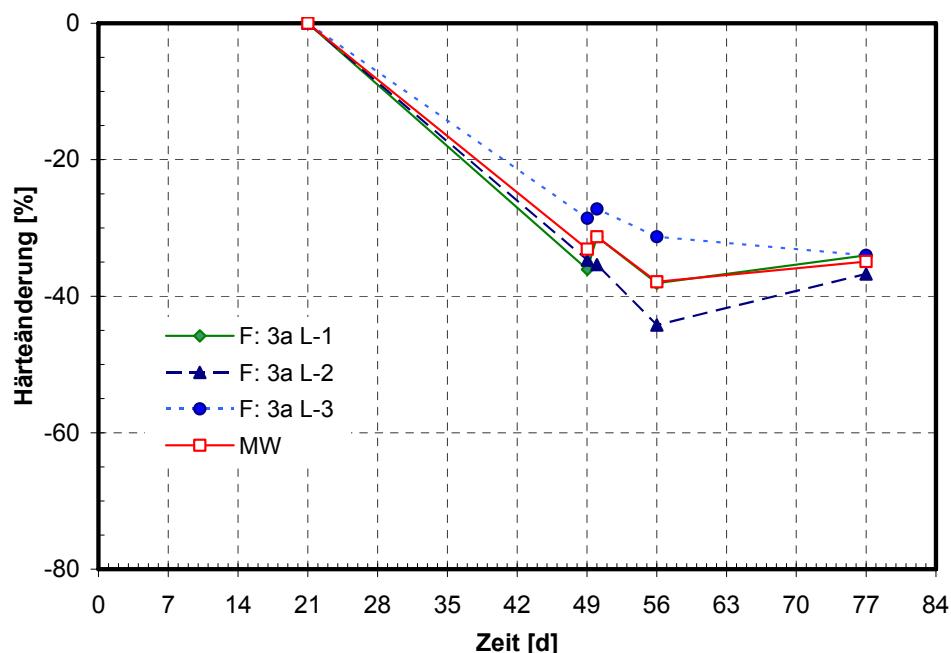


Bild 108: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a L, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

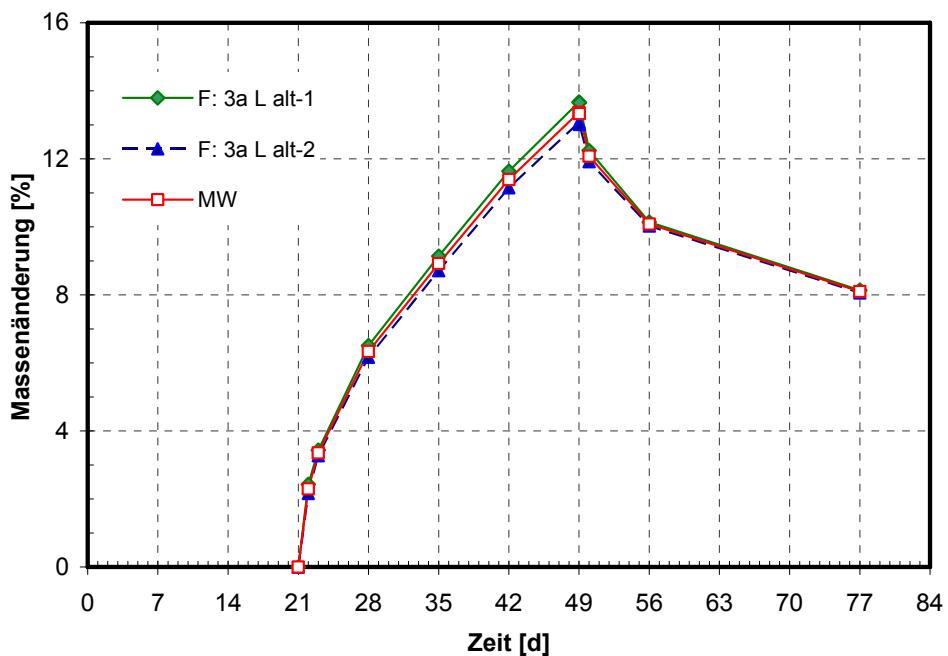


Bild 109: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a L alt, Masseänderung

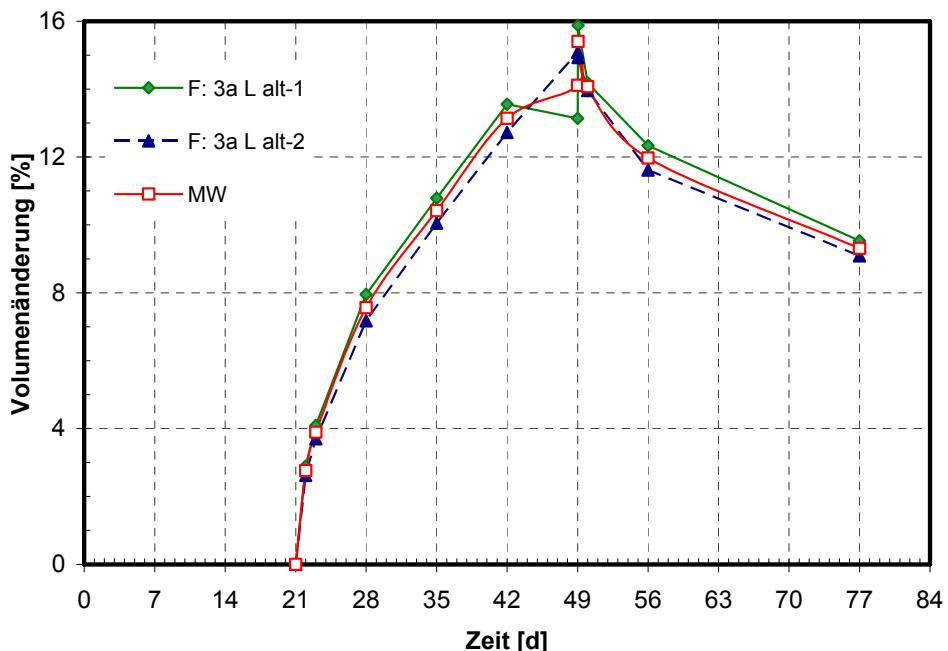


Bild 110: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a L alt, Volumenänderung

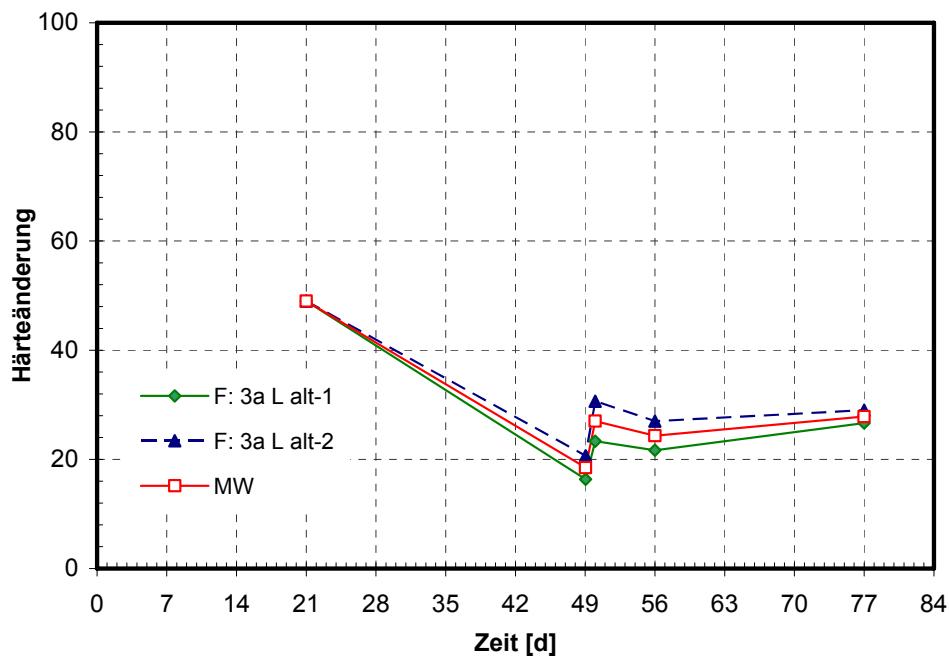


Bild 111: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a L alt, Härteänderung (Shore-Einheiten)

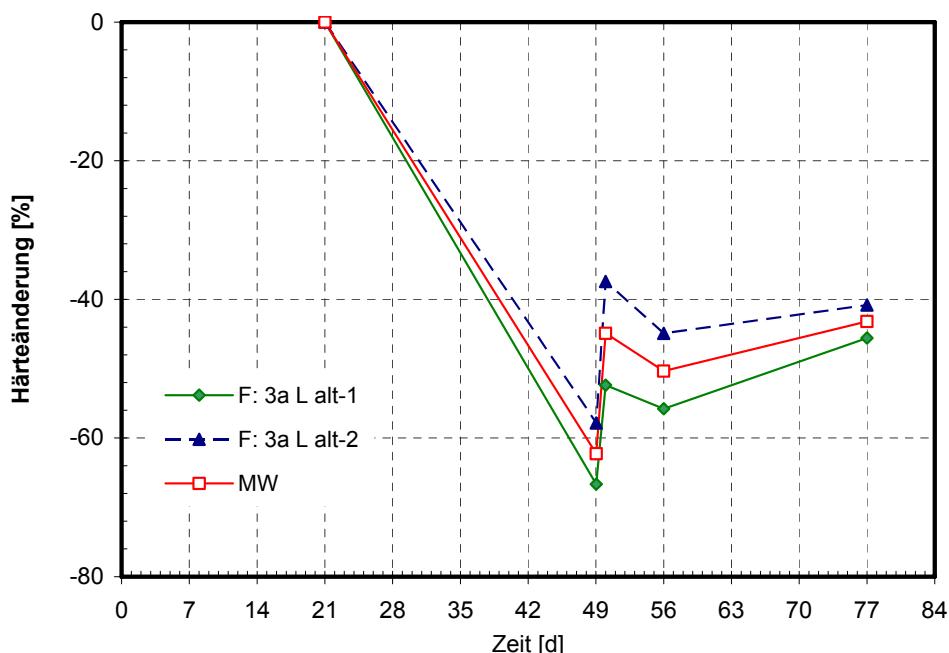


Bild 112: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3a L alt, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

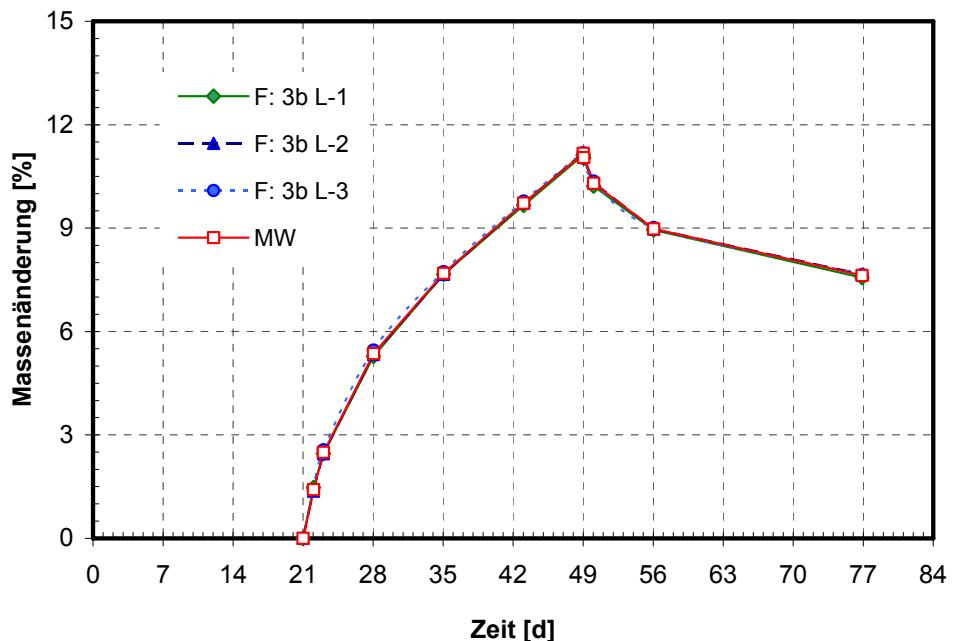


Bild 113: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b L, Masseänderung

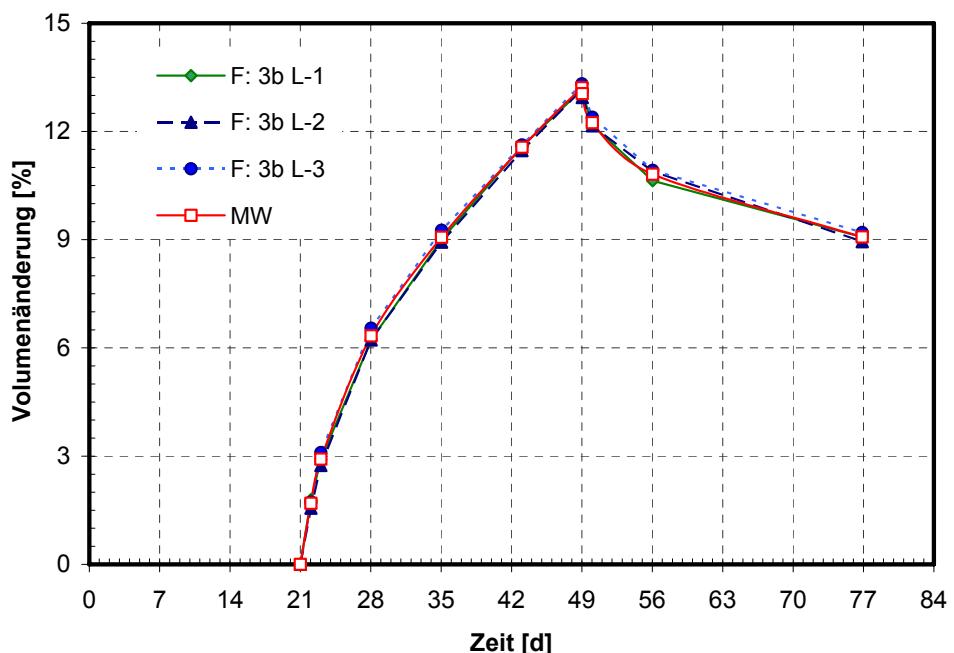


Bild 114: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b L, Volumenänderung

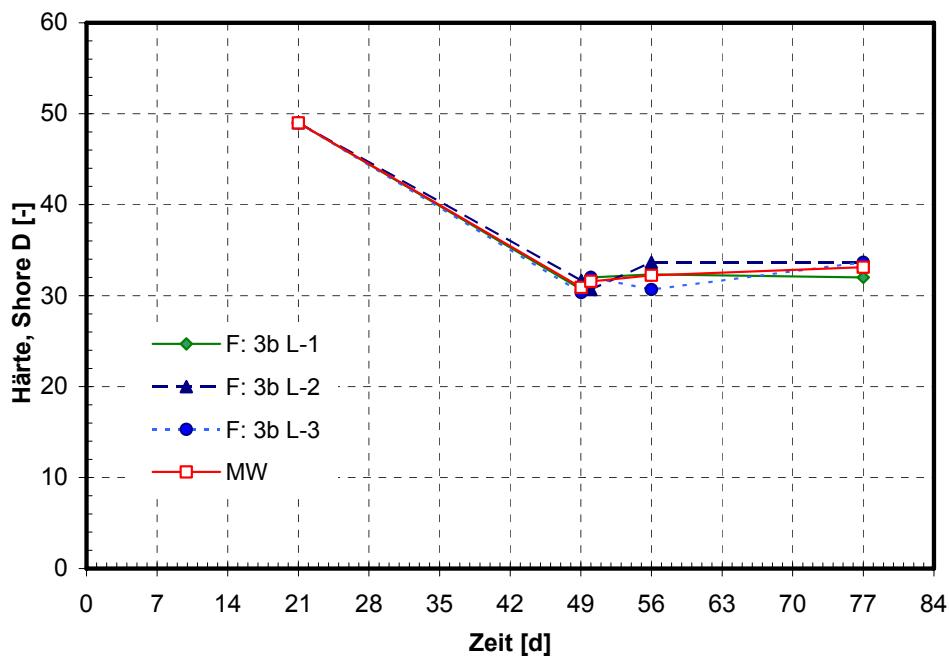


Bild 115: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b L, Härteänderung (Shore-Einheiten)

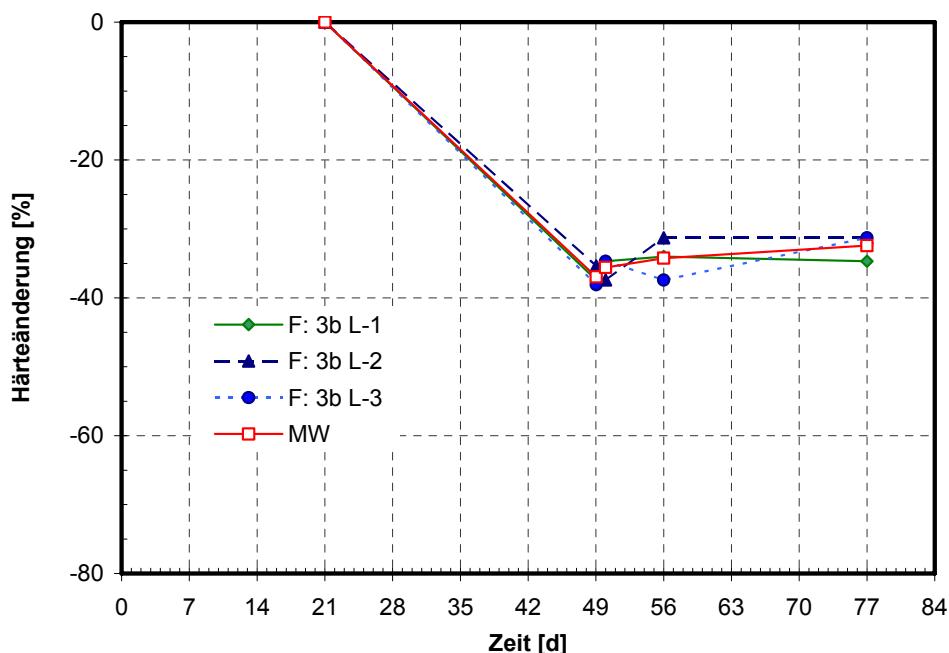


Bild 116: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b L, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

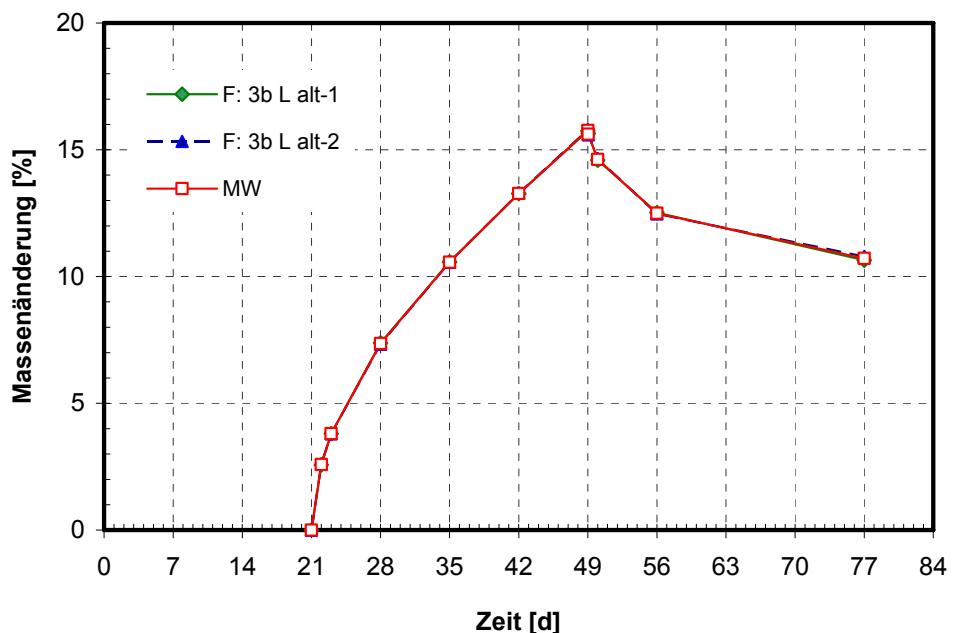


Bild 117: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b L alt, Masseänderung

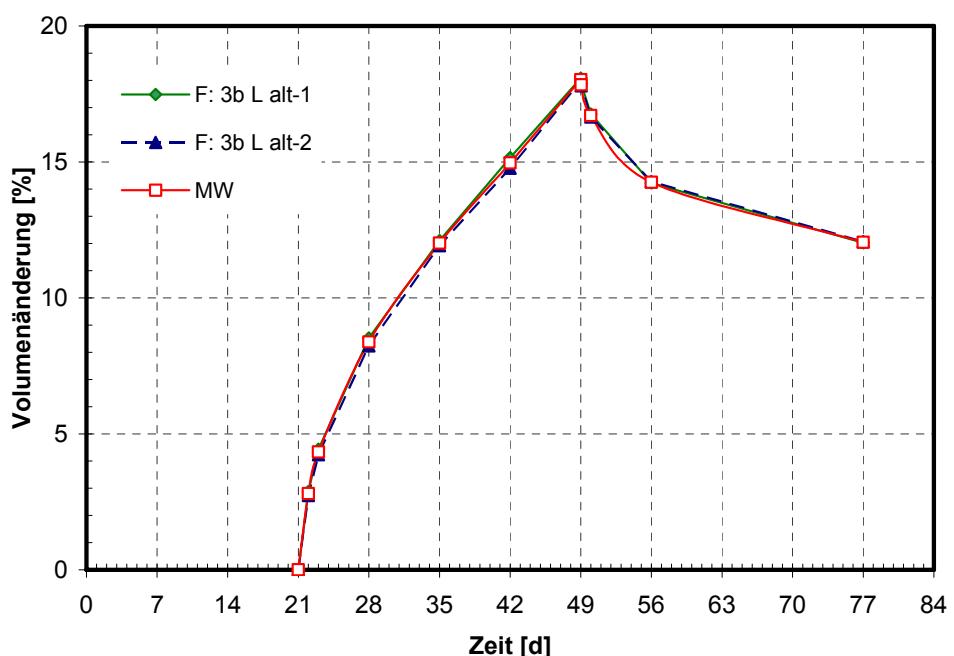


Bild 118: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b L alt, Volumenänderung

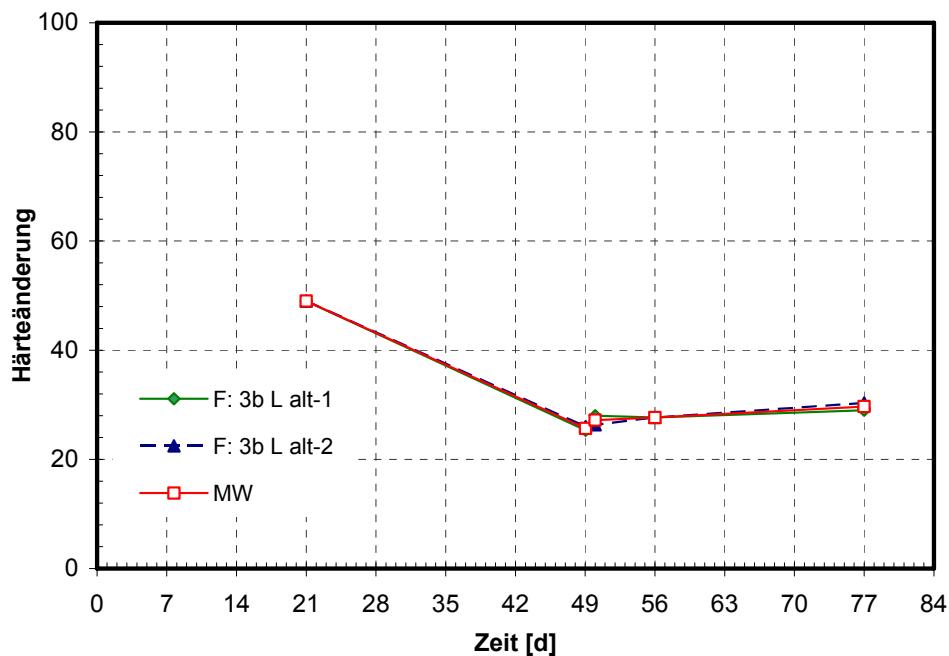


Bild 119: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b L alt, Härteänderung (Shore-Einheiten)

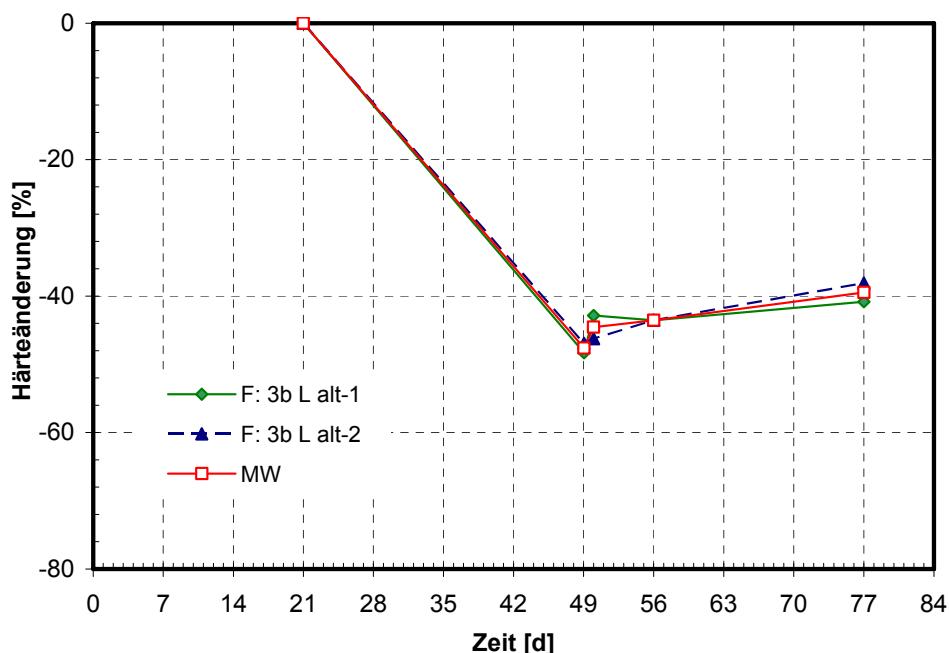


Bild 120: PUR-Beschichtung, Einlagerung in 3b L alt, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

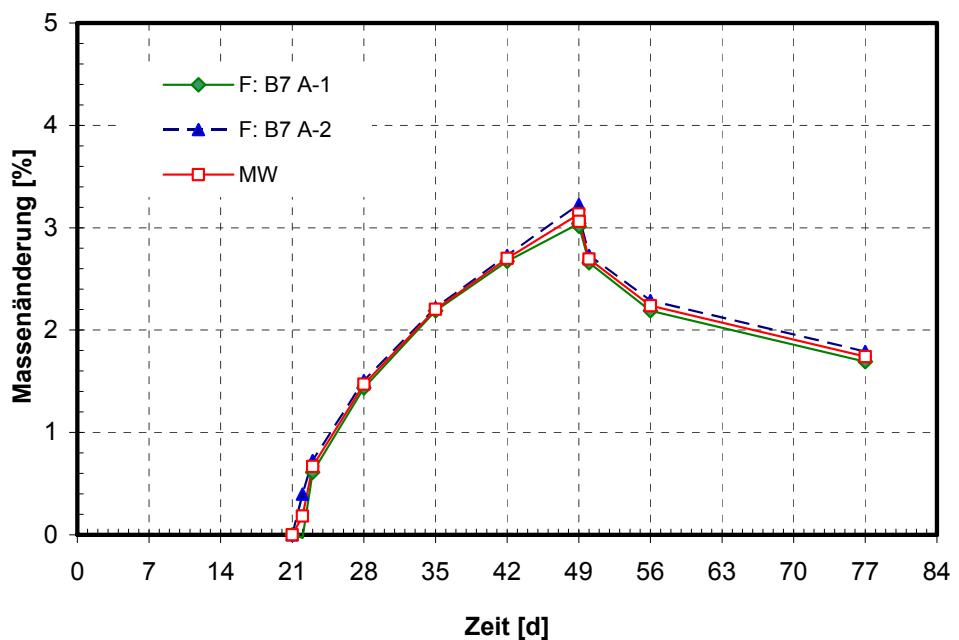


Bild 121: PUR-Beschichtung, Einlagerung in B7 A, Masseänderung

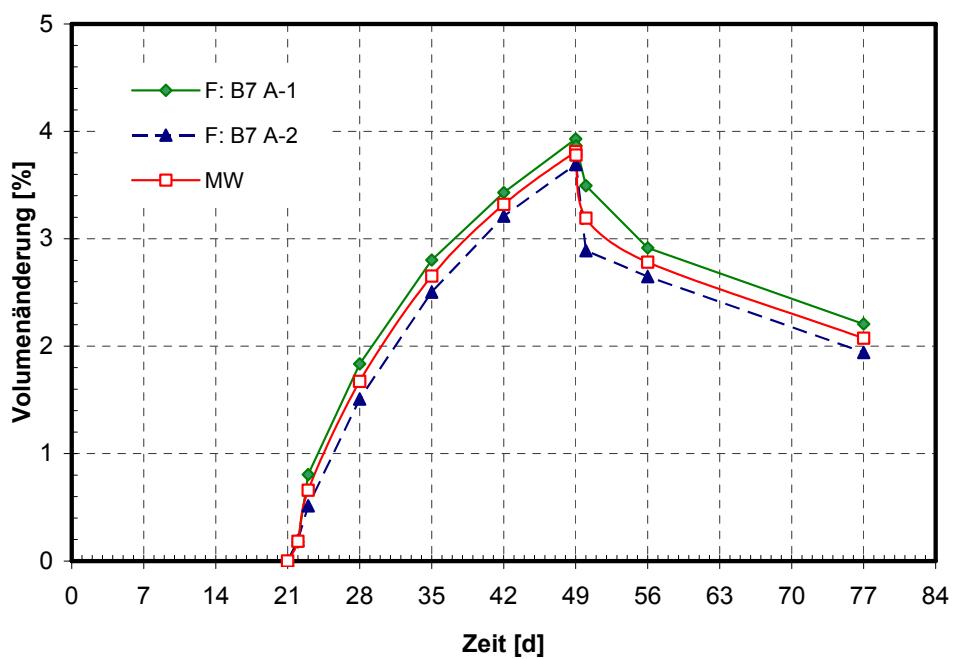


Bild 122: PUR-Beschichtung, Einlagerung in B7 A, Volumenänderung

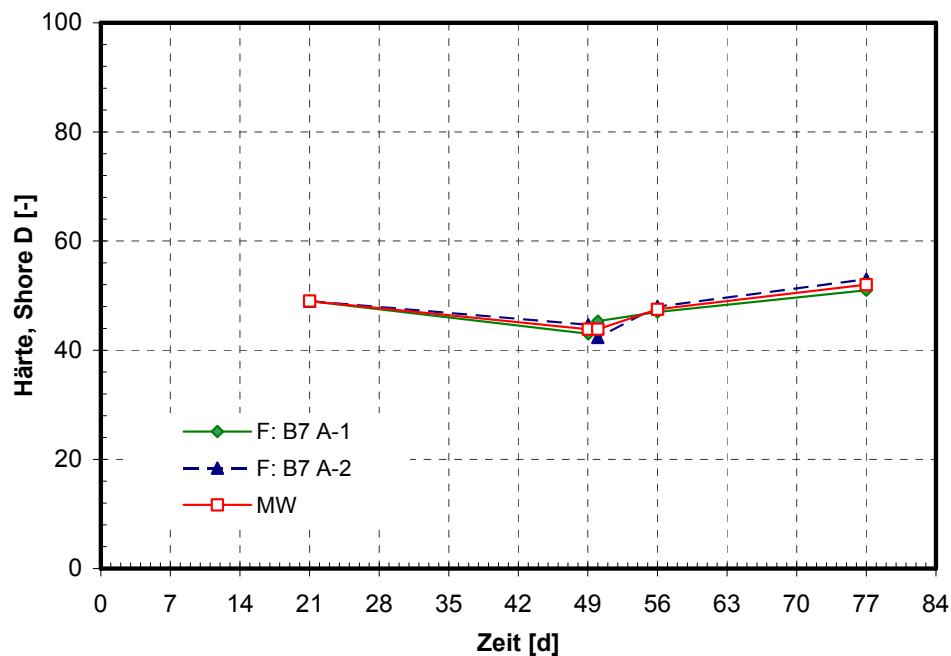


Bild 123: PUR-Beschichtung, Einlagerung in B7 A, Härteänderung (Shore-Einheiten)

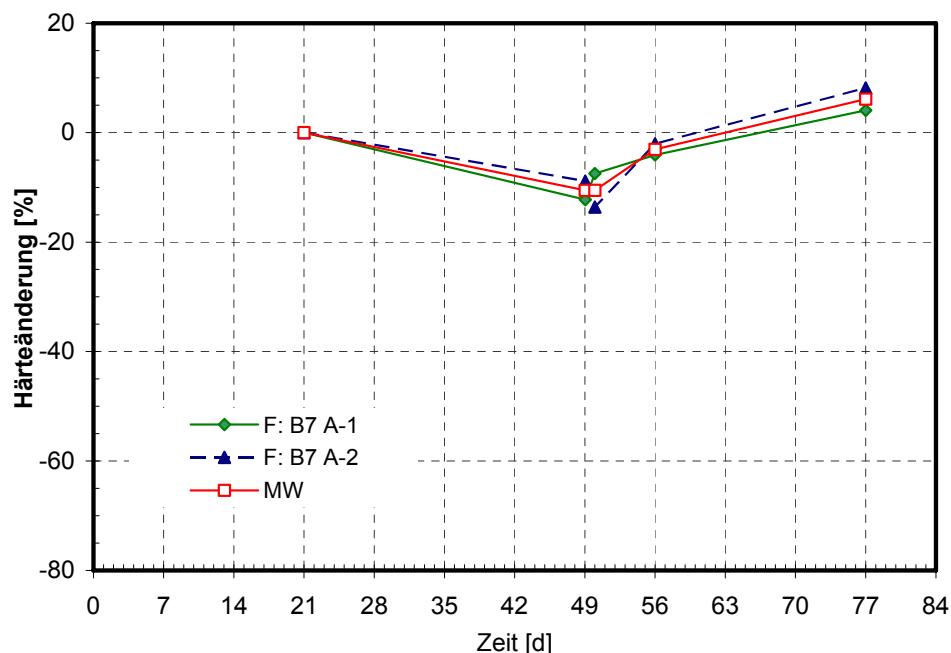


Bild 124: PUR-Beschichtung, Einlagerung in B7 A, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

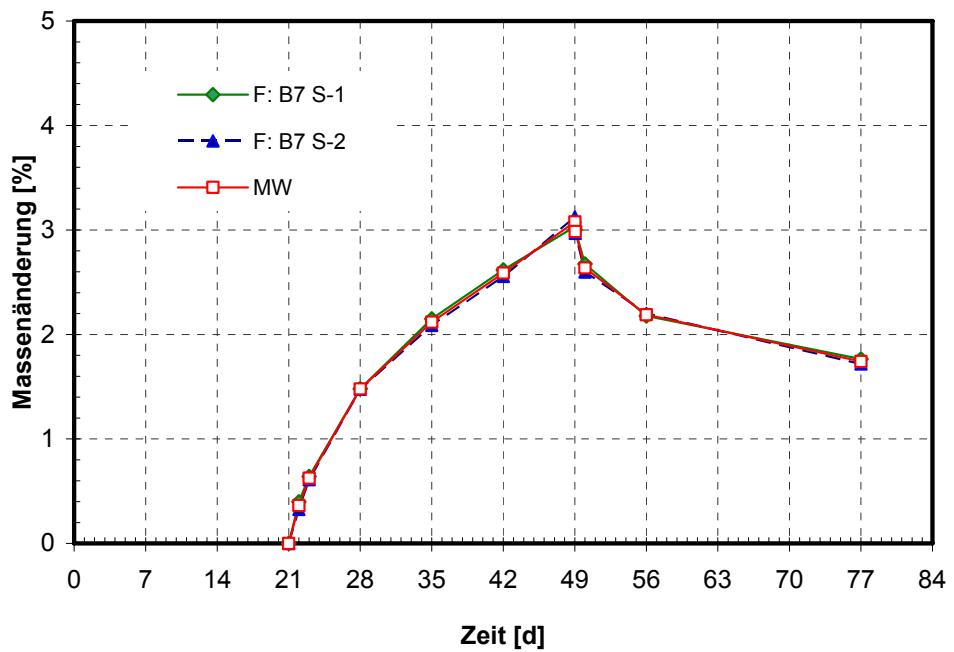


Bild 125: PUR-Beschichtung, Einlagerung in B7 S, Masseänderung

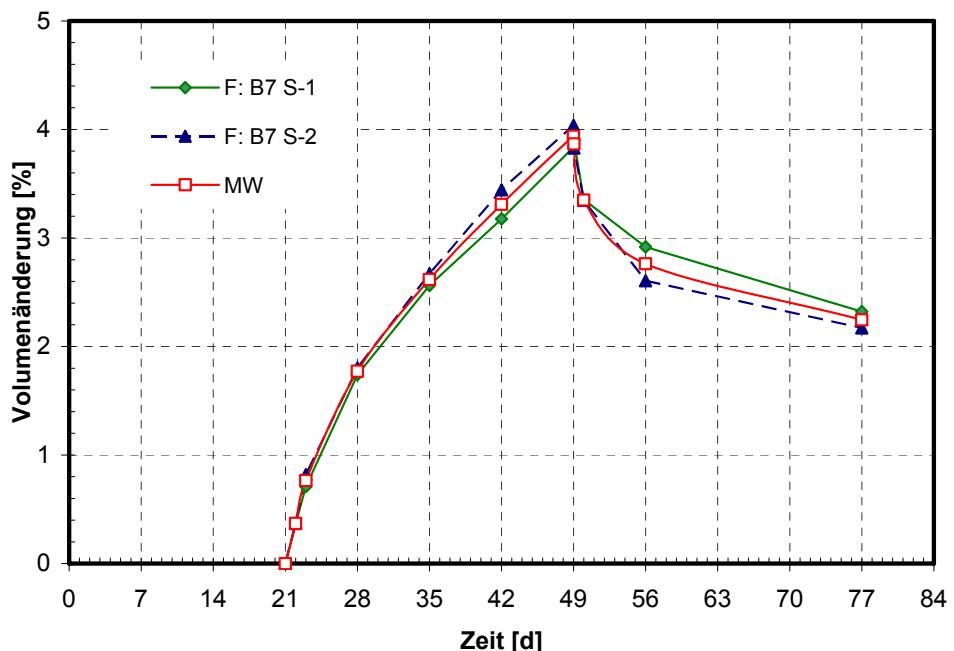


Bild 126: PUR-Beschichtung, Einlagerung in B7 S, Volumenänderung

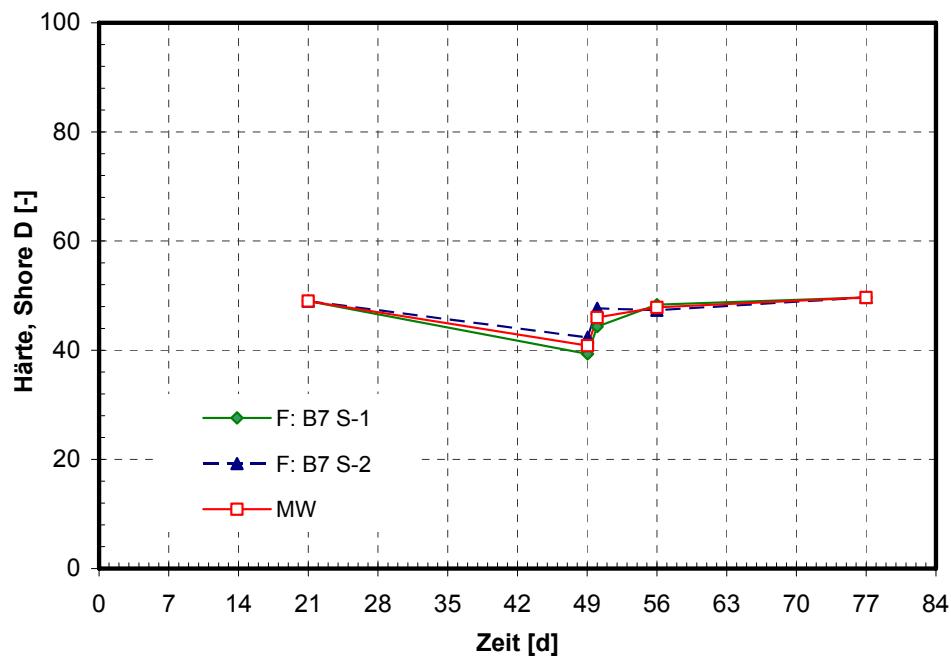


Bild 127: PUR-Beschichtung, Einlagerung in B7 S, Härteänderung (Shore-Einheiten)

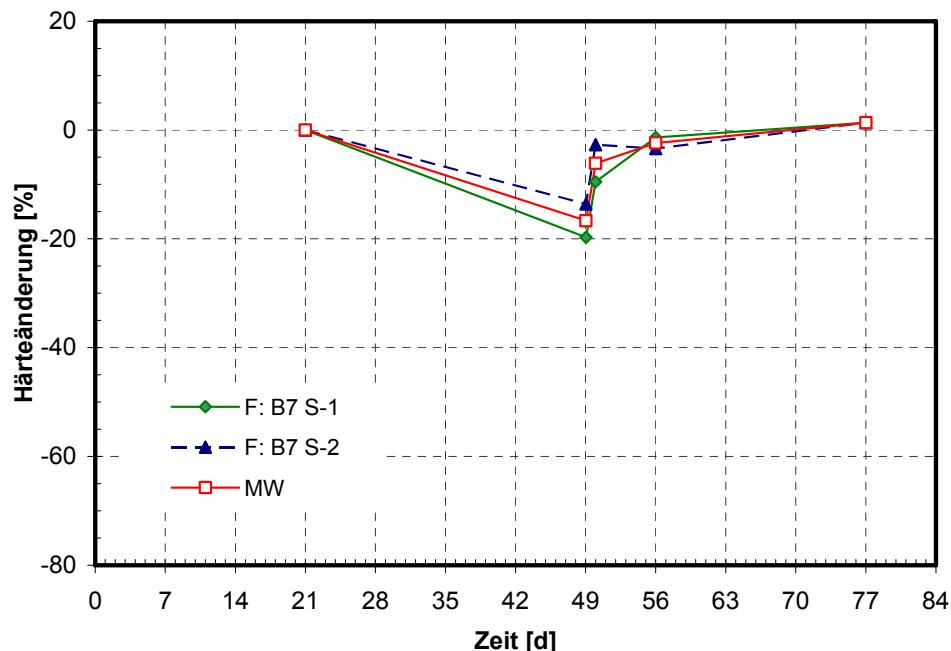


Bild 128: PUR-Beschichtung, Einlagerung in B7 S, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

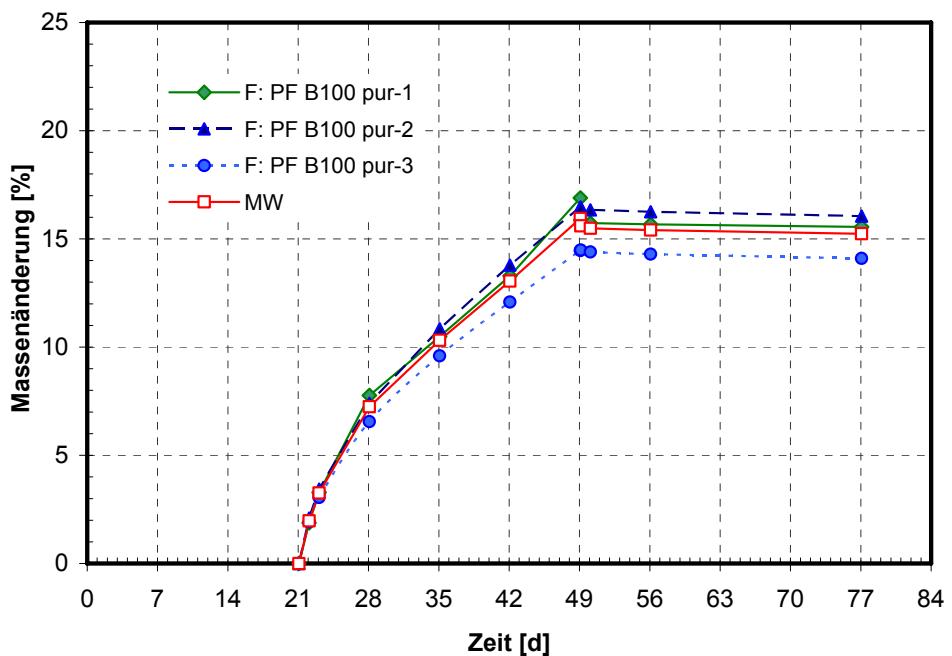


Bild 129: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF B100 pur, Masseänderung

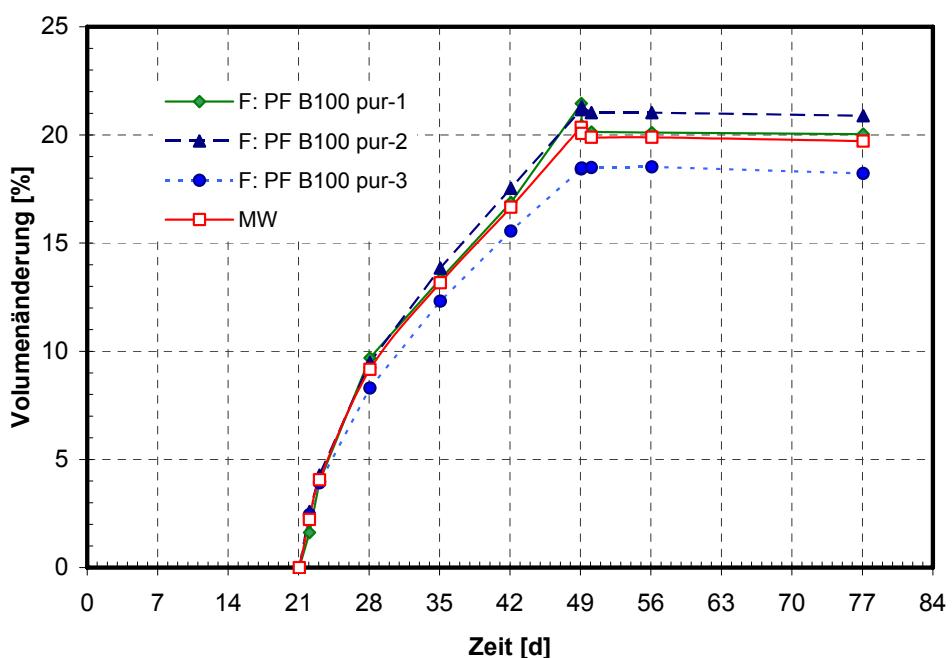


Bild 130: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF B100 pur, Volumenänderung

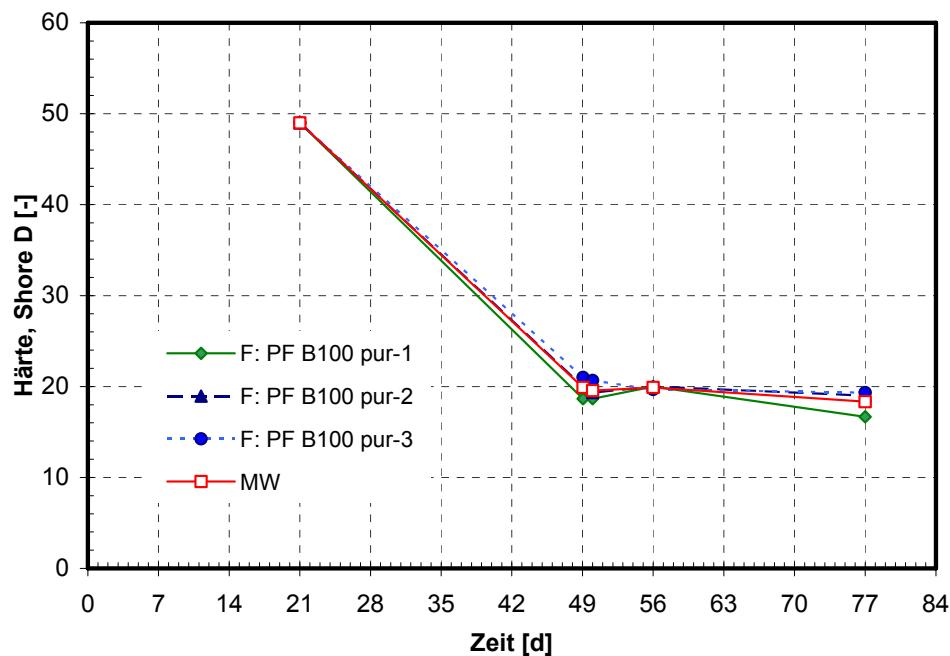


Bild 131: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF B100 pur, Härteänderung (Shore-Einheiten)

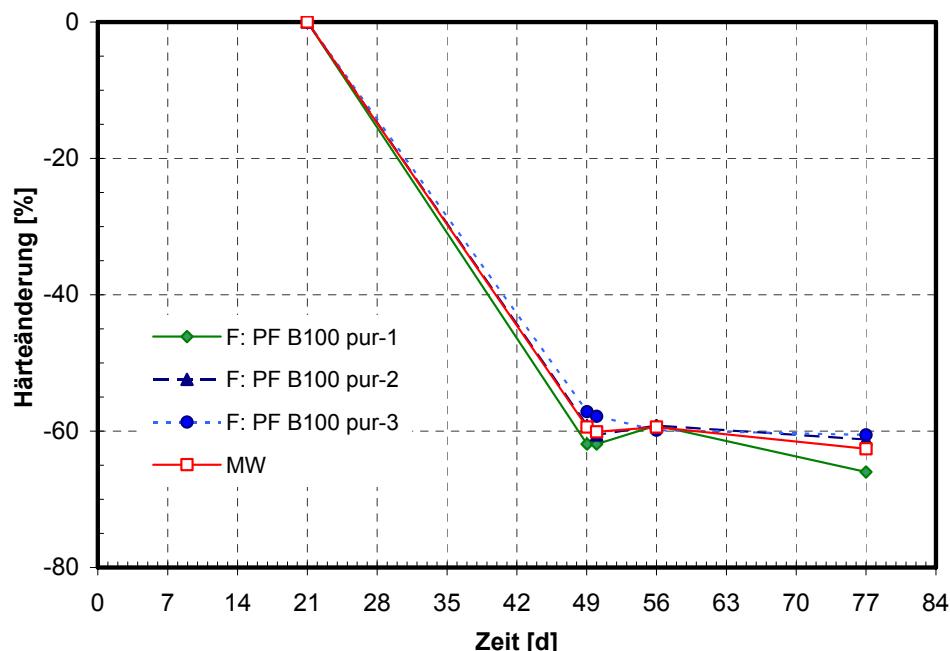


Bild 132: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF B100 pur, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

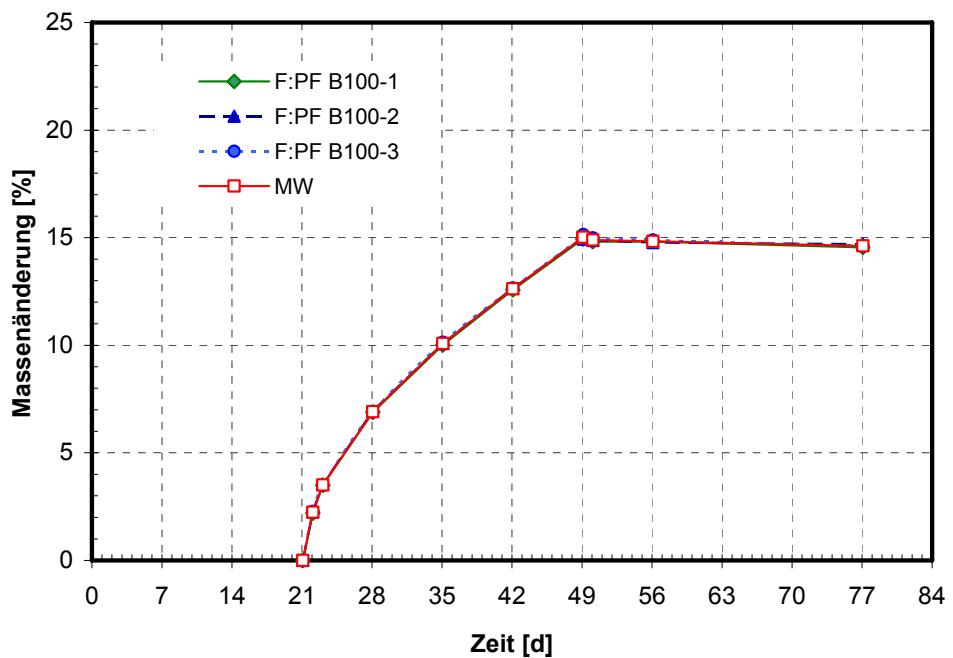


Bild 133: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF B100, Masseänderung

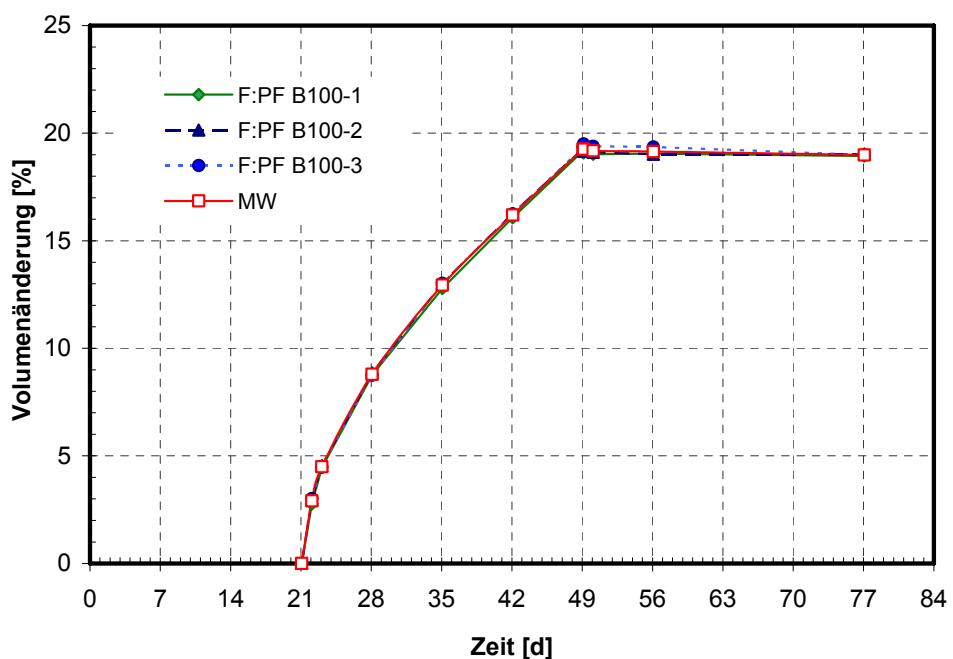


Bild 134: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF B100, Volumenänderung

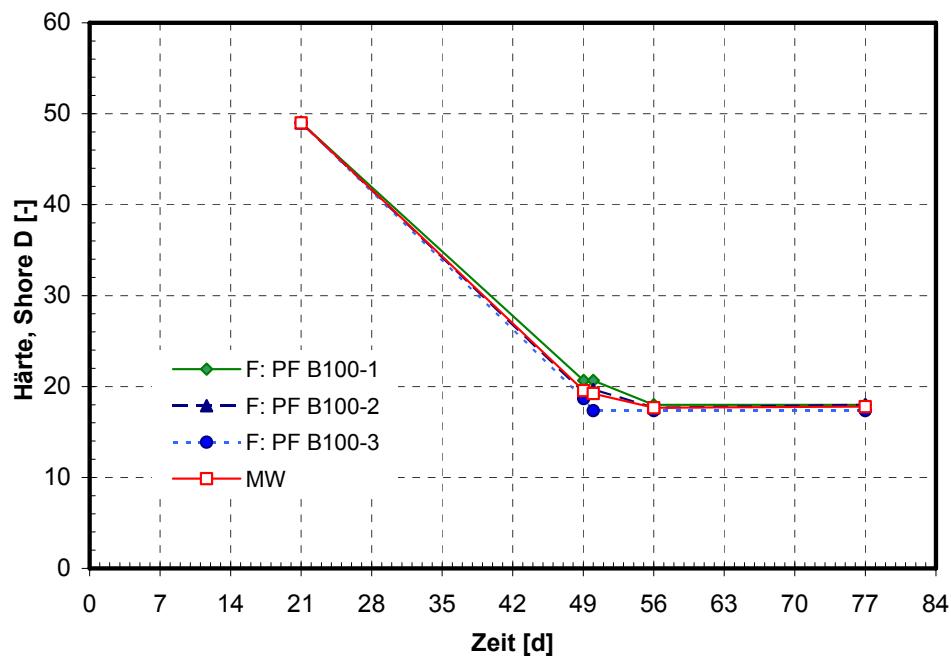


Bild 135: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF B100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

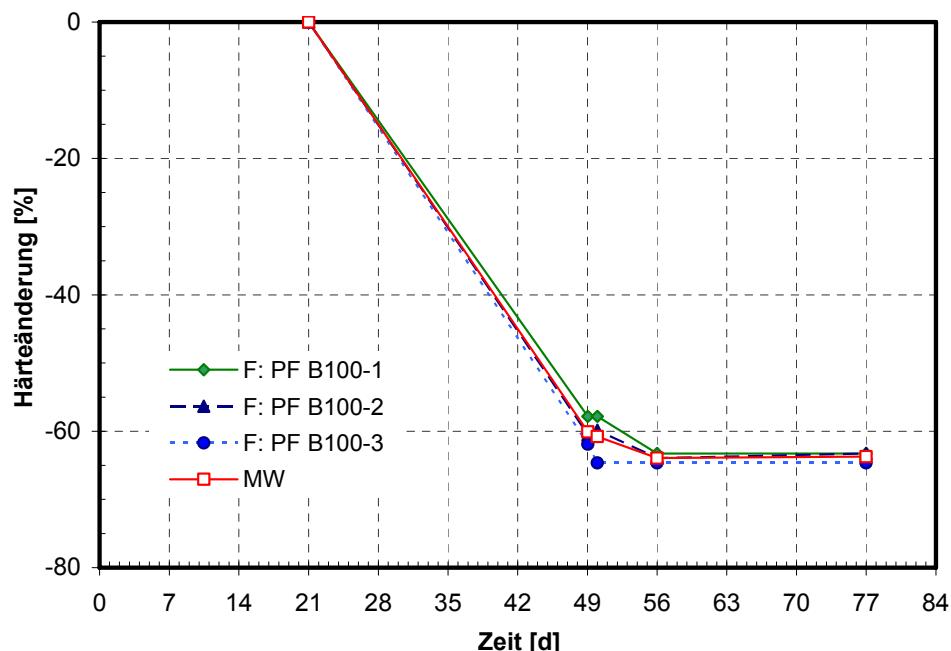


Bild 136: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF B100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

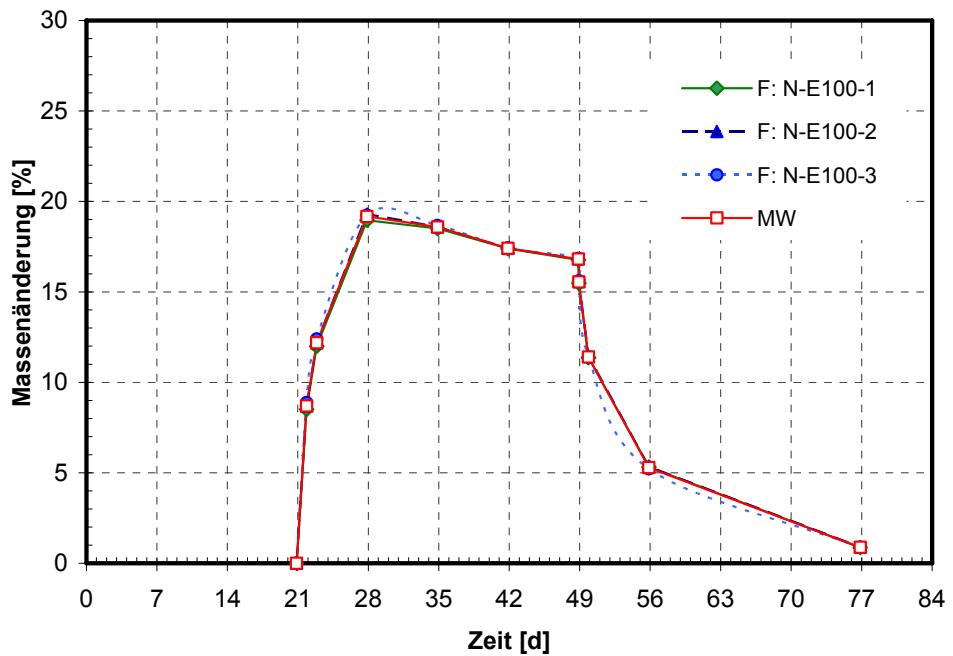


Bild 137: PUR-Beschichtung, Einlagerung in N-E100, Masseänderung

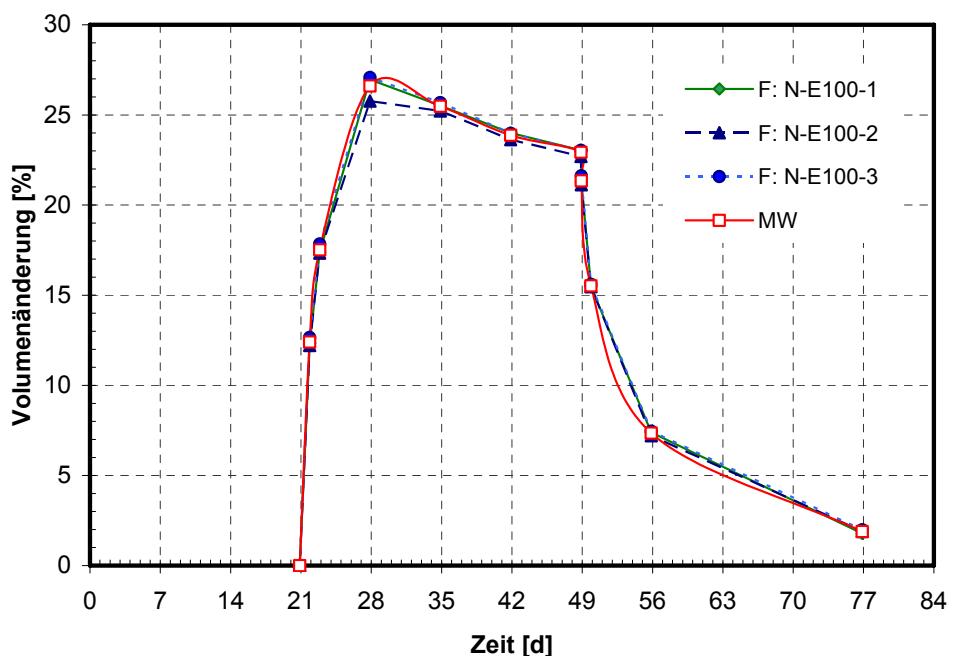


Bild 138: PUR-Beschichtung, Einlagerung in N-E100, Volumenänderung

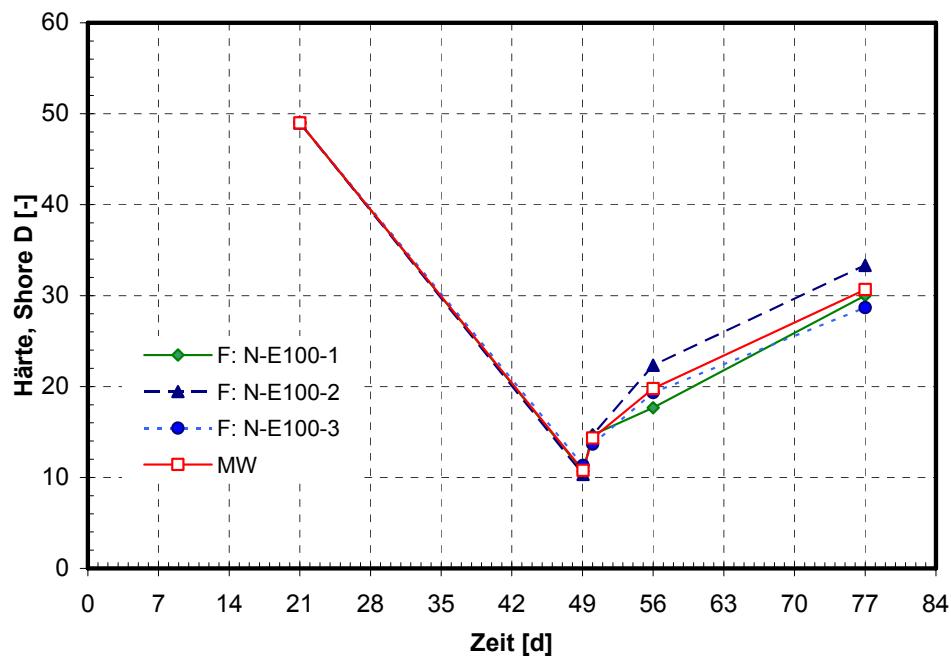


Bild 139: PUR-Beschichtung, Einlagerung in N-E100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

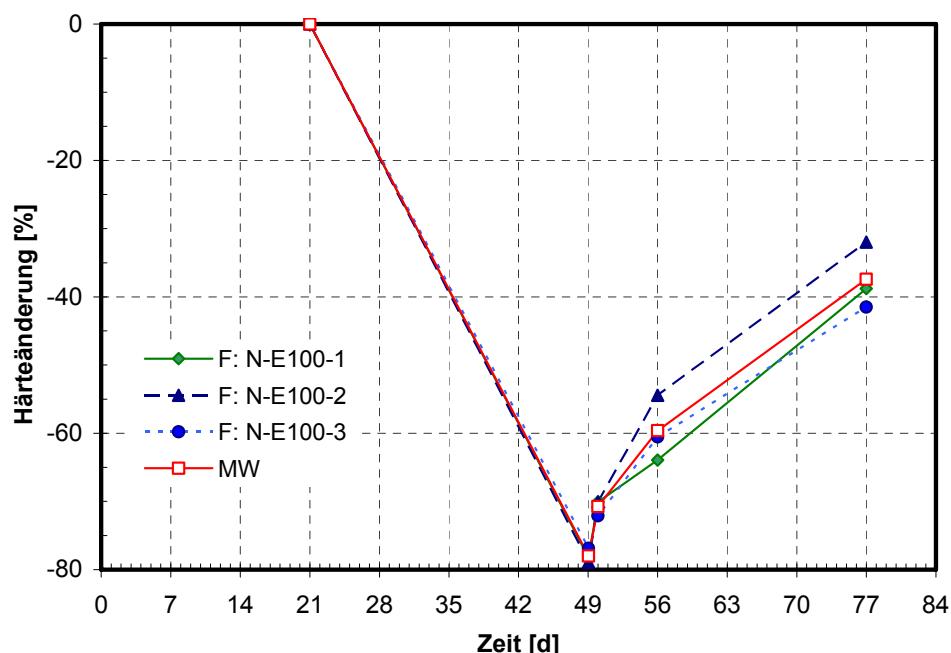


Bild 140: PUR-Beschichtung, Einlagerung in N-E100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

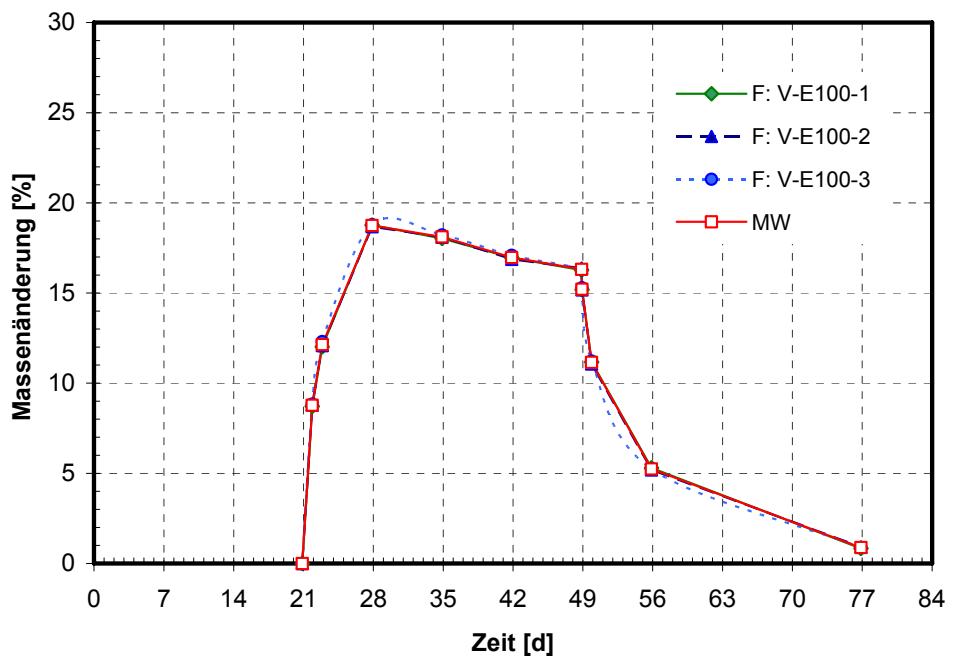


Bild 141: PUR-Beschichtung, Einlagerung in V-E100, Masseänderung

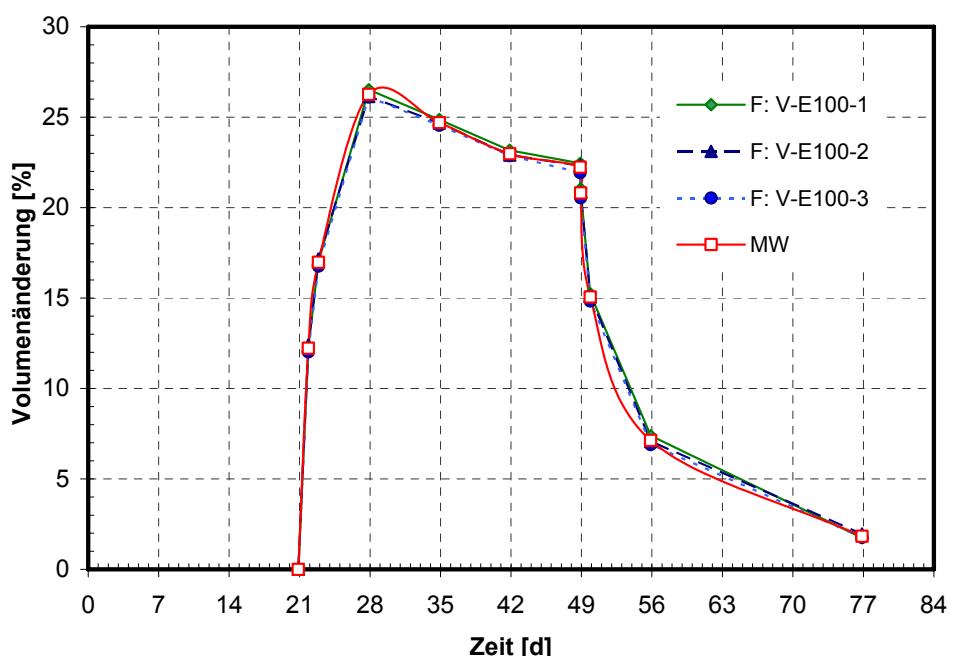


Bild 142: PUR-Beschichtung, Einlagerung in V-E100, Volumenänderung

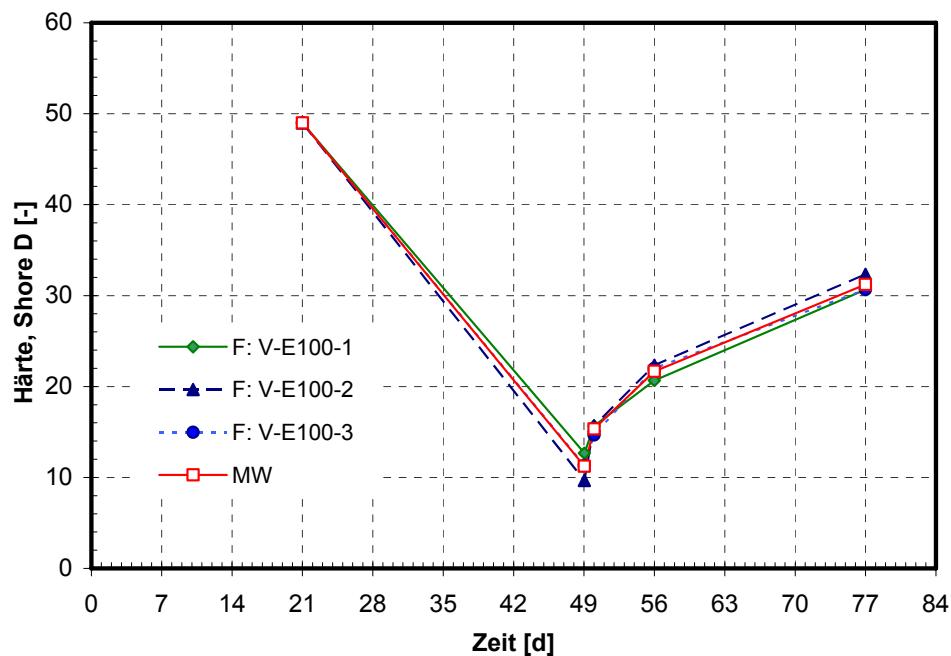


Bild 143: PUR-Beschichtung, Einlagerung in V-E100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

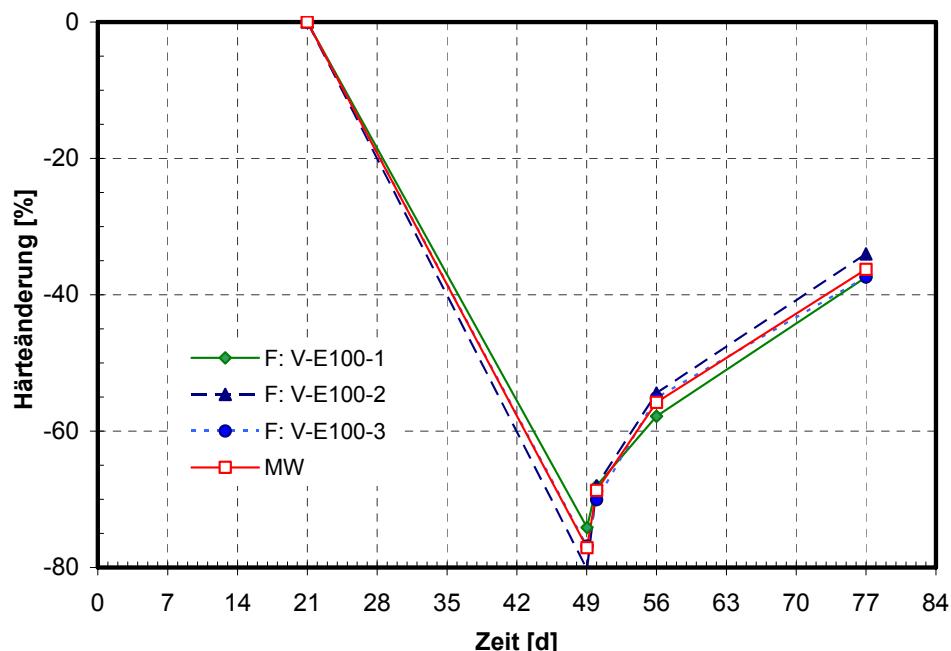


Bild 144: PUR-Beschichtung, Einlagerung in V-E100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

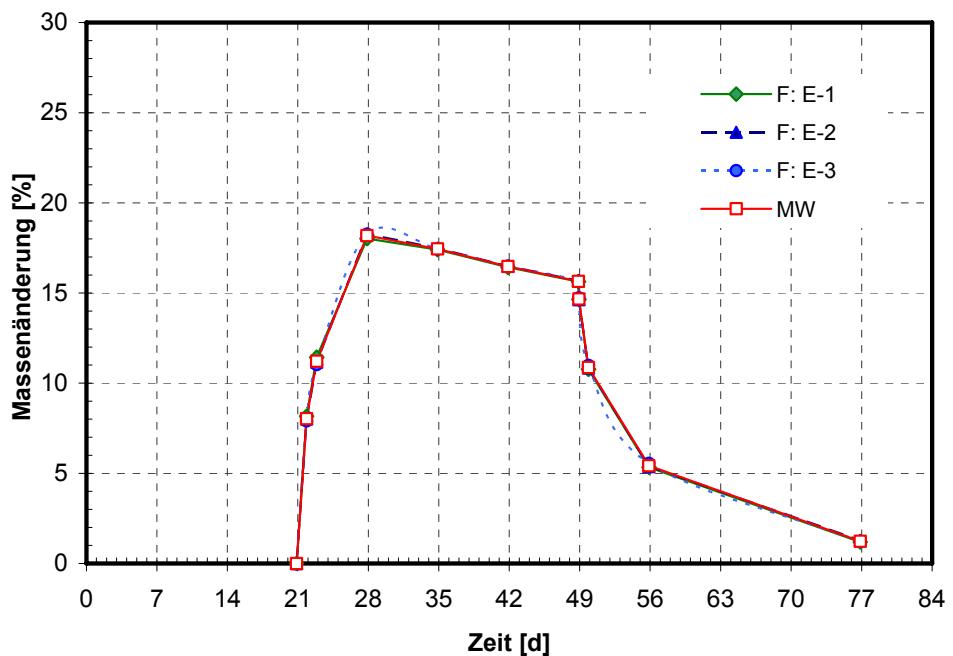


Bild 145: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E, Masseänderung

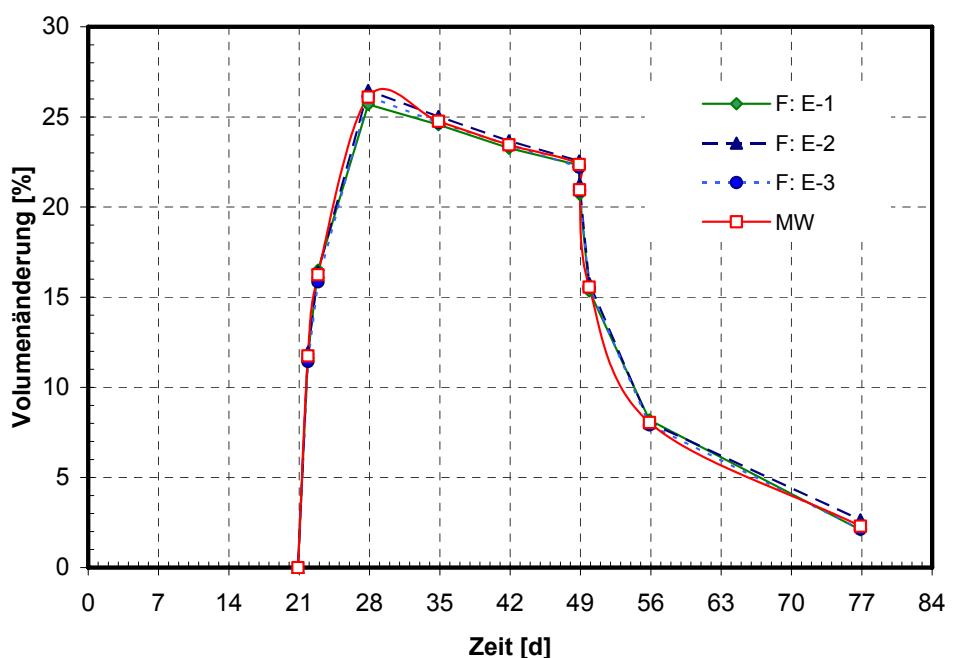


Bild 146: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E, Volumenänderung

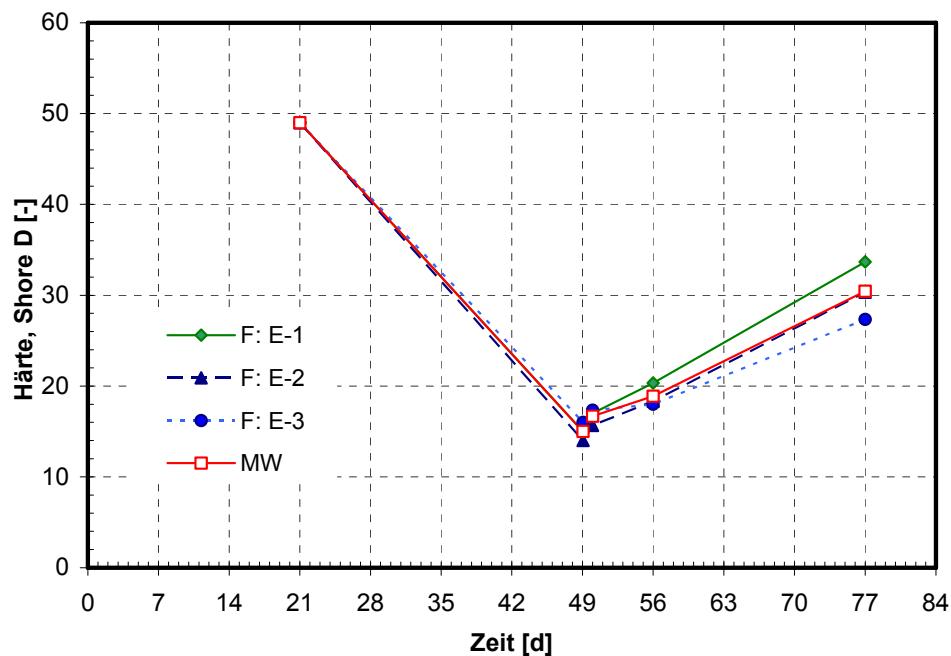


Bild 147: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E, Härteänderung (Shore-Einheiten)

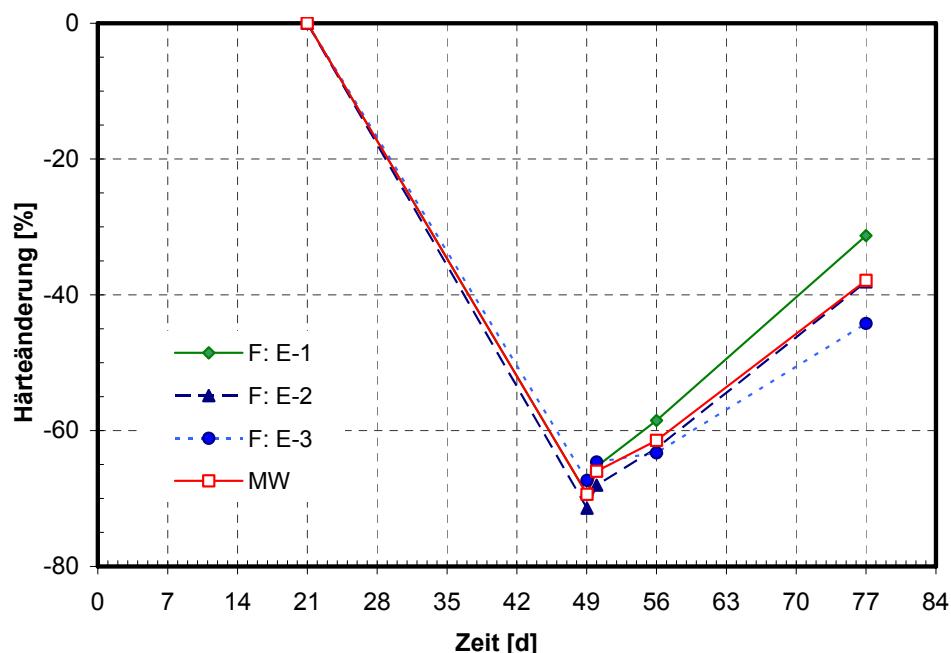


Bild 148: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

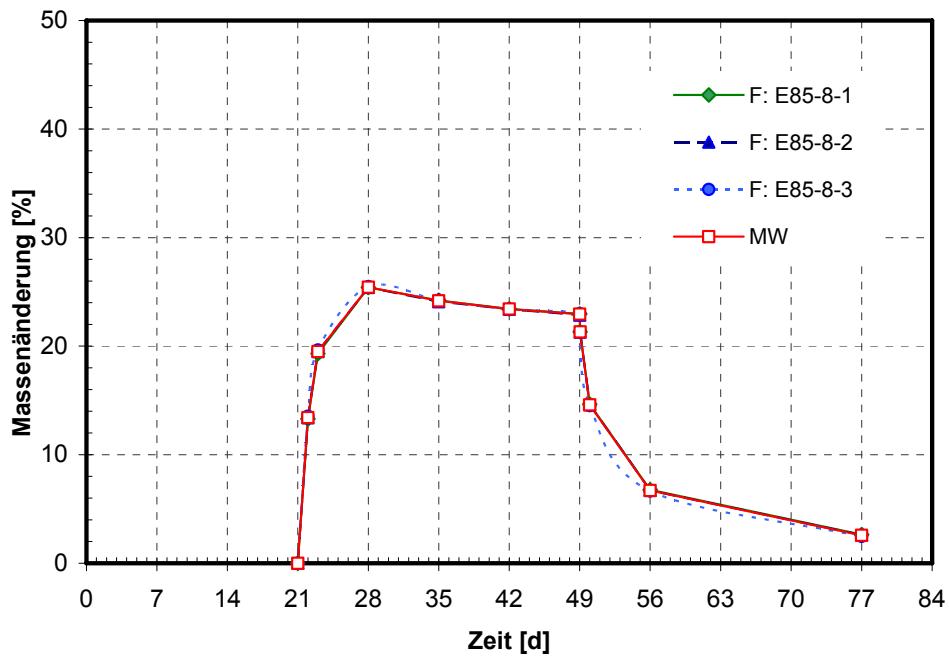


Bild 149: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E85-8, Masseänderung

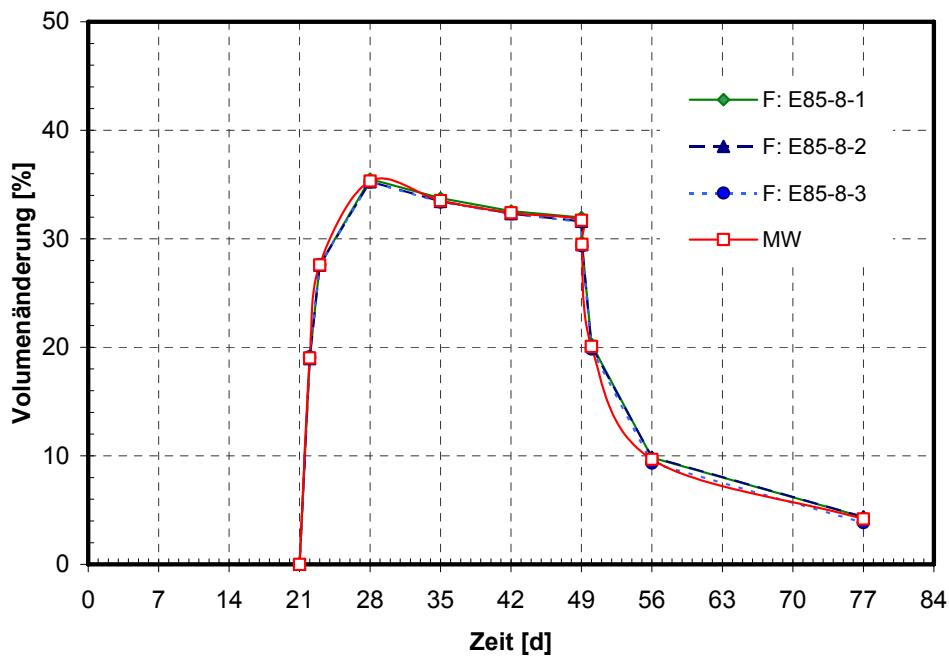


Bild 150: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E85-8, Volumenänderung

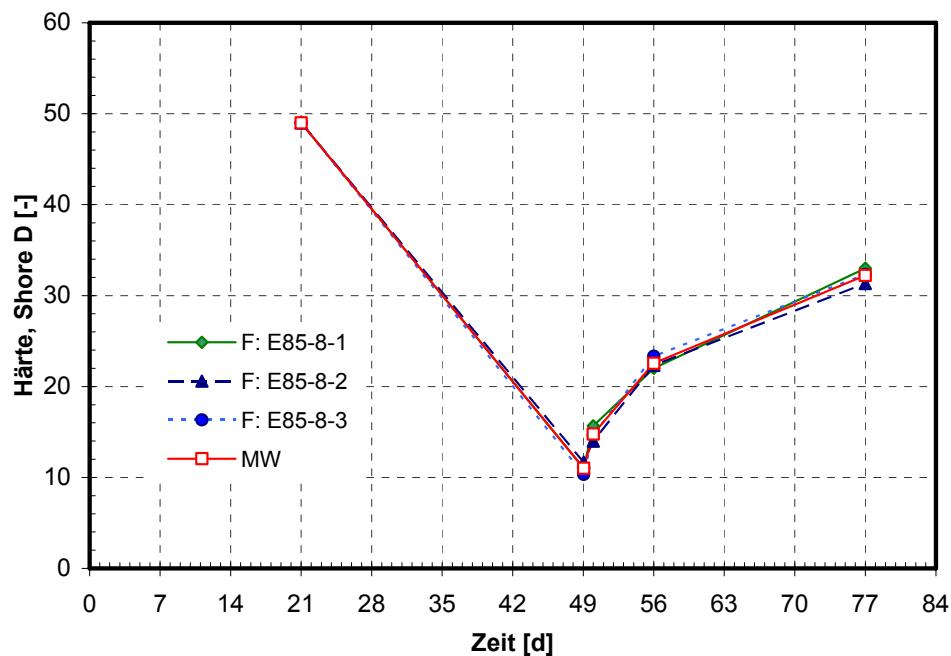


Bild 151: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E85-8, Härteänderung (Shore-Einheiten)

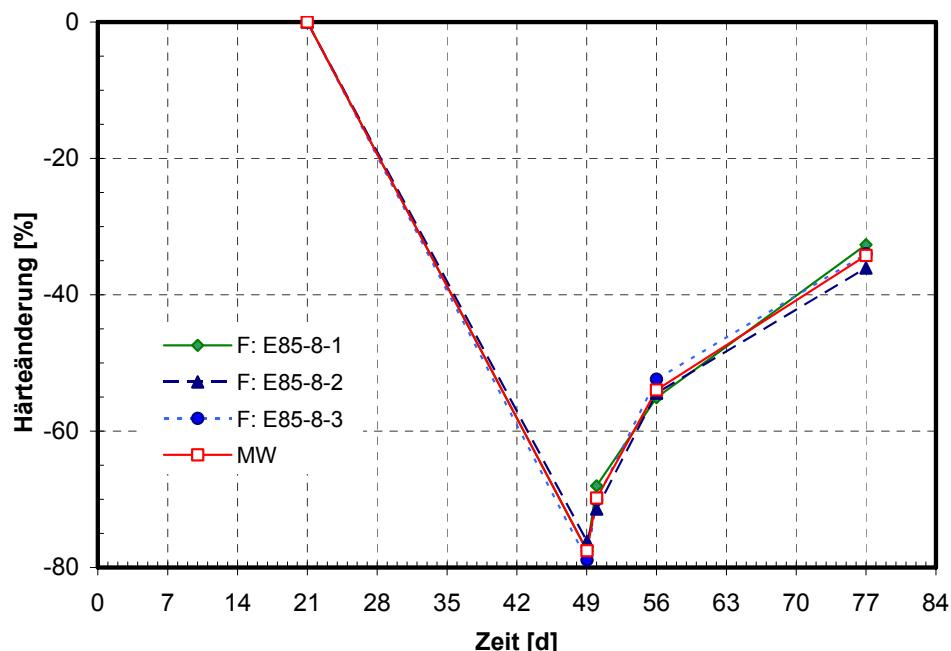


Bild 152: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E85-8, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

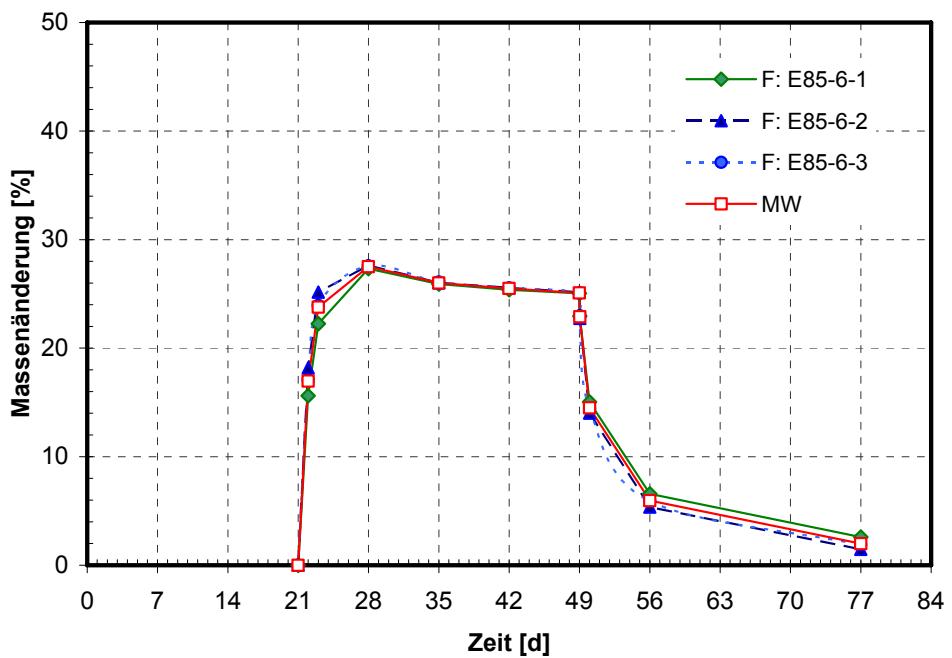


Bild 153: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E85-6, Masseänderung

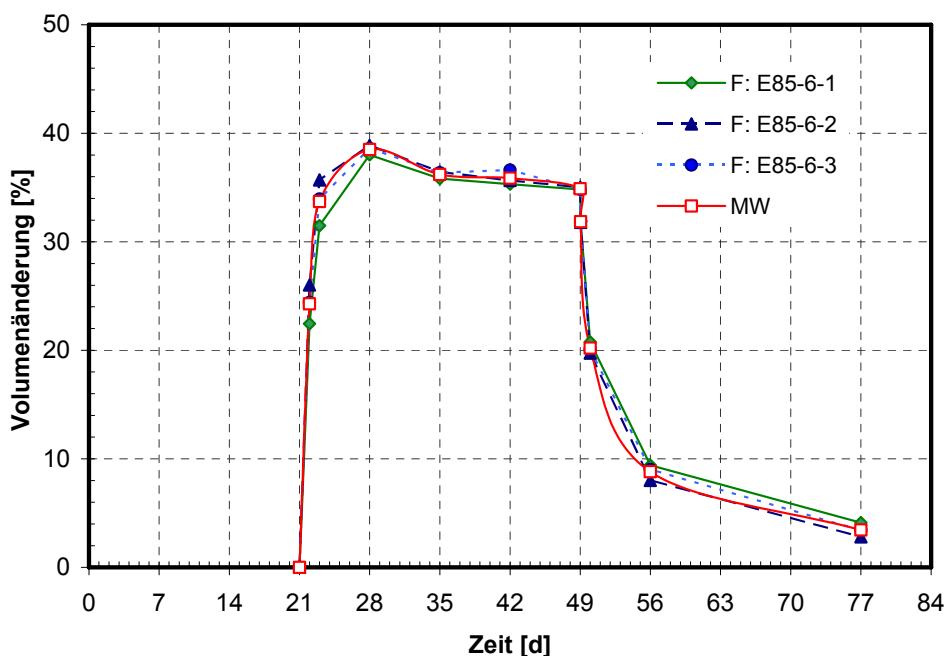


Bild 154: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E85-6, Volumenänderung

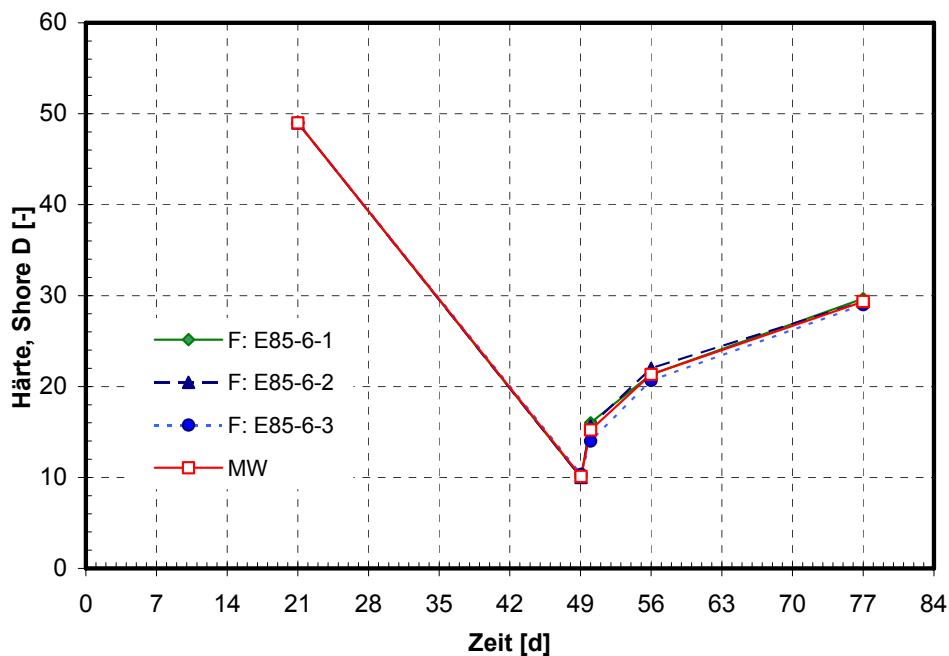


Bild 155: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E85-6, Härteänderung (Shore-Einheiten)

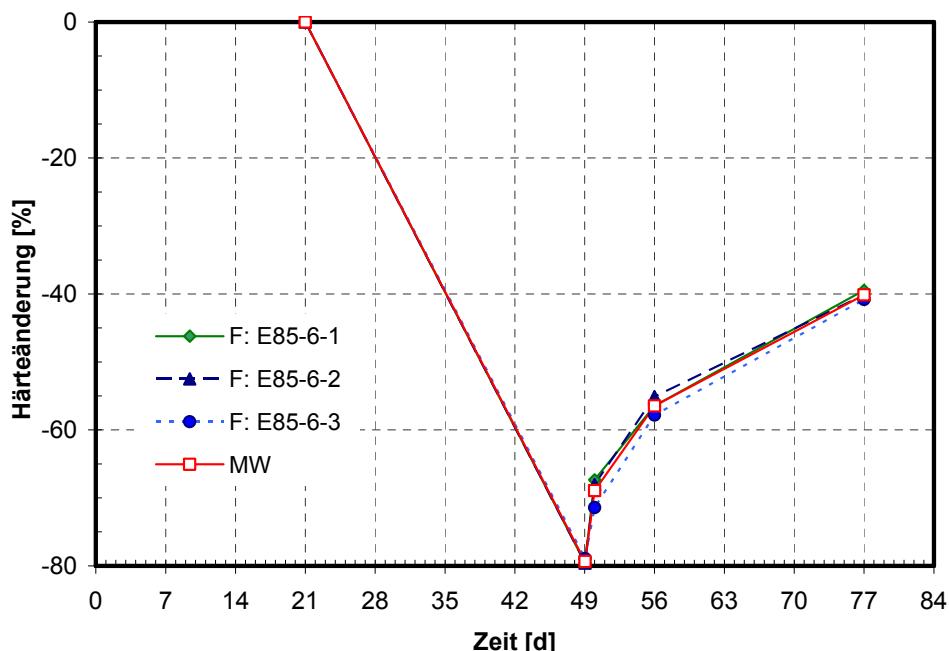


Bild 156: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E85-6, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

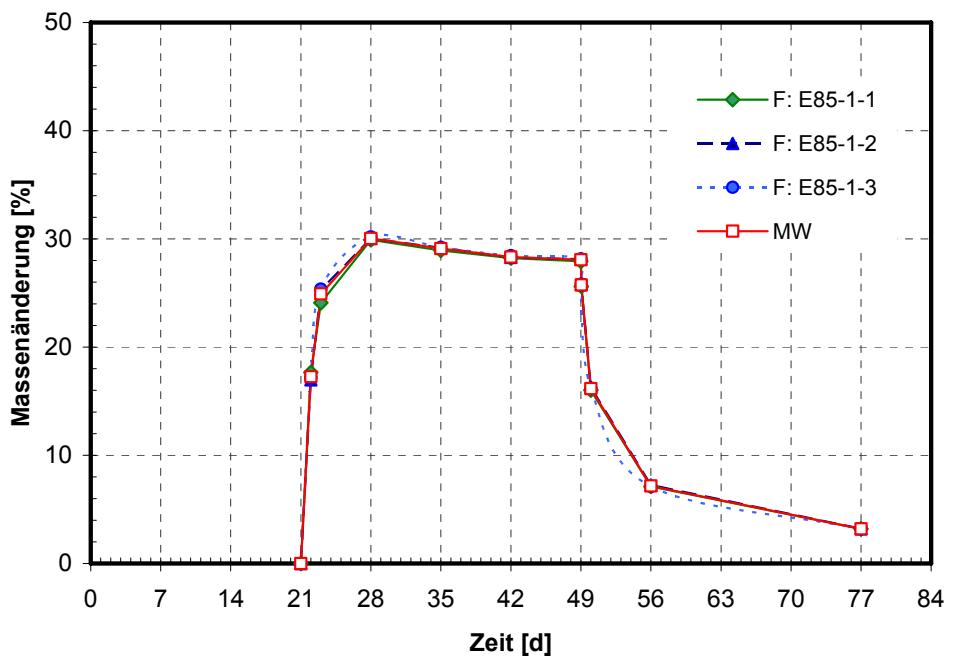


Bild 157: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E85-1, Masseänderung

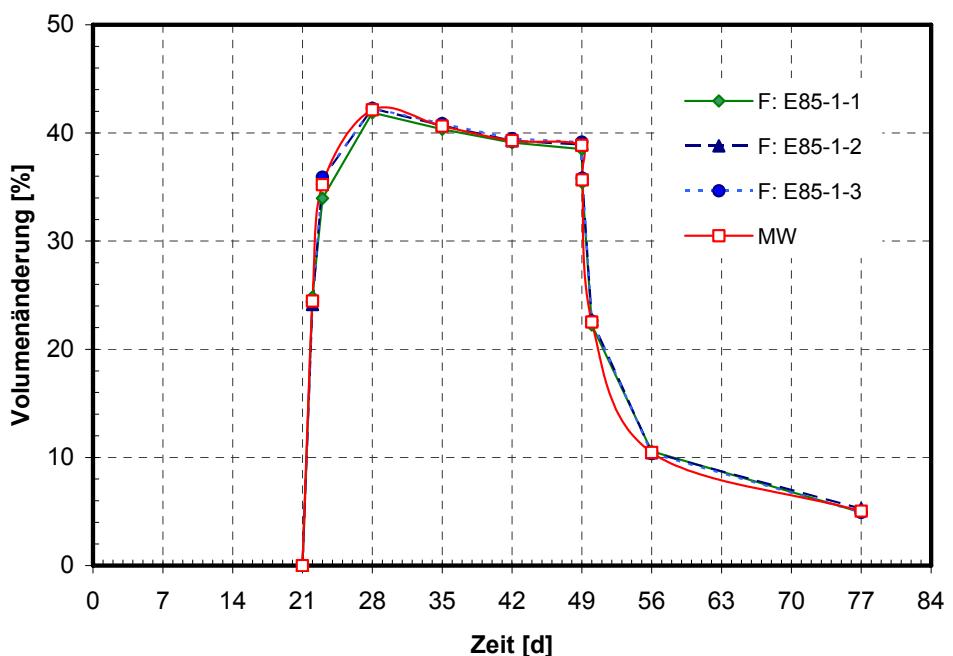


Bild 158: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E85-1, Volumenänderung

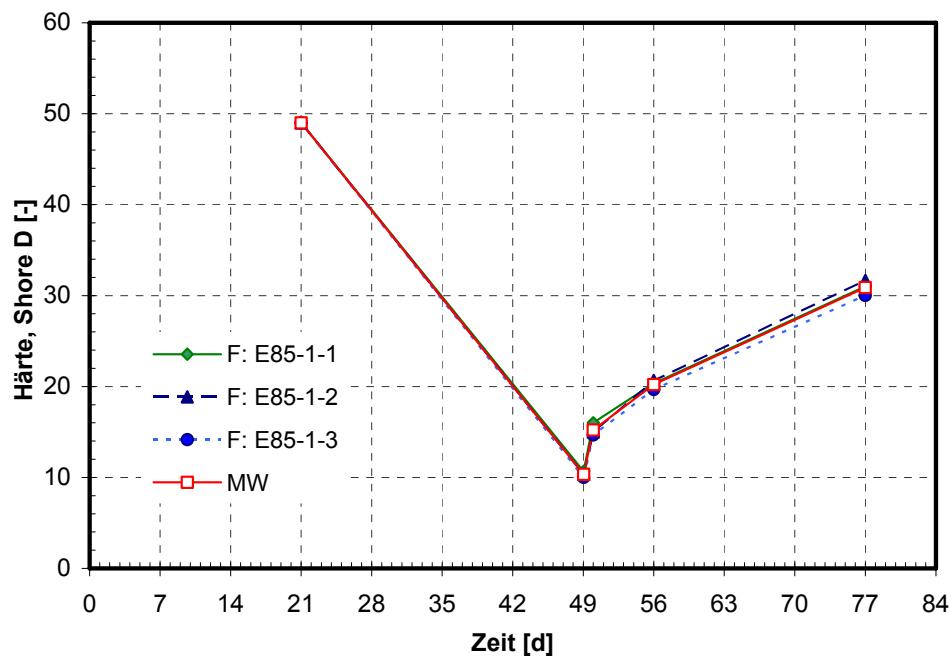


Bild 159: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E85-1, Härteänderung (Shore-Einheiten)

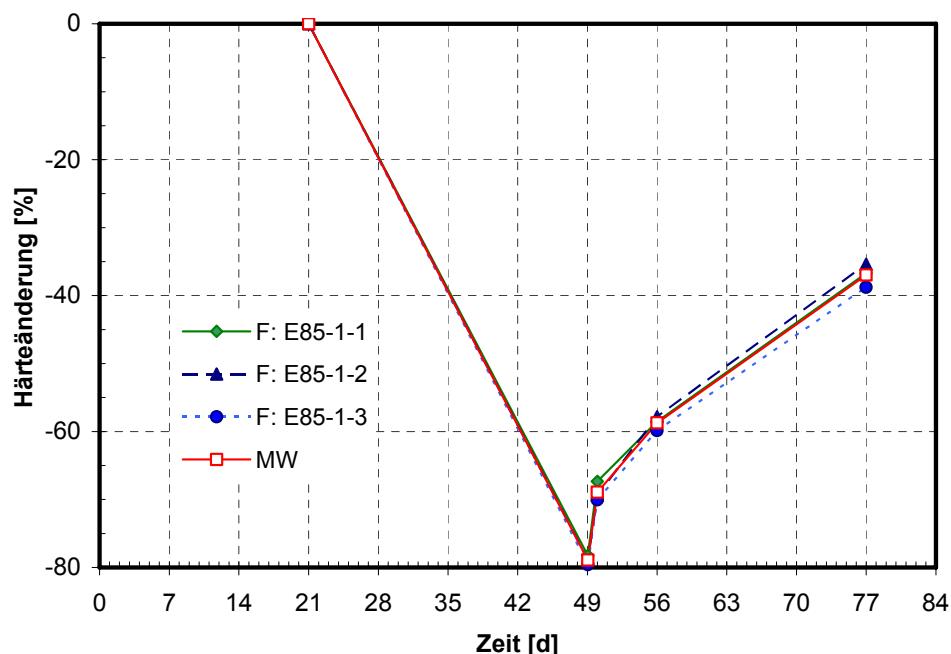


Bild 160: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E85-1, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

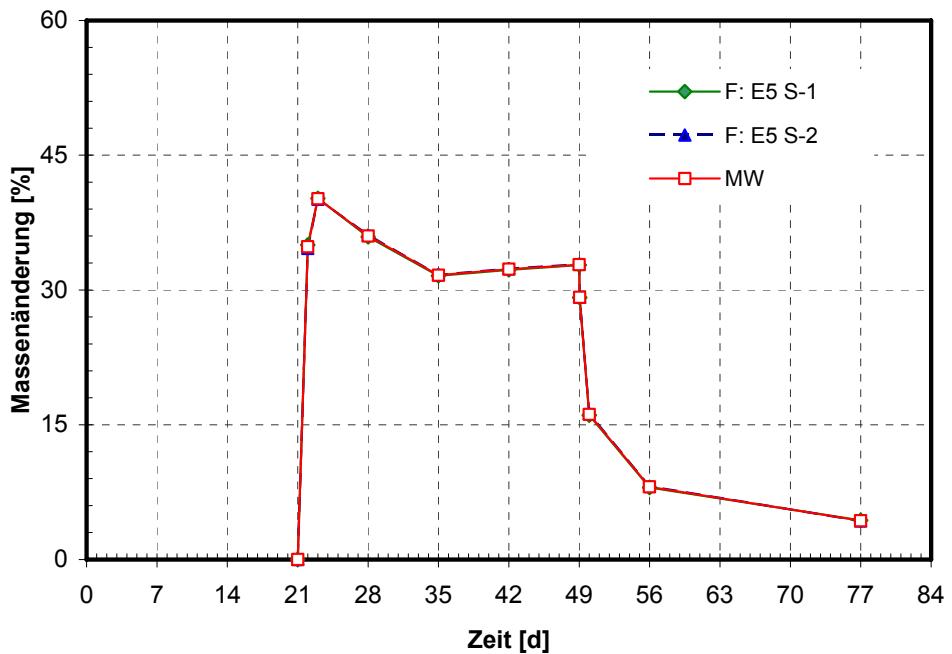


Bild 161: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E5 S, Masseänderung

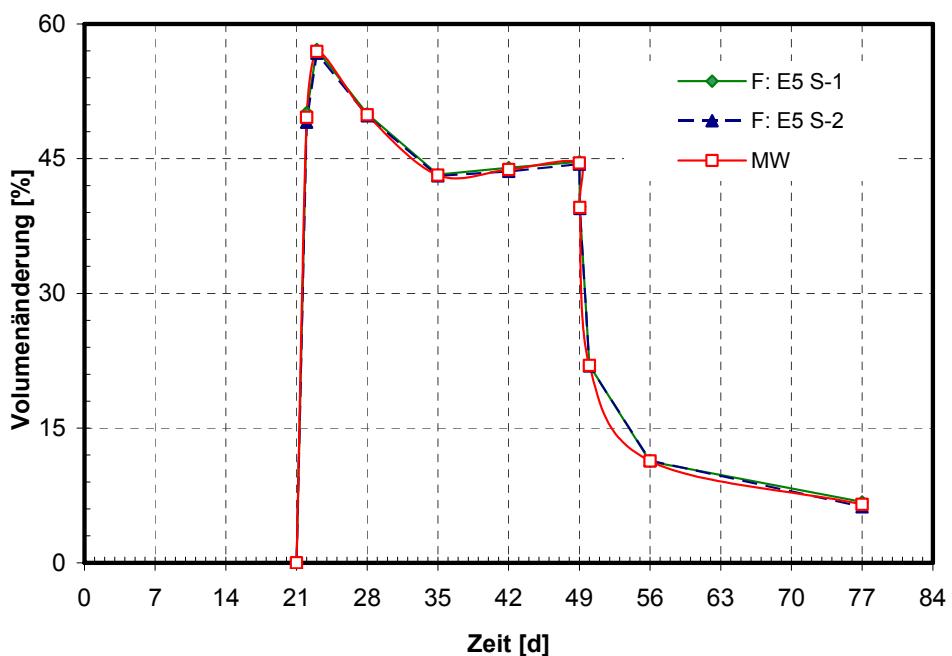


Bild 162: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E5 S, Volumenänderung

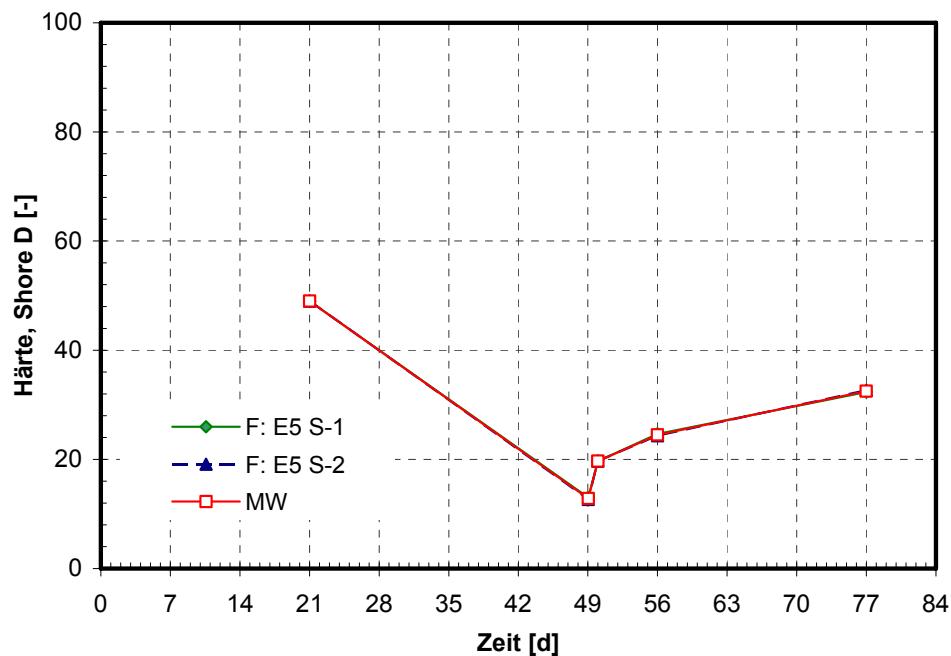


Bild 163: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E5 S, Härteänderung (Shore-Einheiten)

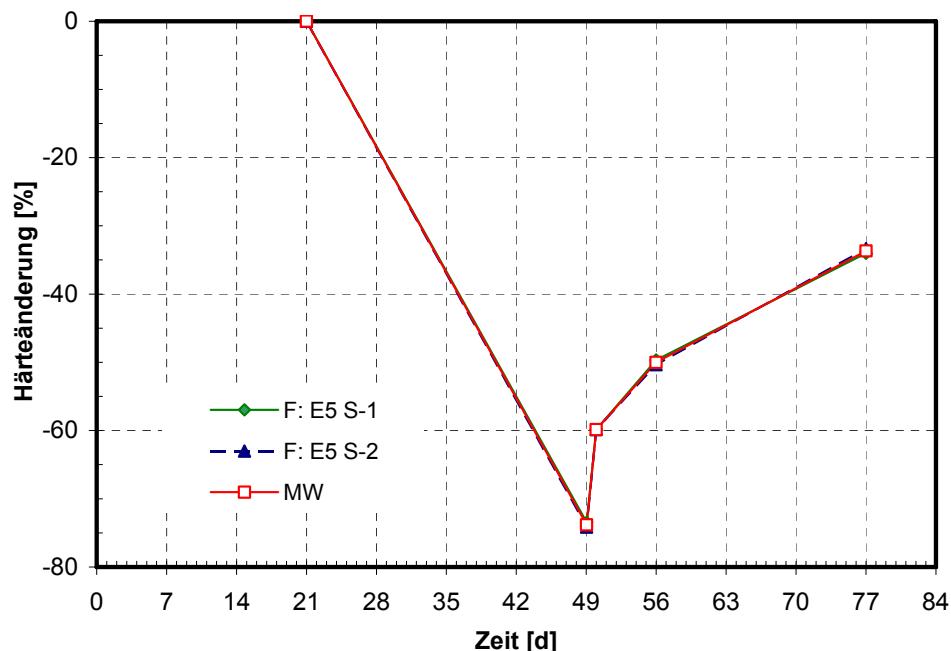


Bild 164: PUR-Beschichtung, Einlagerung in E5 S, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

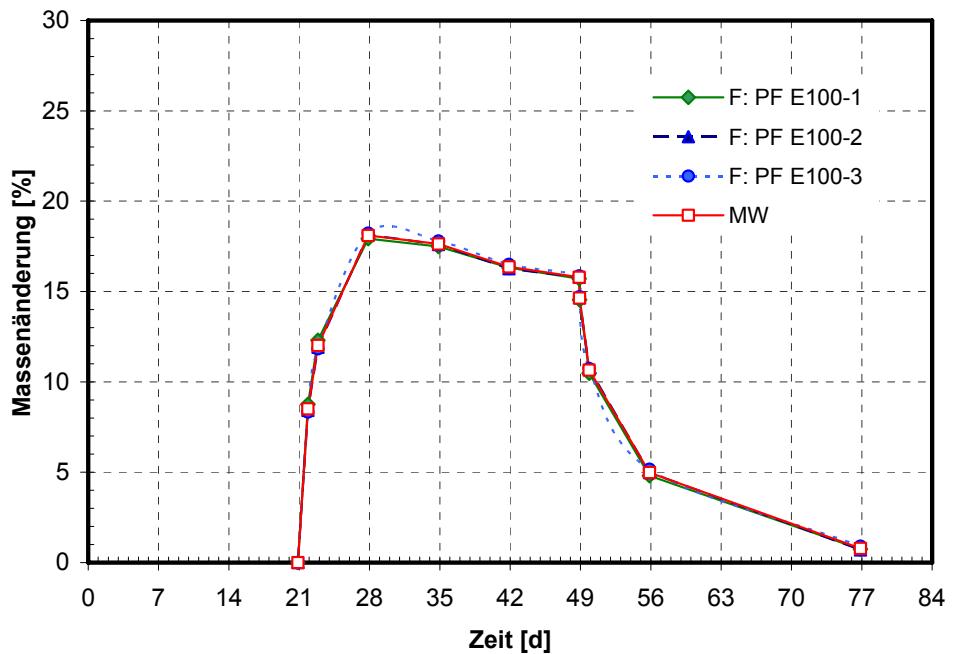


Bild 165: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E100, Masseänderung

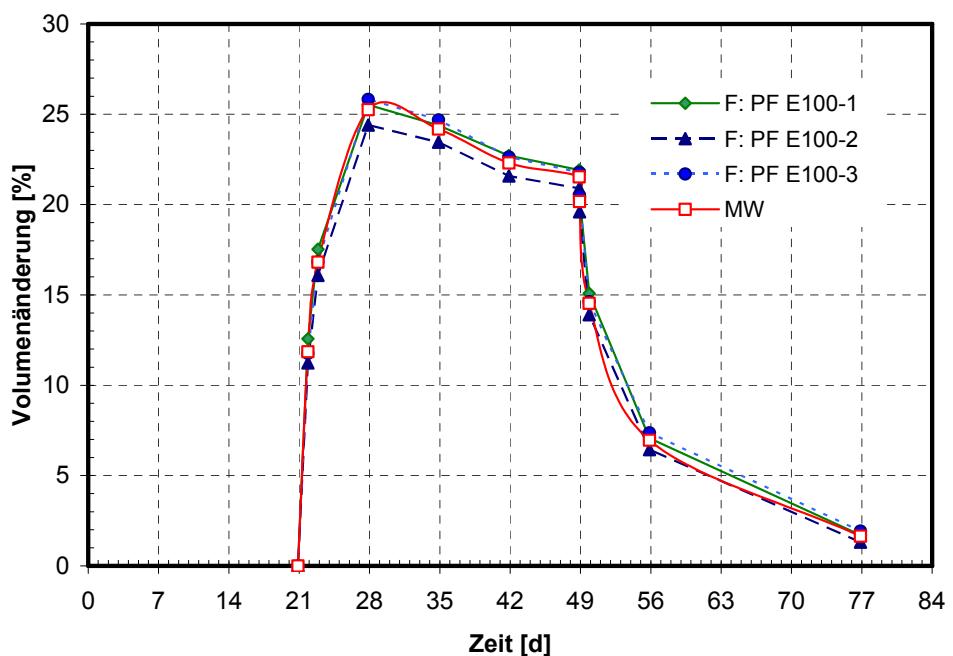


Bild 166: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E100, Volumenänderung

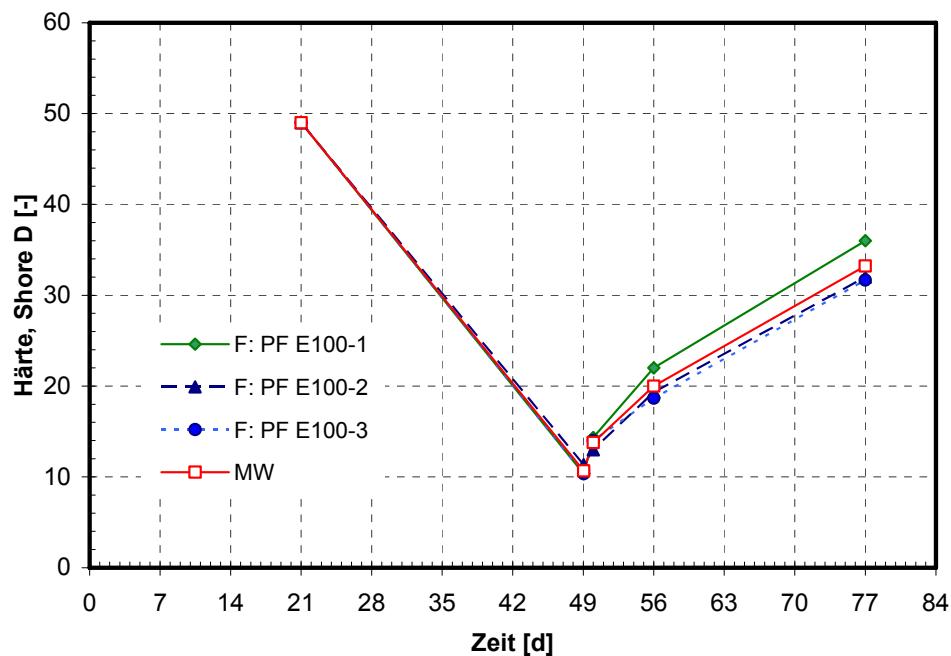


Bild 167: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

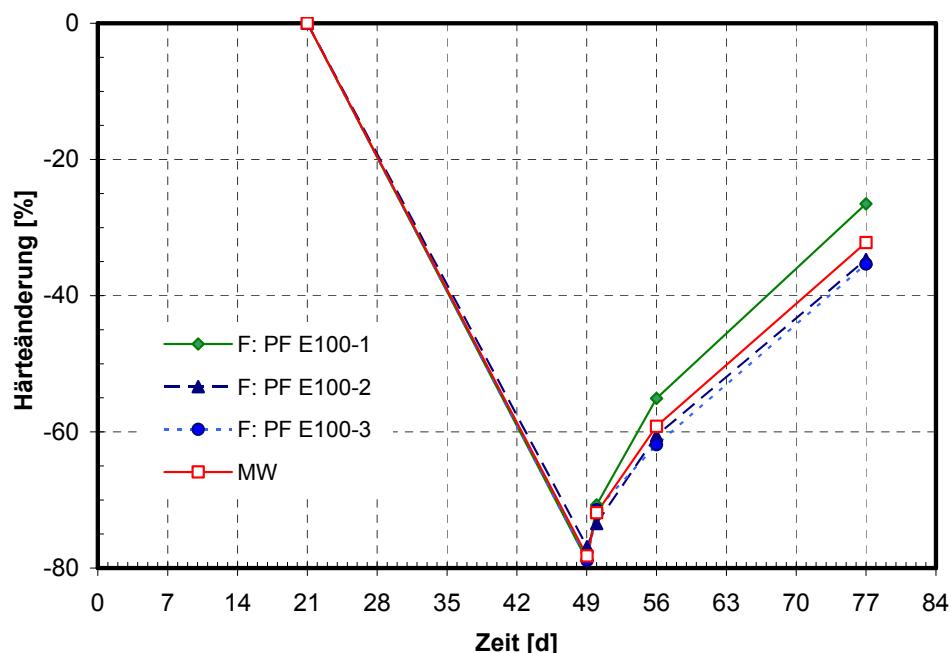


Bild 168: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

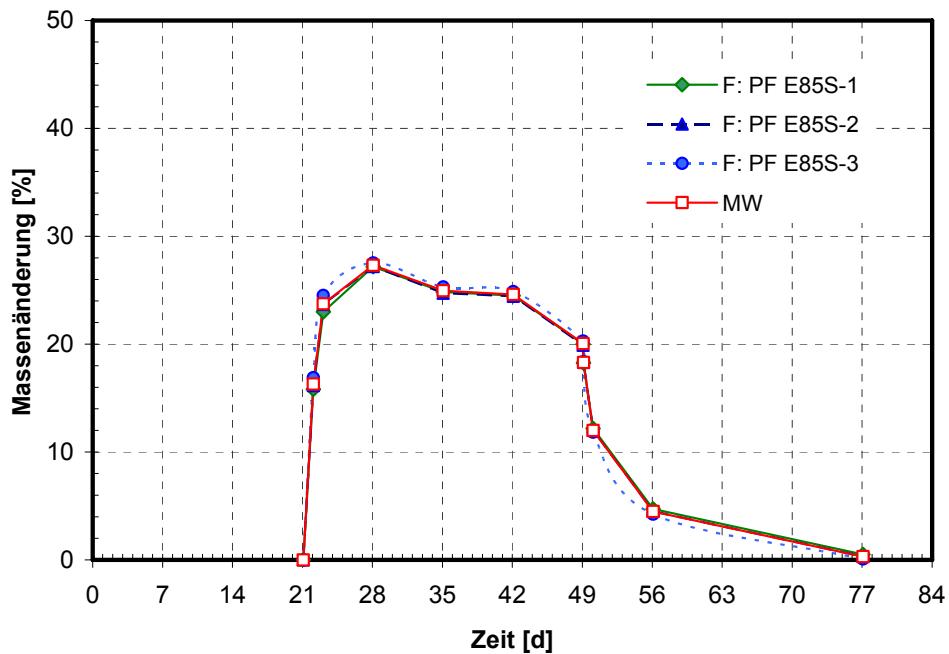


Bild 169: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E85S, Masseänderung

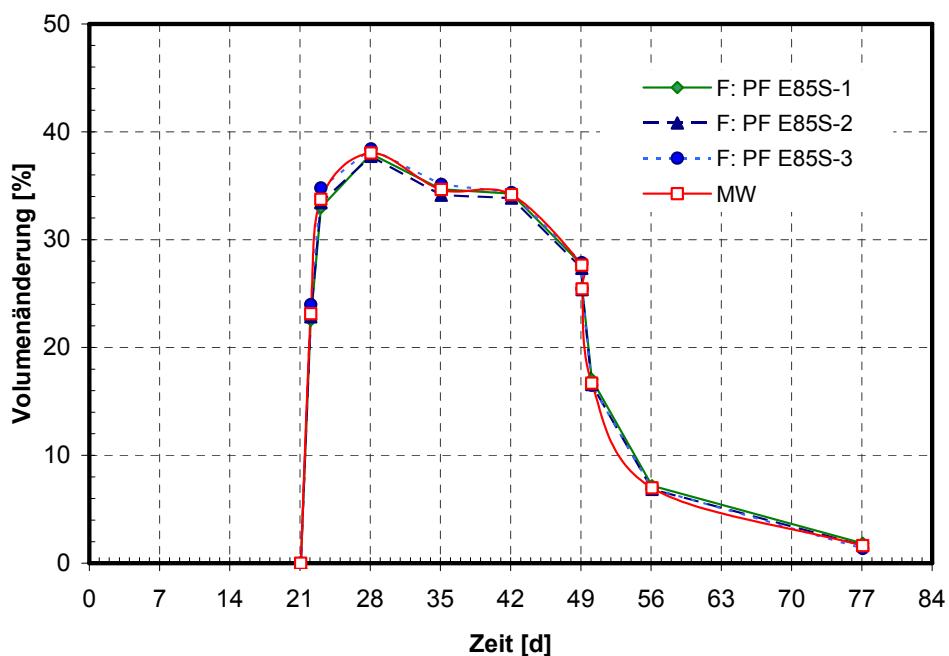


Bild 170: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E85S, Volumenänderung

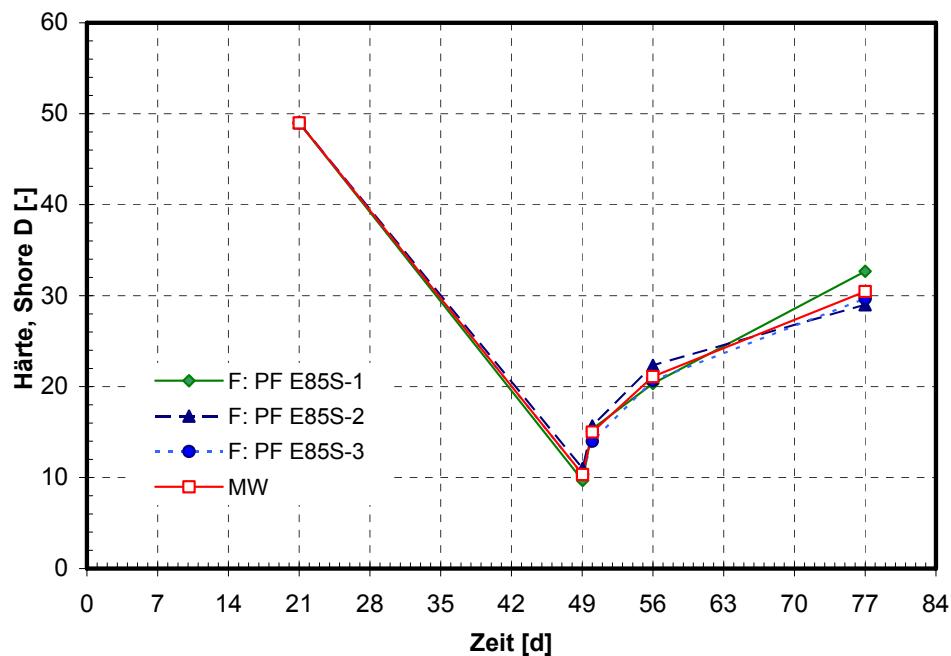


Bild 171: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E85S, Härteänderung (Shore-Einheiten)

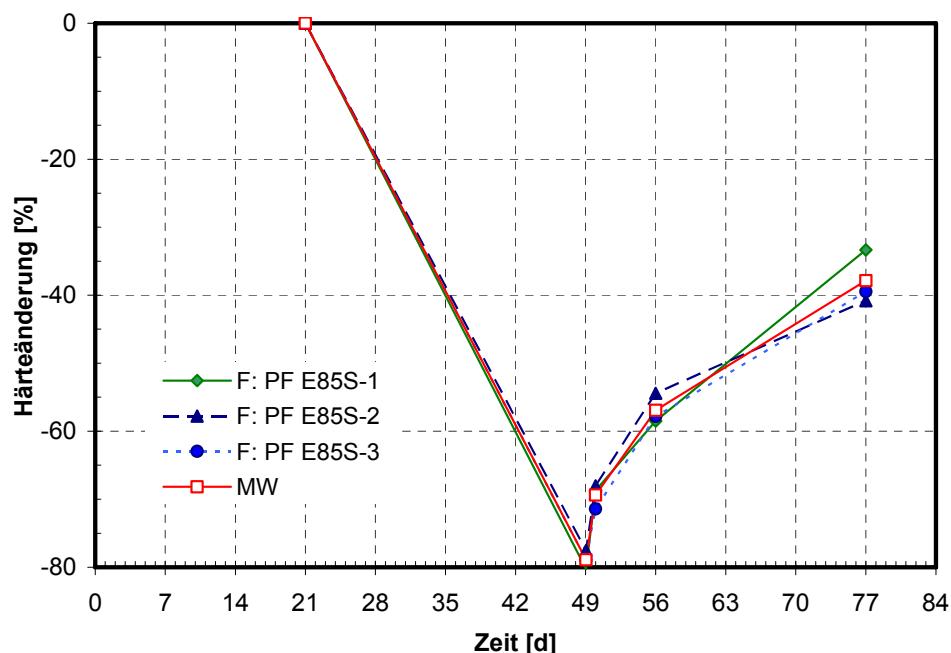


Bild 172: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E85S, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

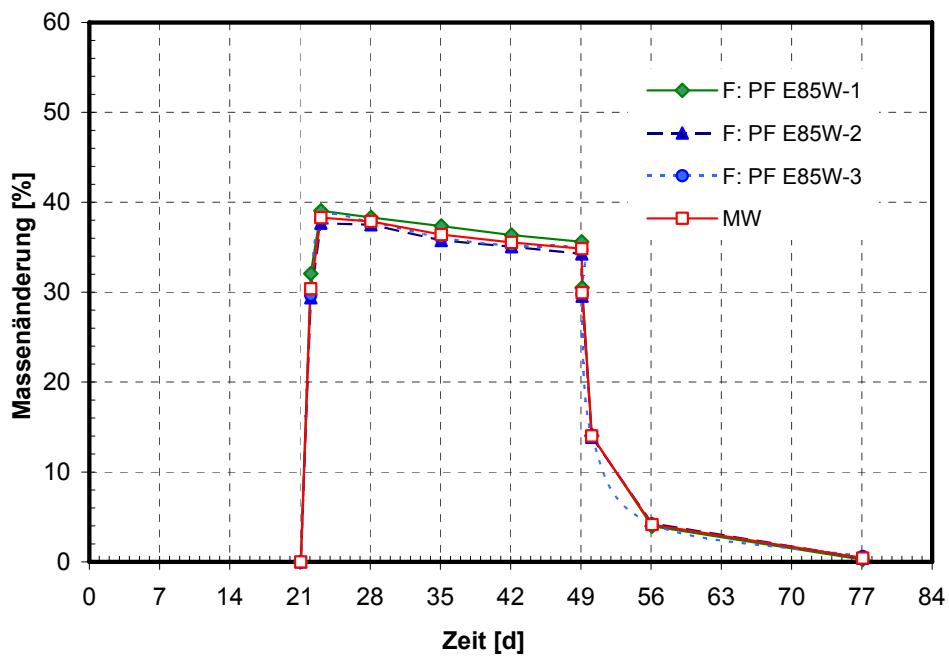


Bild 173: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E85W, Masseänderung

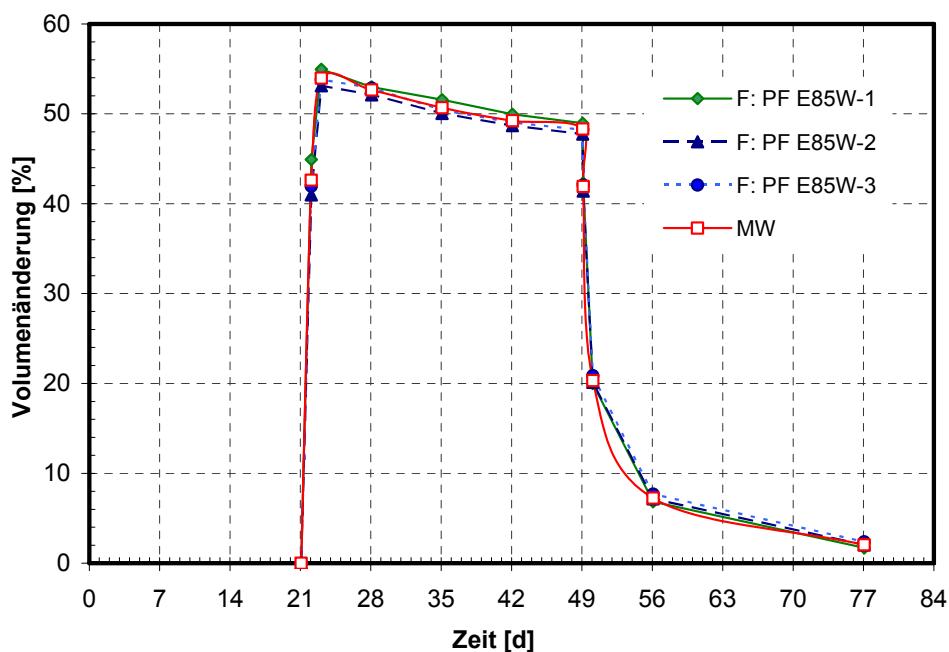


Bild 174: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E85W, Volumenänderung

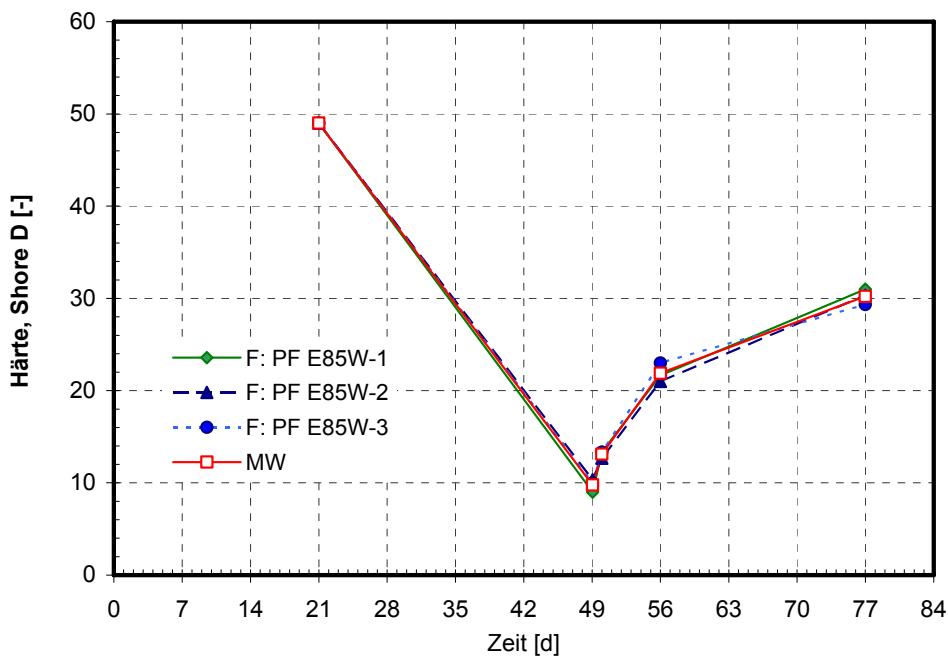


Bild 175: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E85W, Härteänderung (Shore-Einheiten)

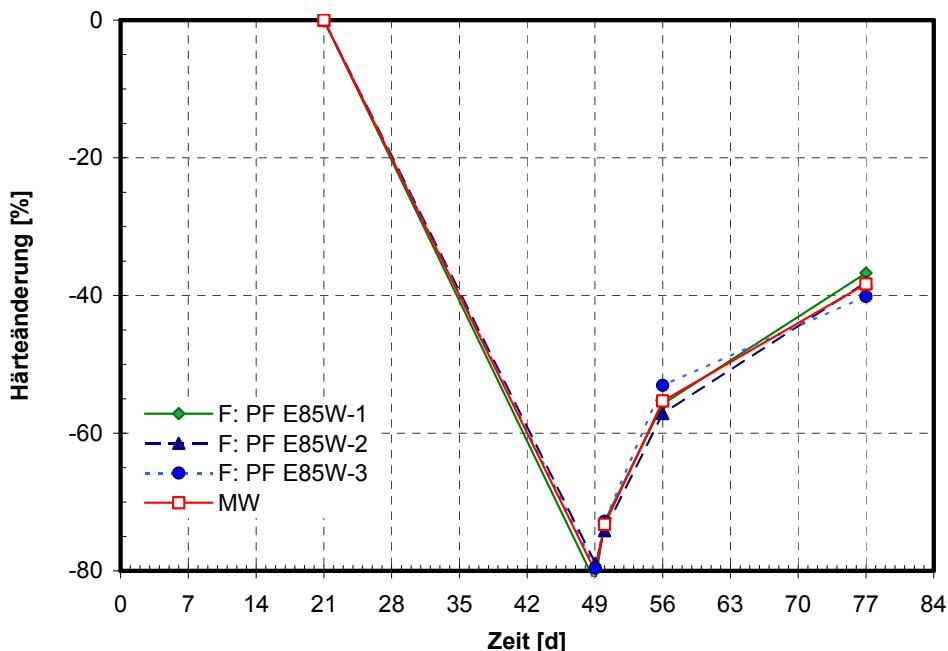


Bild 176: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E85W, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

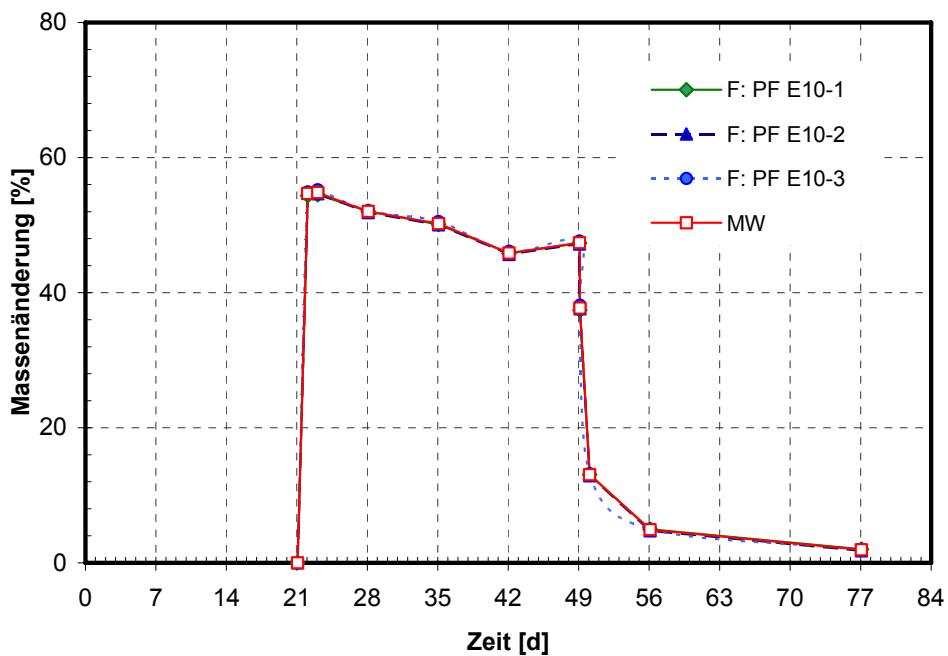


Bild 177: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E10, Masseänderung

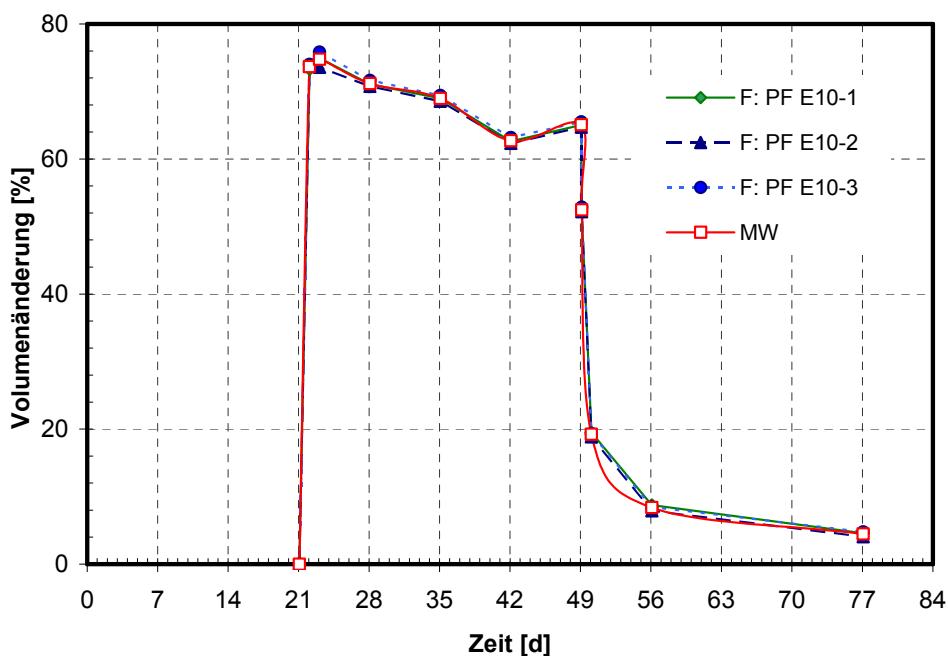


Bild 178: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E10, Volumenänderung

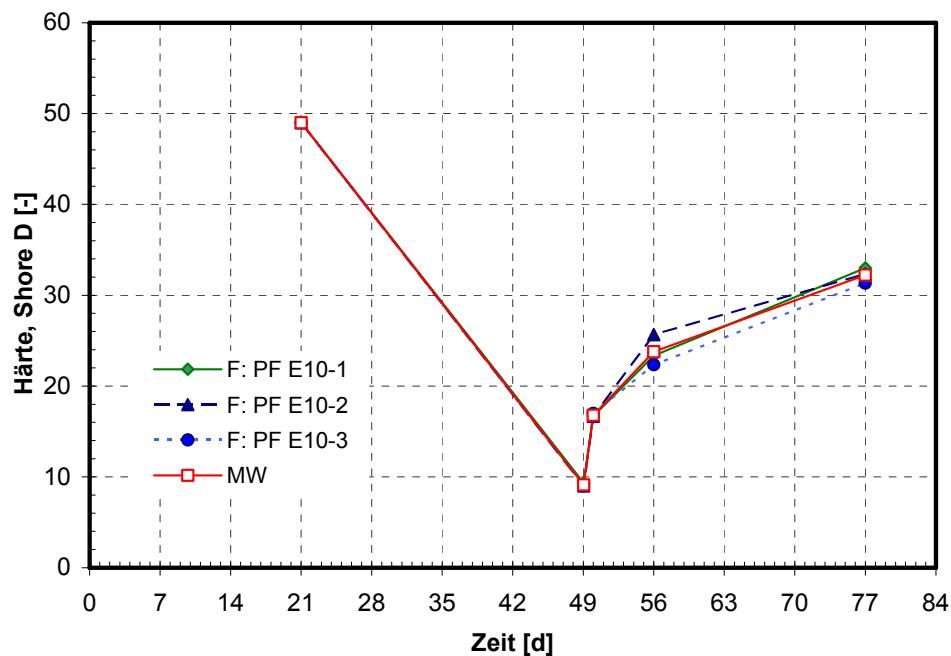


Bild 179: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E10, Härteänderung (Shore-Einheiten)

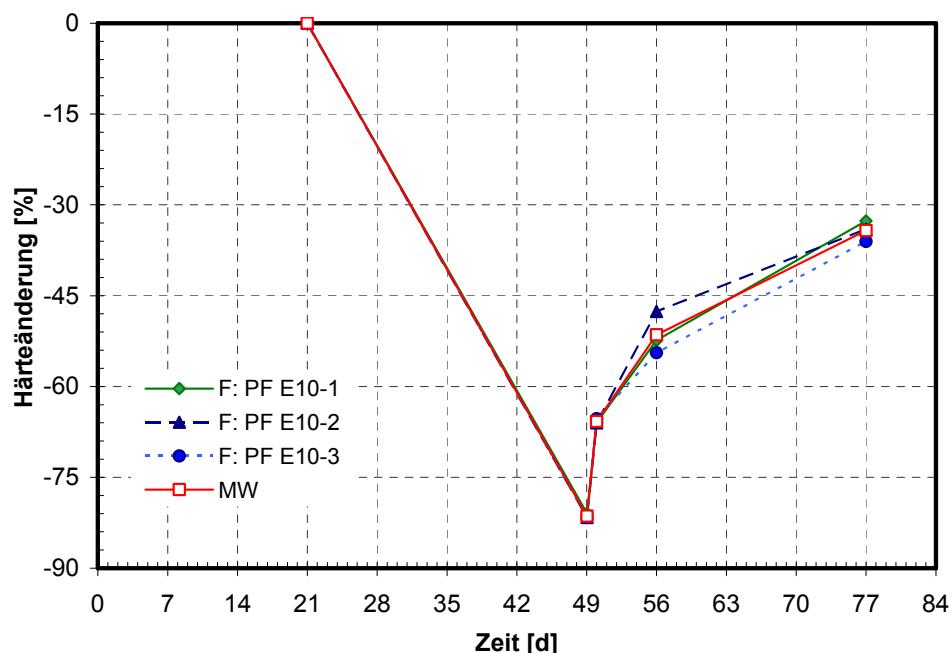


Bild 180: PUR-Beschichtung, Einlagerung in PF E10, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

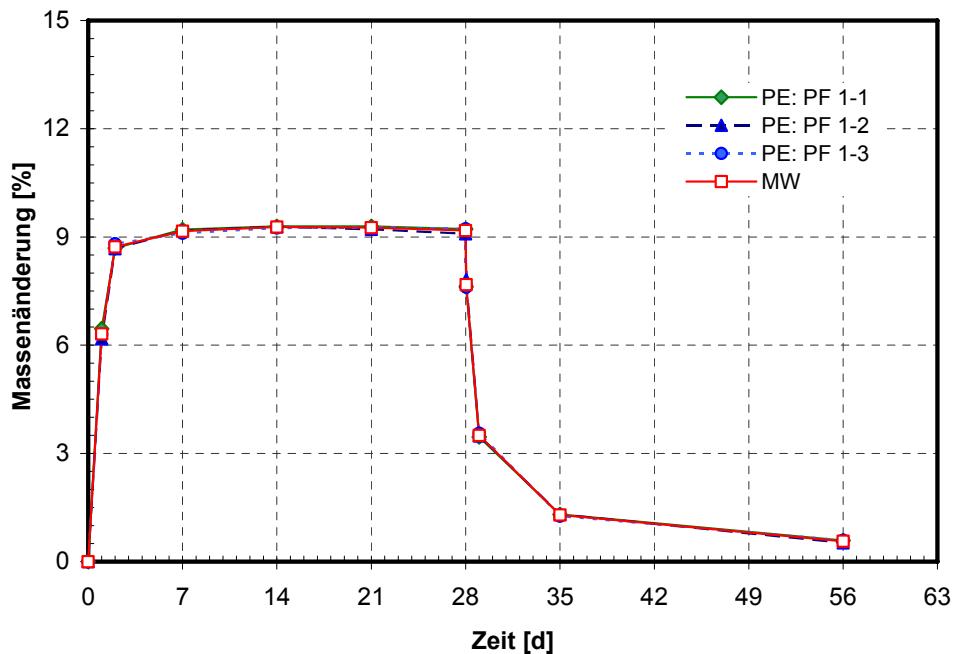


Bild 1: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1, Masseänderung

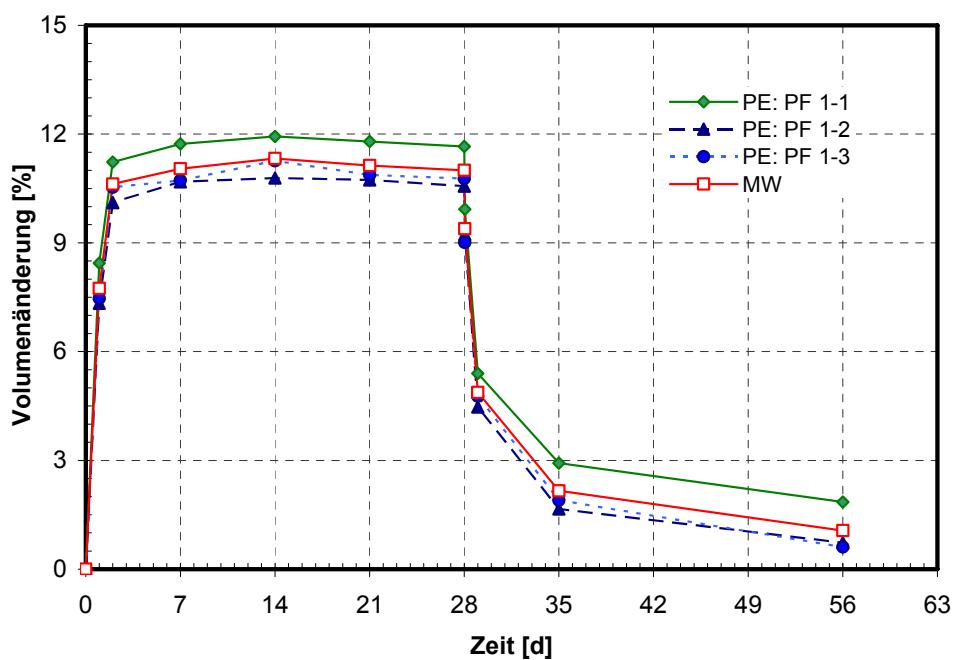


Bild 2: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1, Volumenänderung

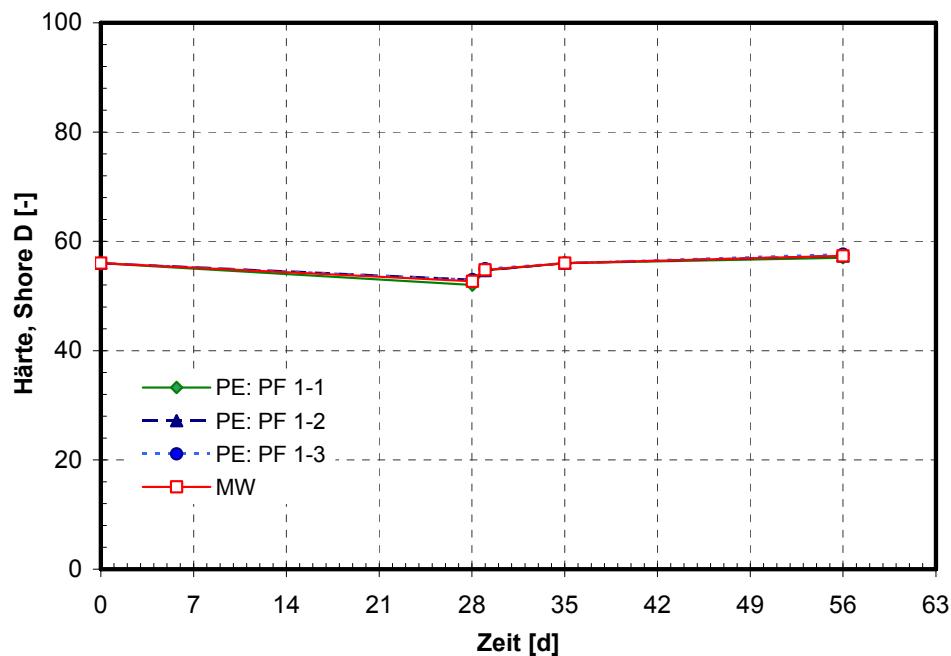


Bild 3: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1, Härteänderung (Shore-Einheiten)

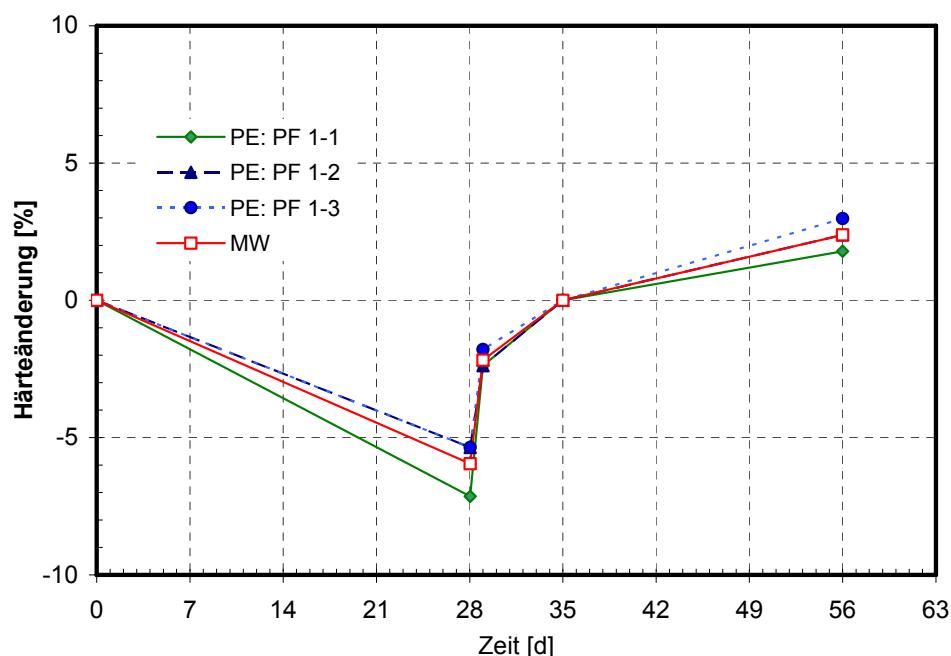


Bild 4: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

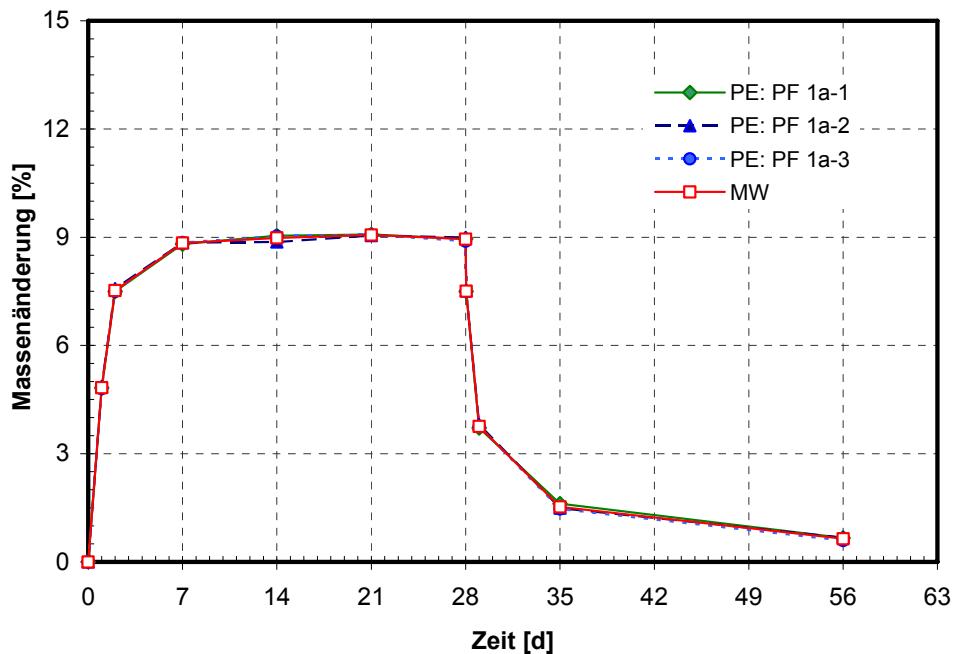


Bild 5: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1a, Masseänderung

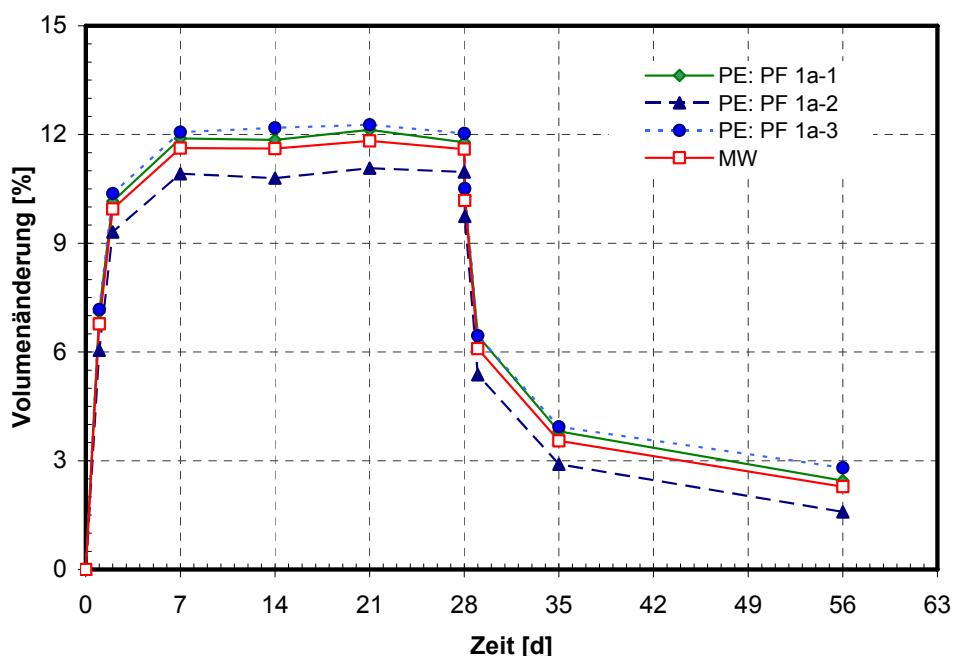


Bild 6: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1a, Volumenänderung

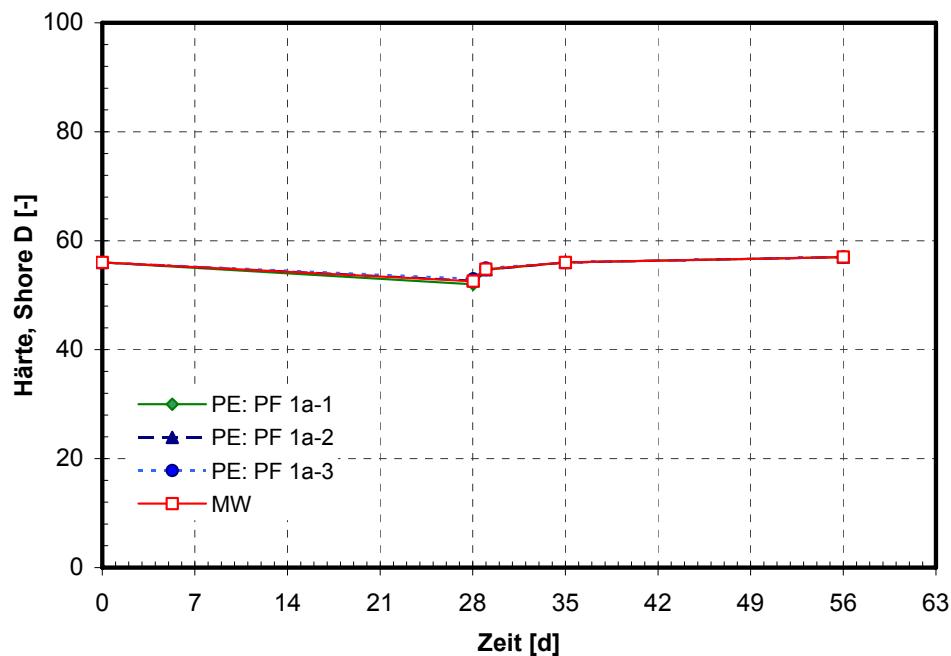


Bild 7: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1a, Härteänderung (Shore-Einheiten)

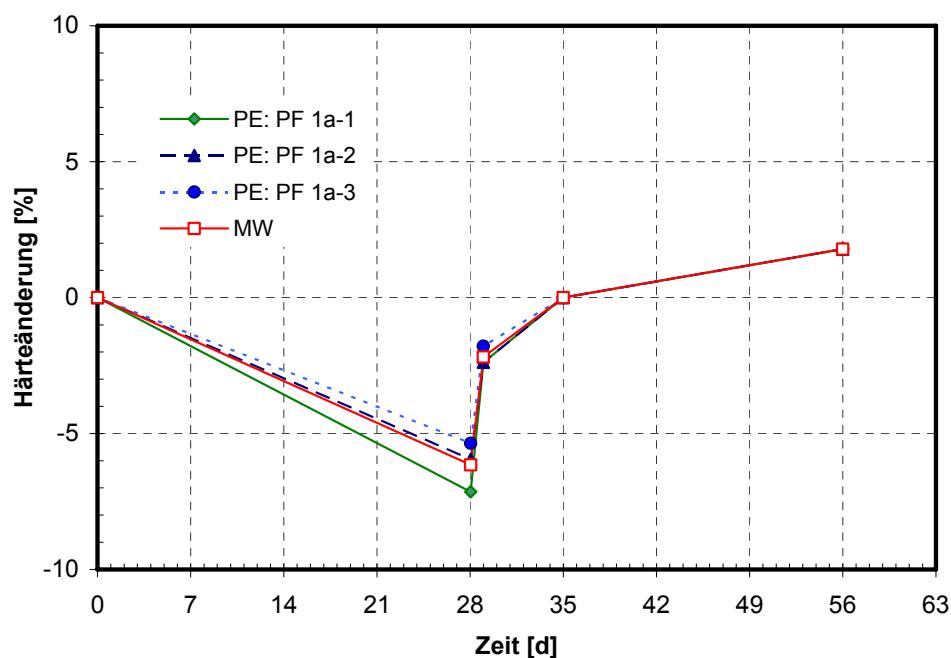


Bild 8: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1a, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

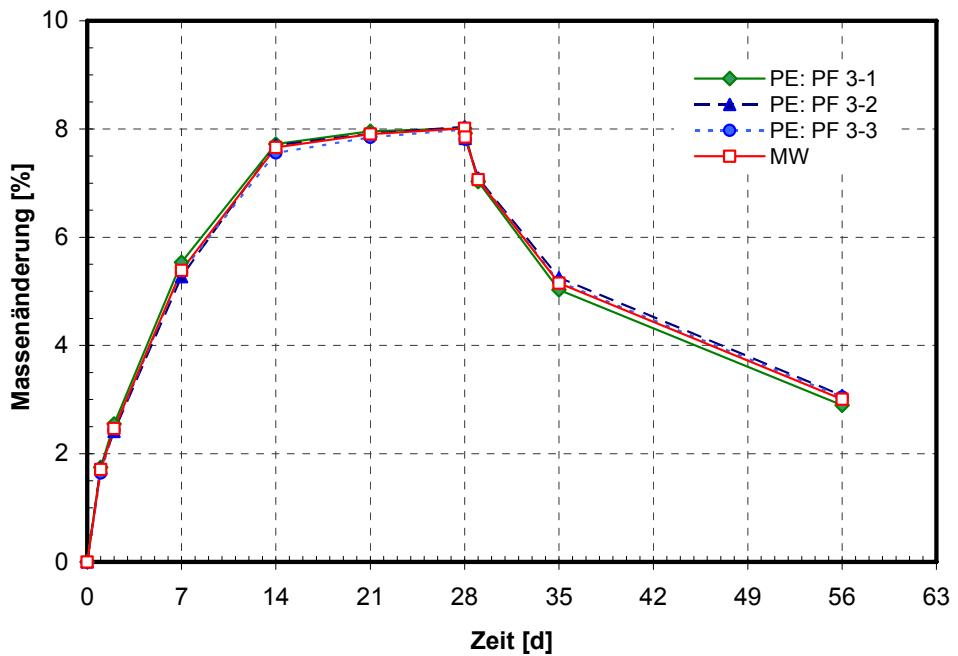


Bild 9: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 3, Masseänderung

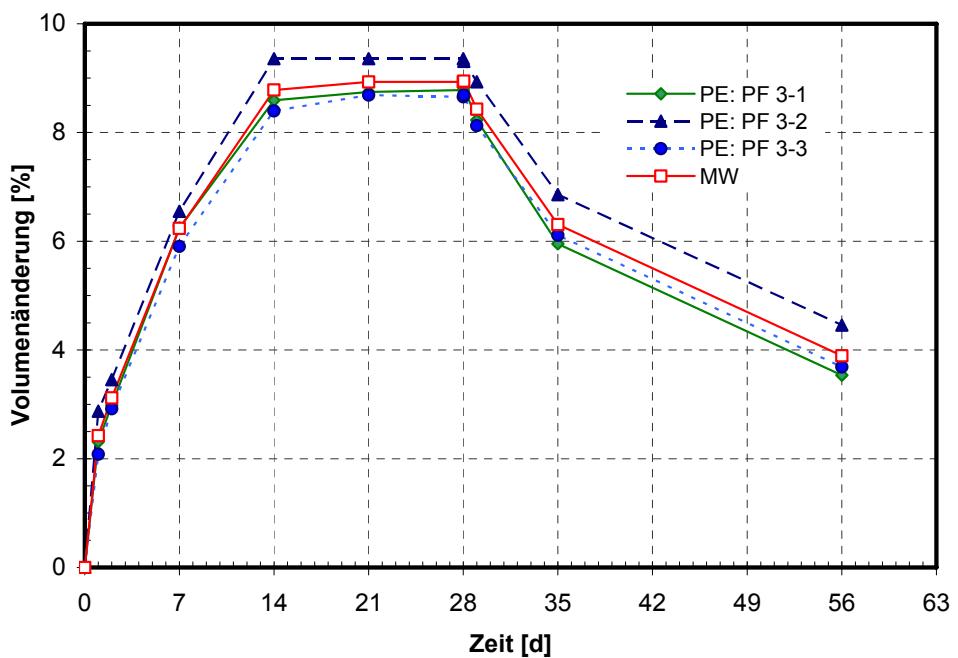


Bild 10: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 3, Volumenänderung

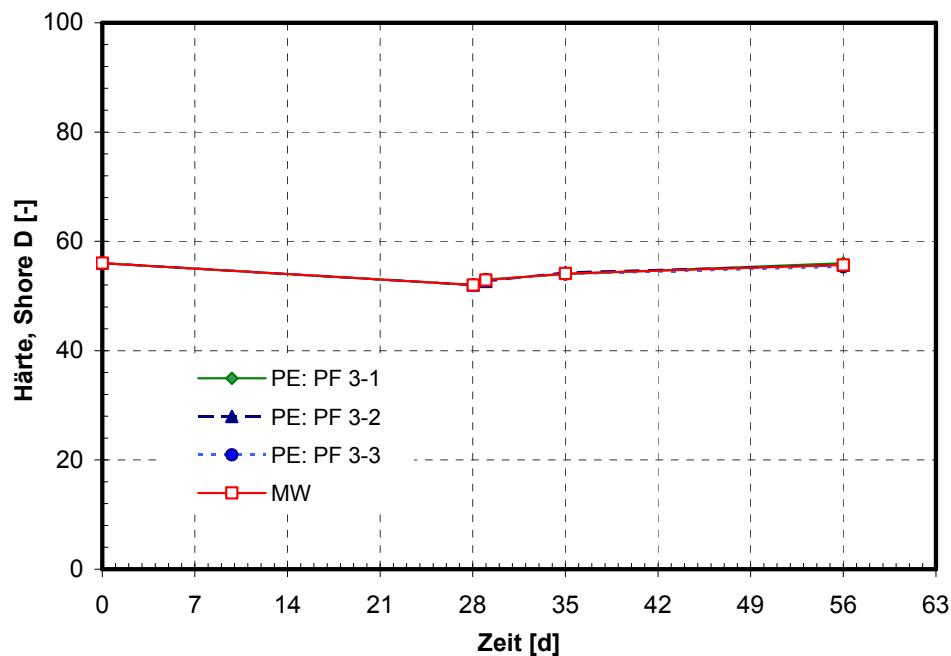


Bild 11: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 3, Härteänderung (Shore-Einheiten)

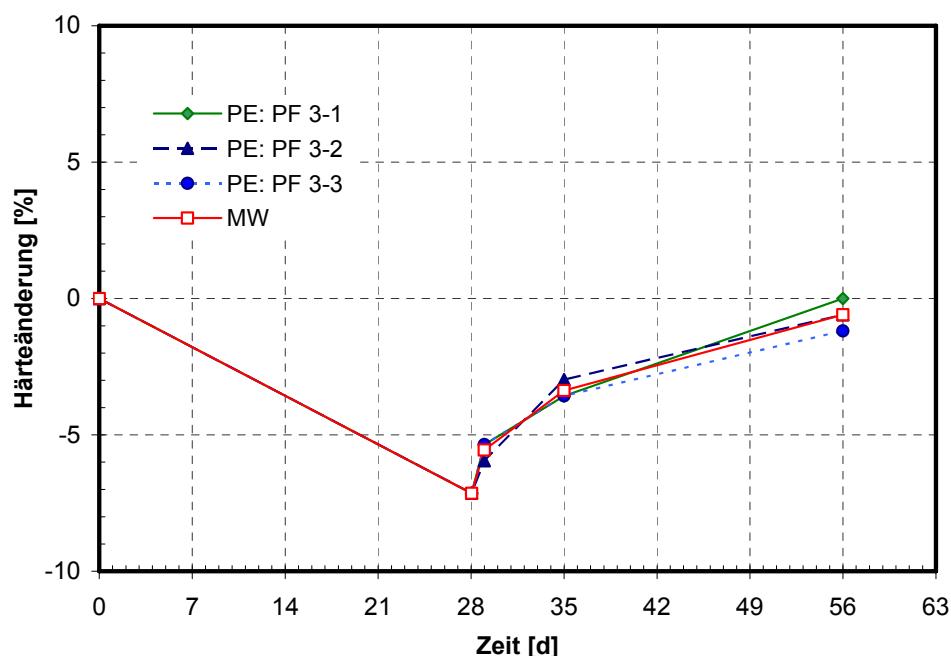


Bild 12: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 3, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

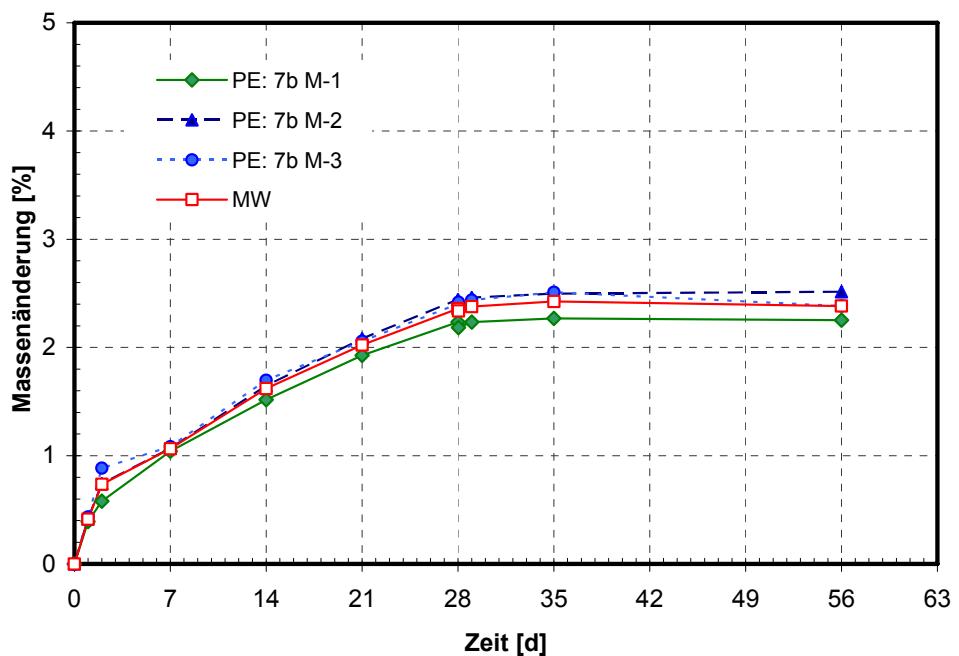


Bild 13: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b M, Masseänderung

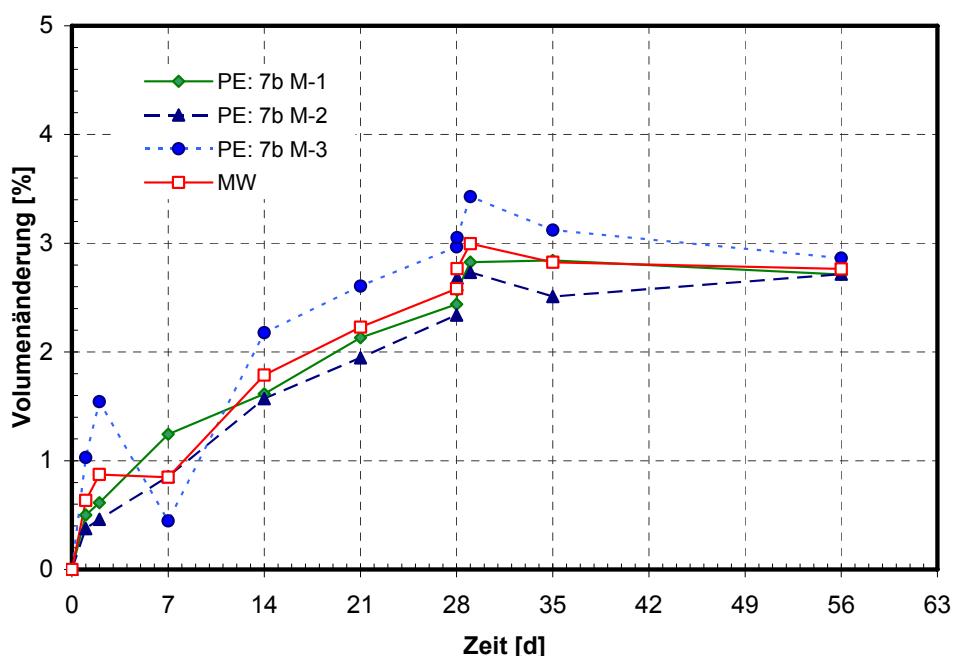


Bild 14: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b M, Volumenänderung

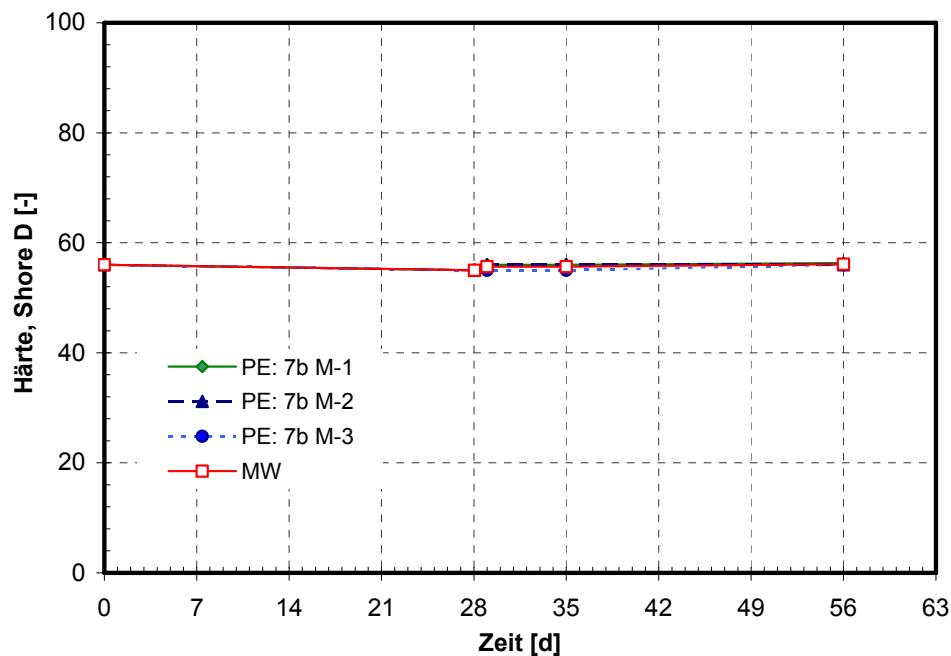


Bild 15: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b M, Härteänderung (Shore-Einheiten)

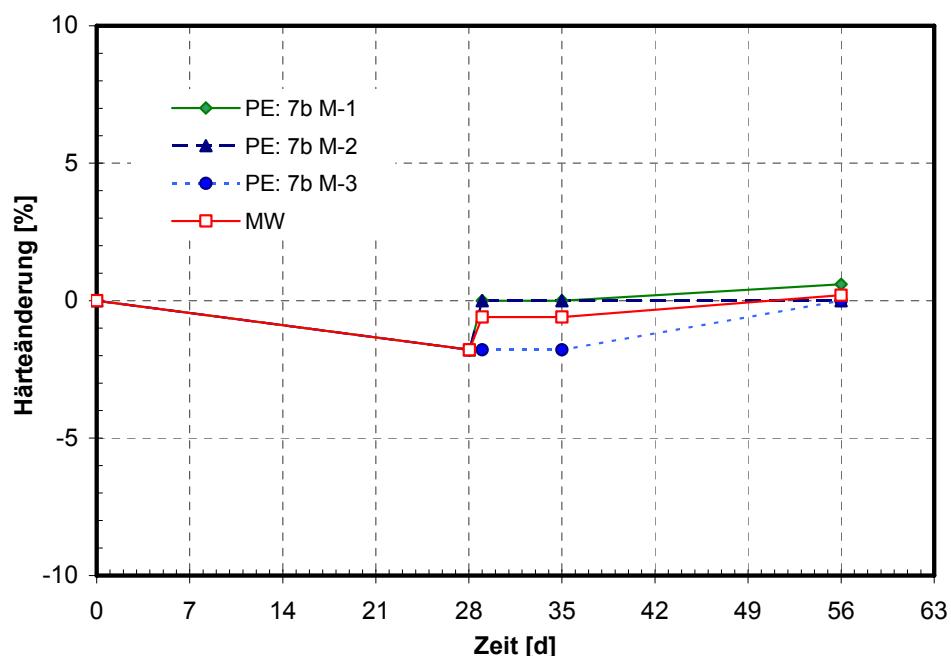


Bild 16: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b M, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

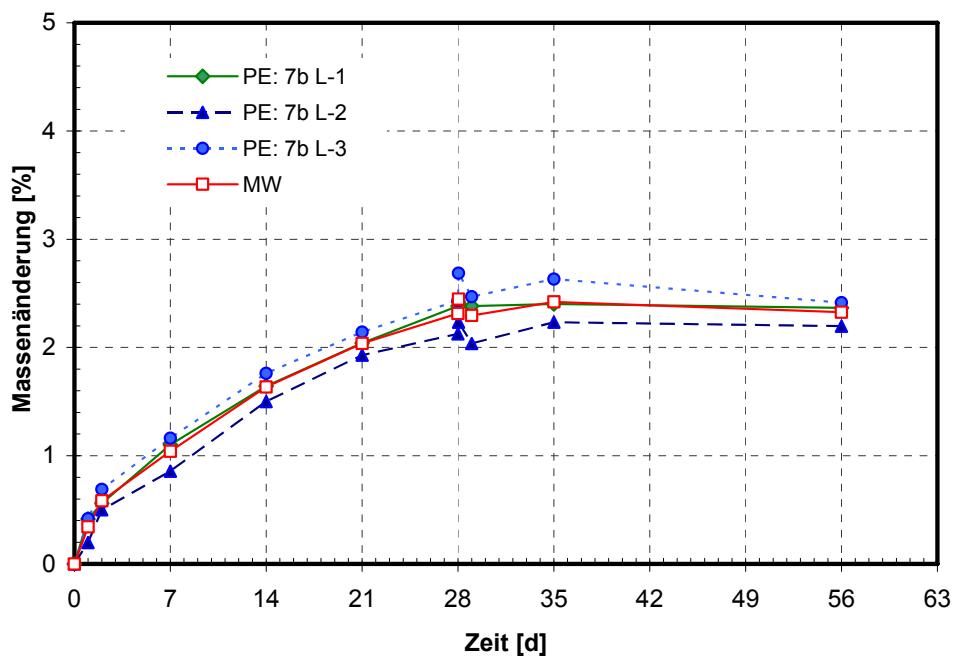


Bild 17: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b L, Masseänderung

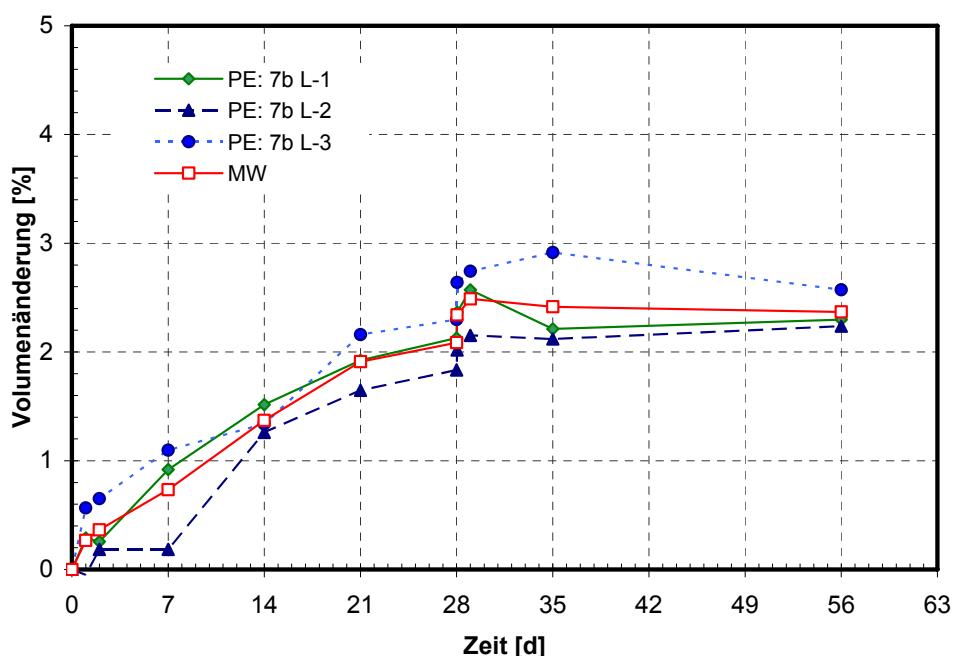


Bild 18: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b L, Volumenänderung

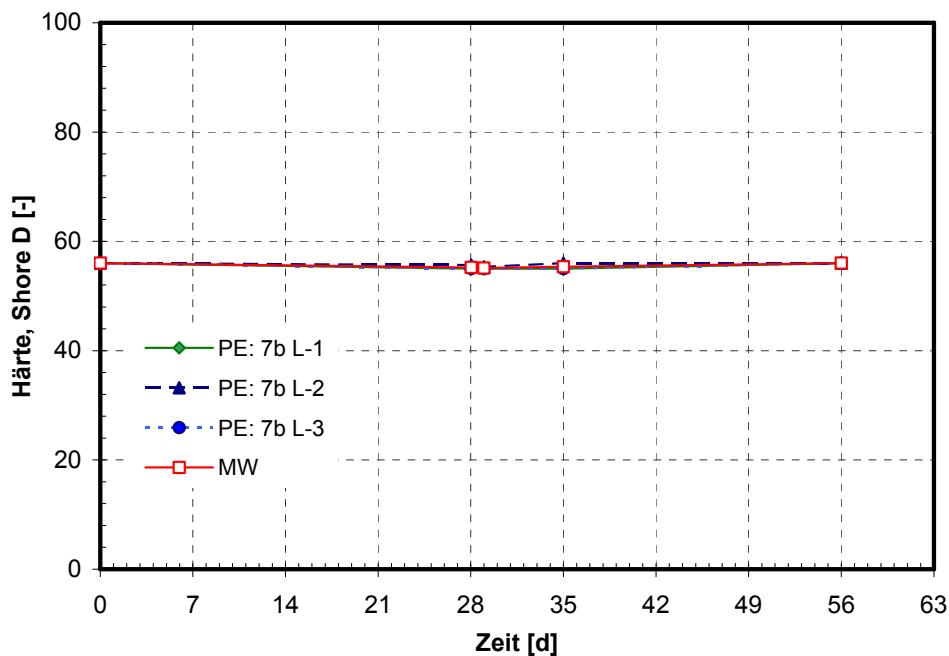


Bild 19: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b L, Härteänderung (Shore-Einheiten)

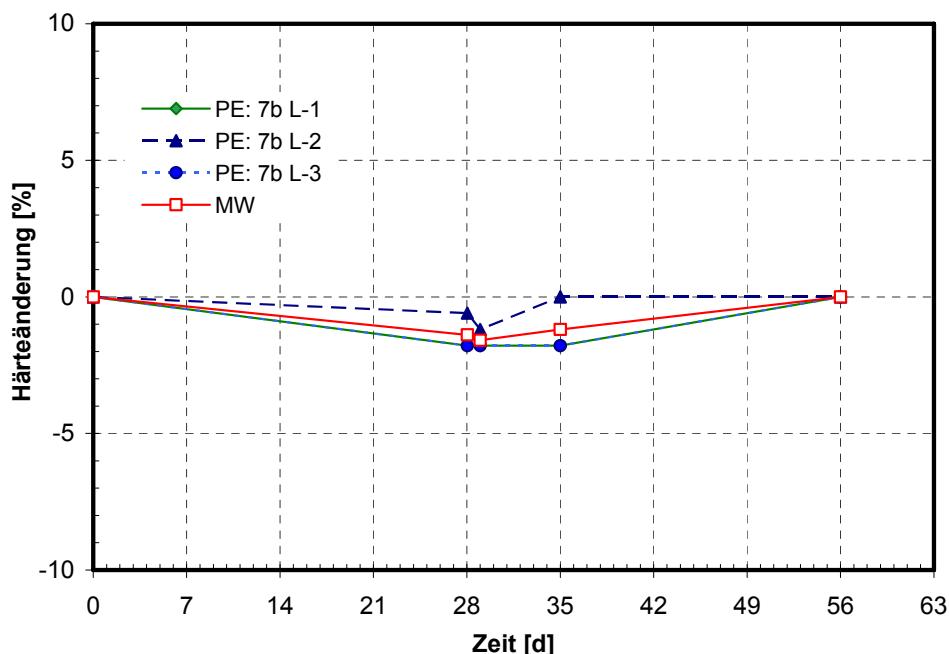


Bild 20: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 7b L, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

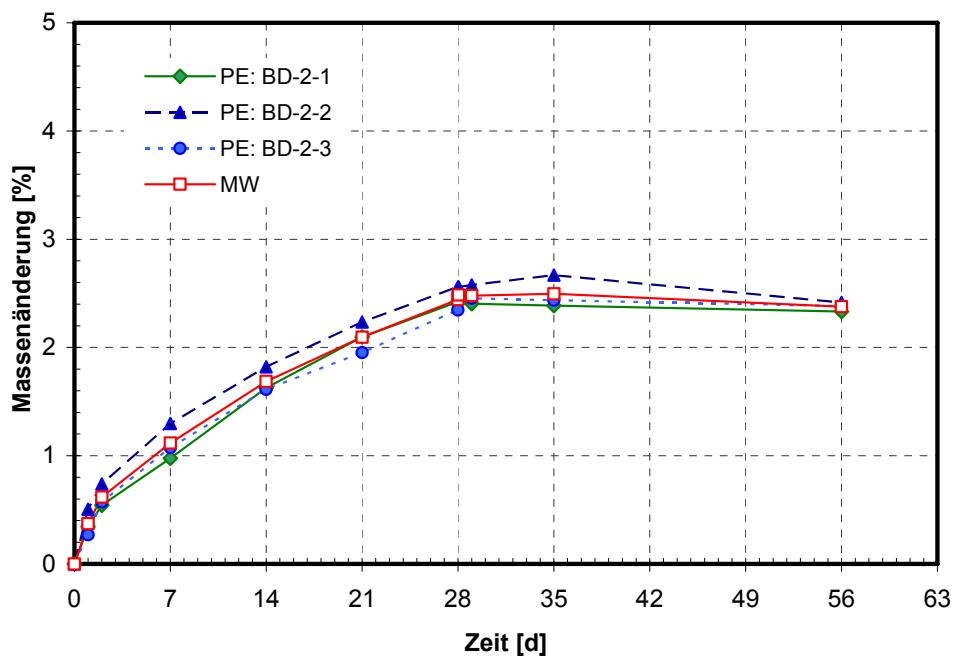


Bild 21: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in BD-2, Masseänderung

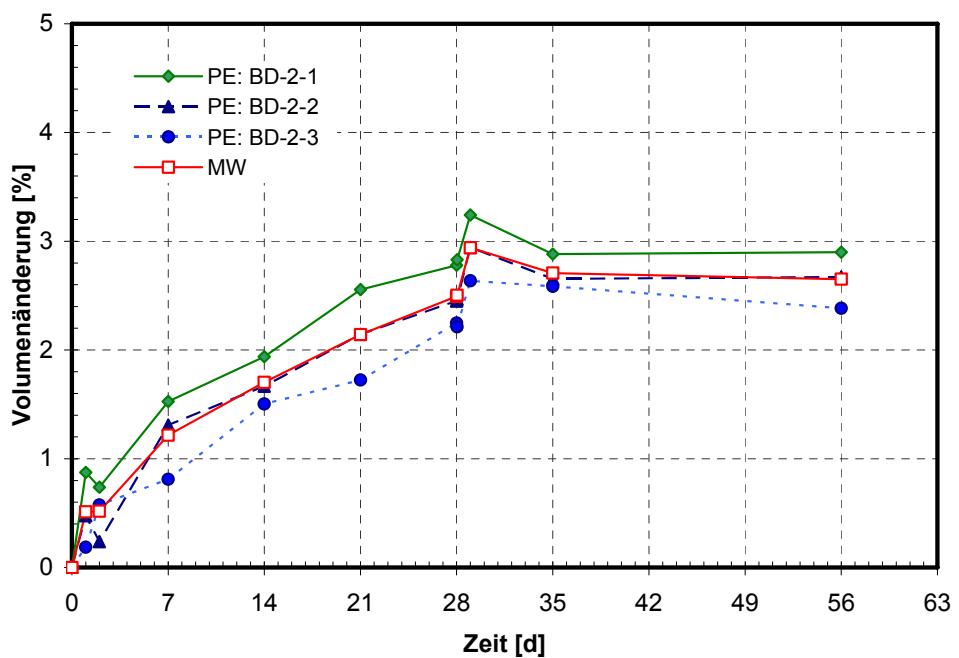


Bild 22: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in BD-2, Volumenänderung

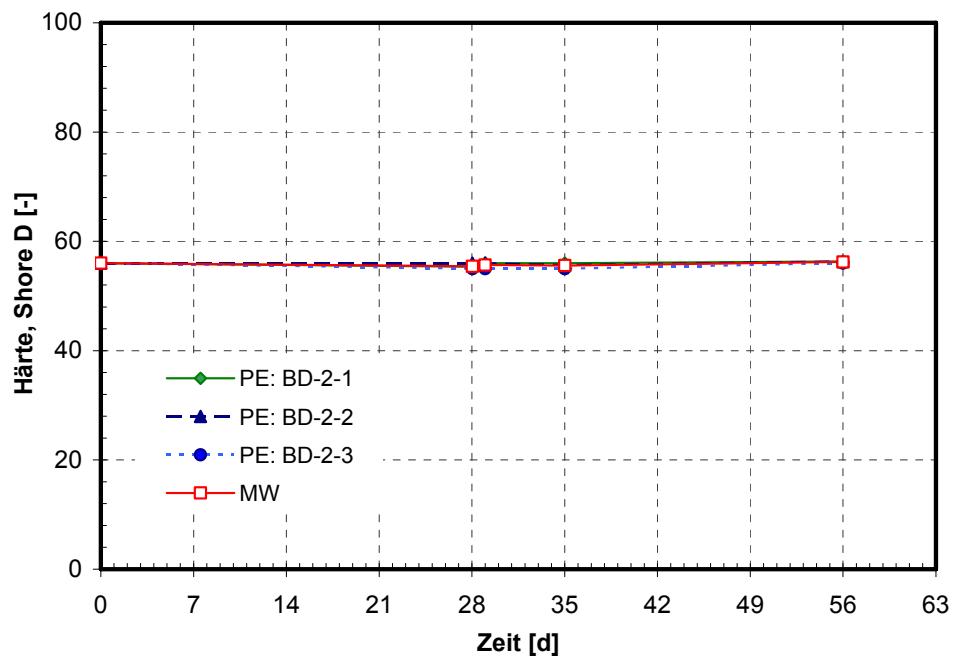


Bild 23: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in BD-2, Härteänderung (Shore-Einheiten)

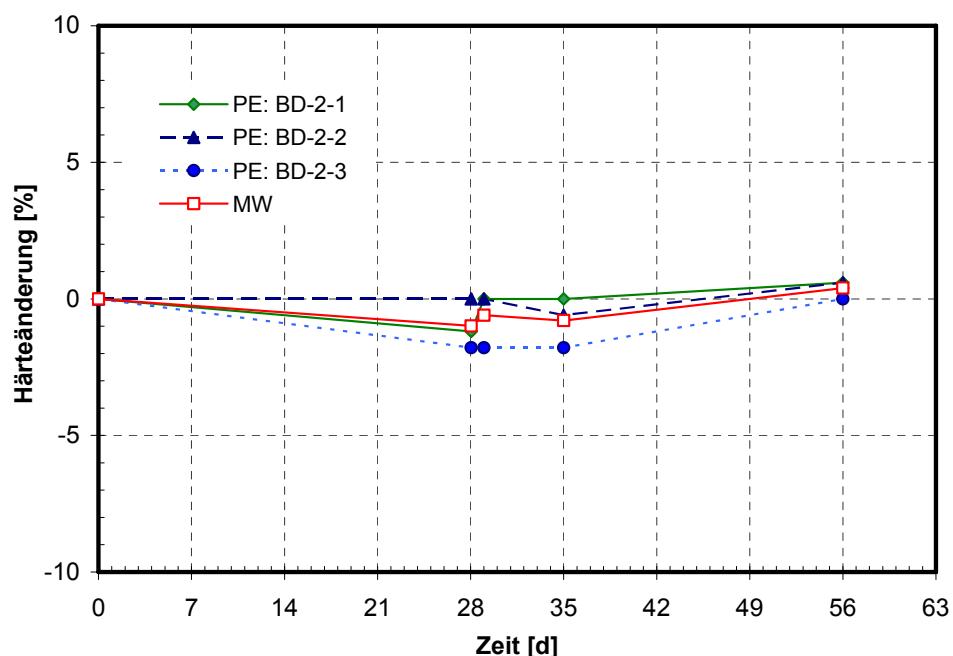


Bild 24: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in BD-2, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

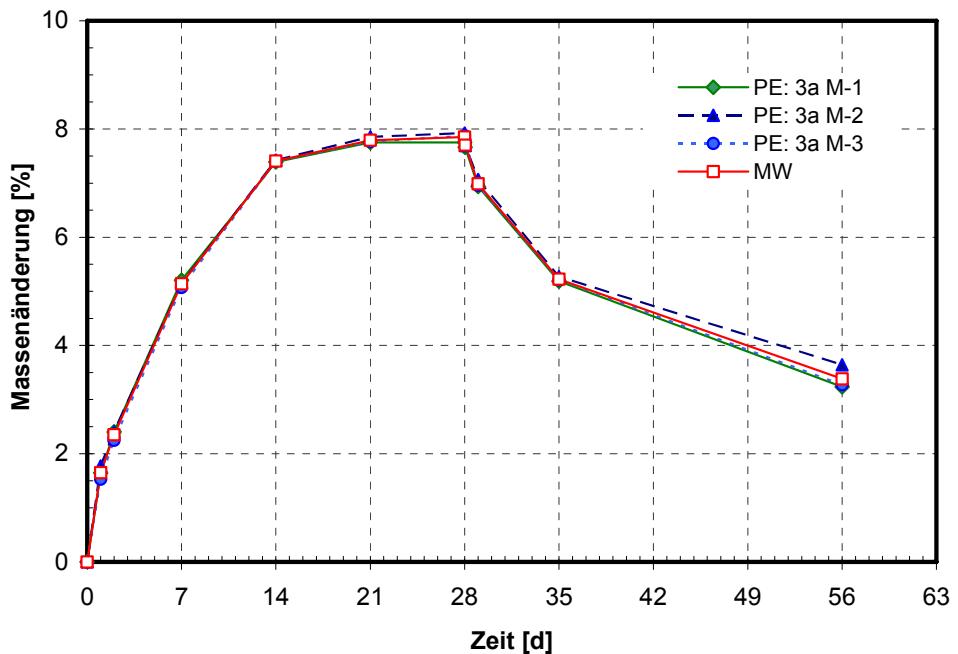


Bild 25: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a M, Masseänderung

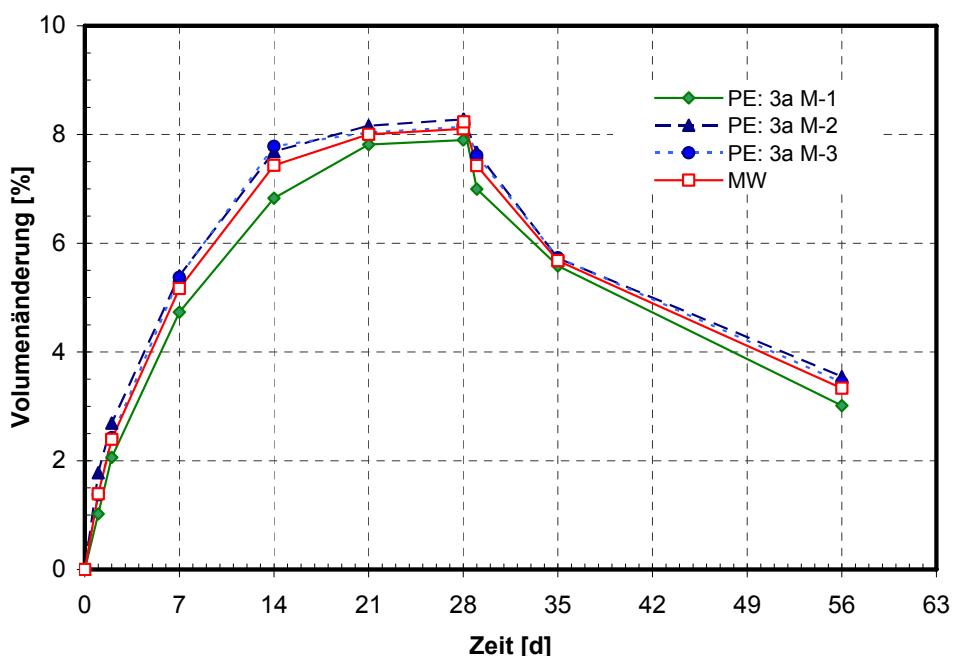


Bild 26: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a M, Volumenänderung

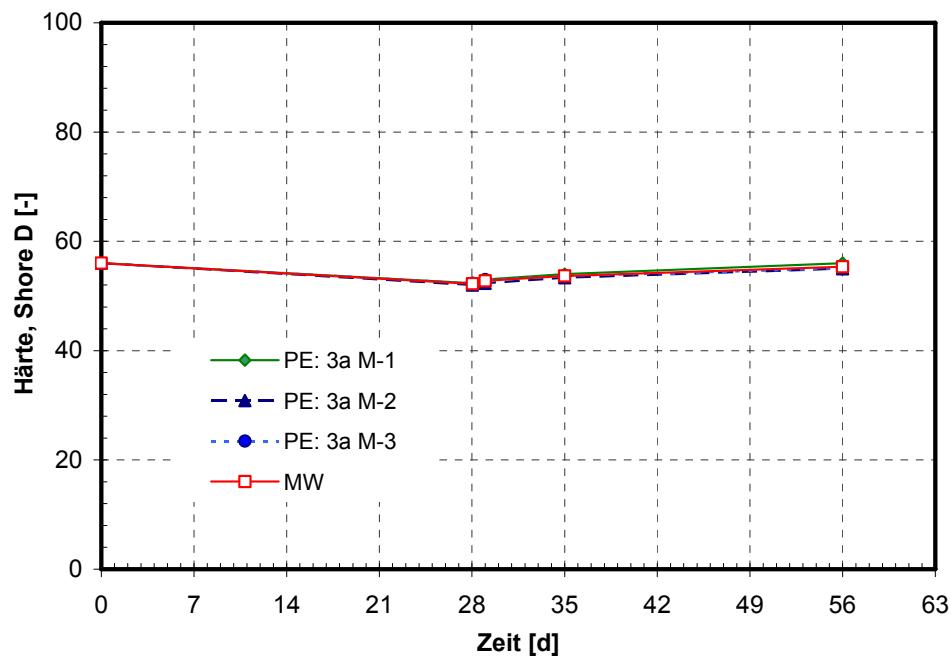


Bild 27: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a M, Härteänderung (Shore-Einheiten)

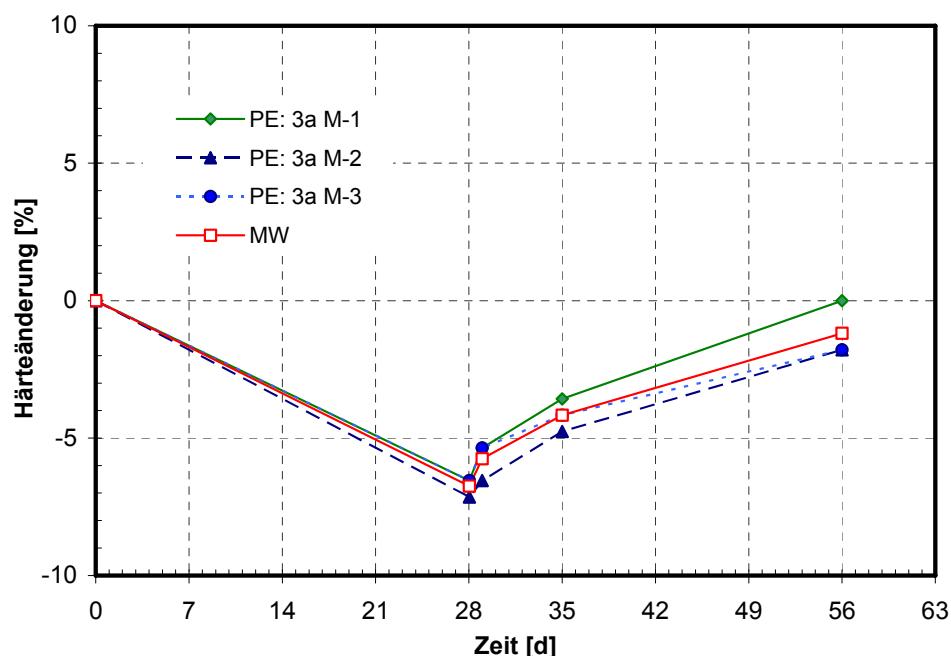


Bild 28: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a M, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

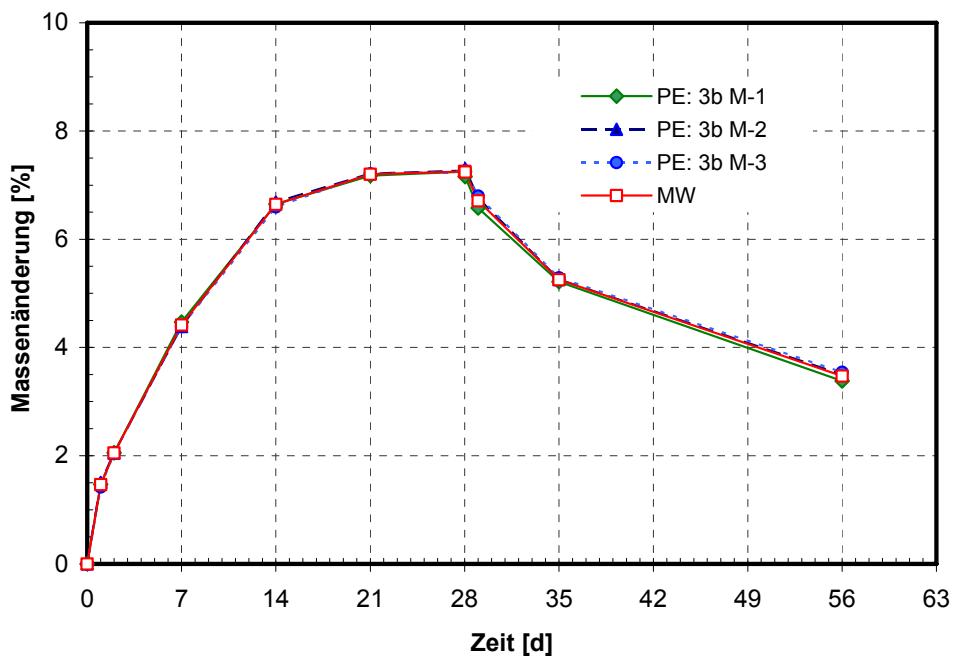


Bild 29: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b M, Masseänderung

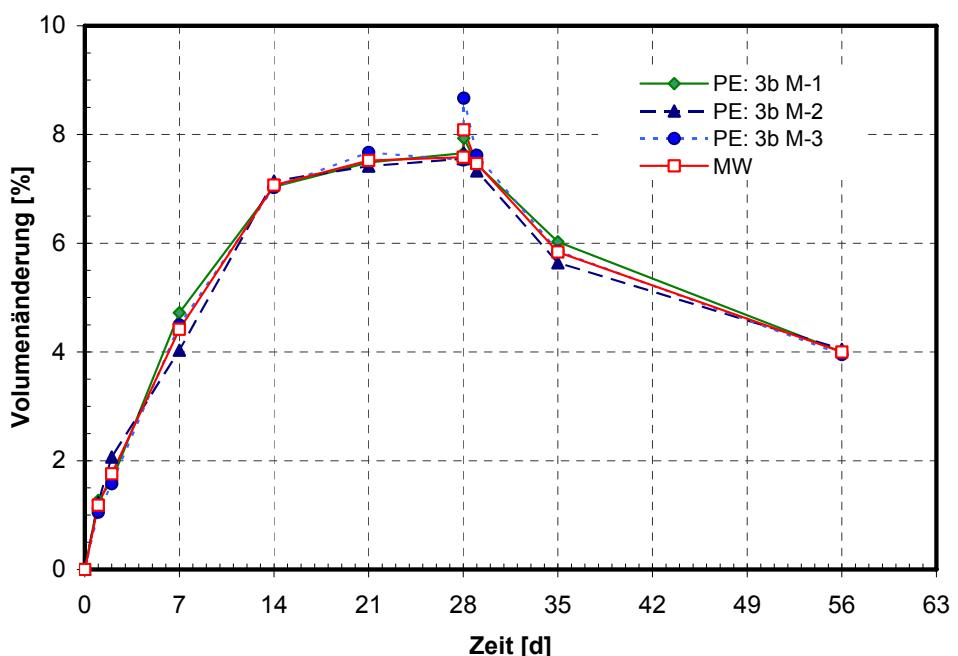


Bild 30: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b M, Volumenänderung

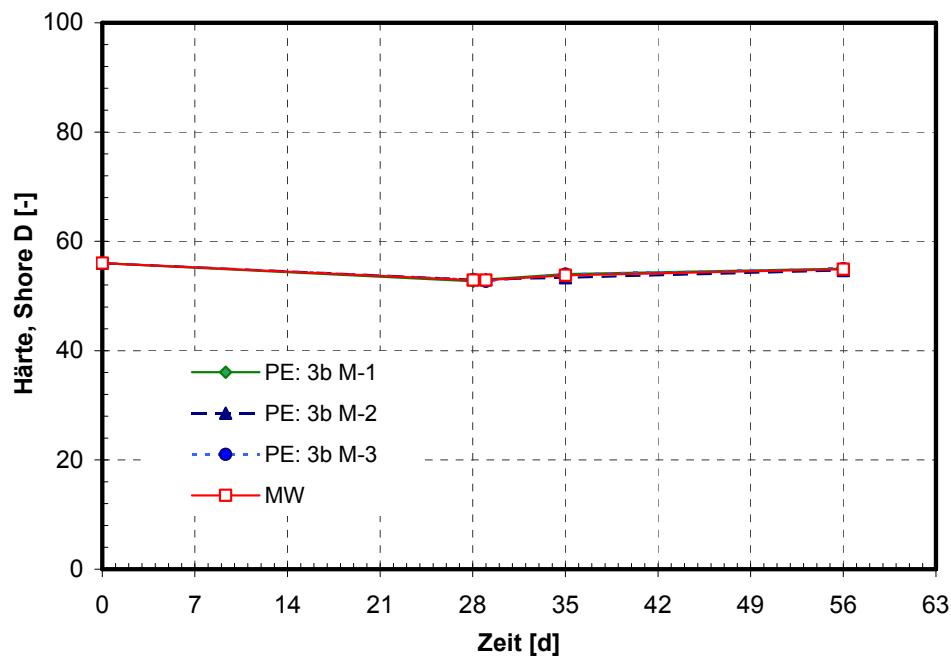


Bild 31: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b M, Härteänderung (Shore-Einheiten)

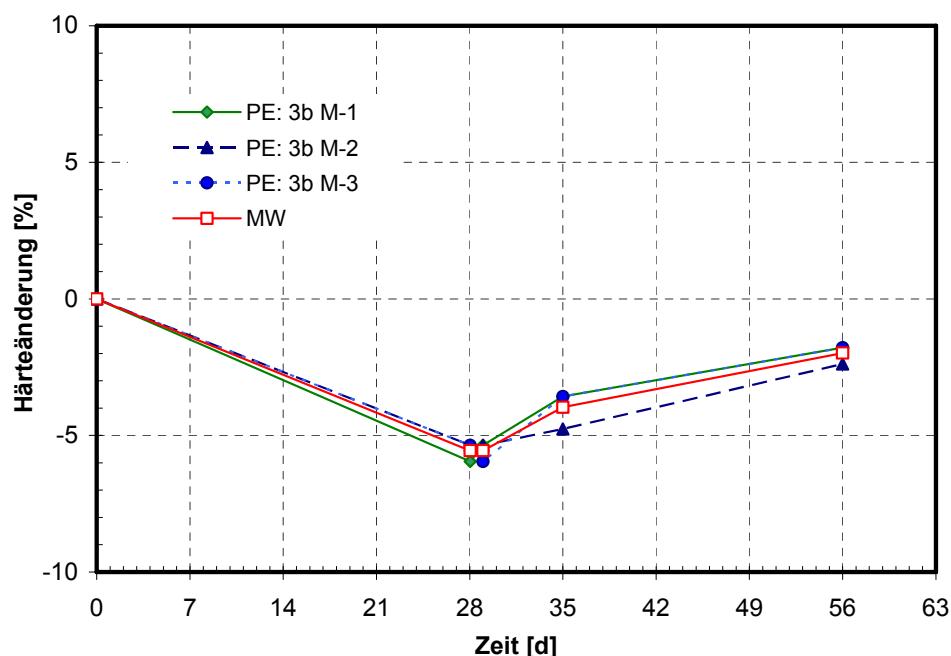


Bild 32: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b M, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

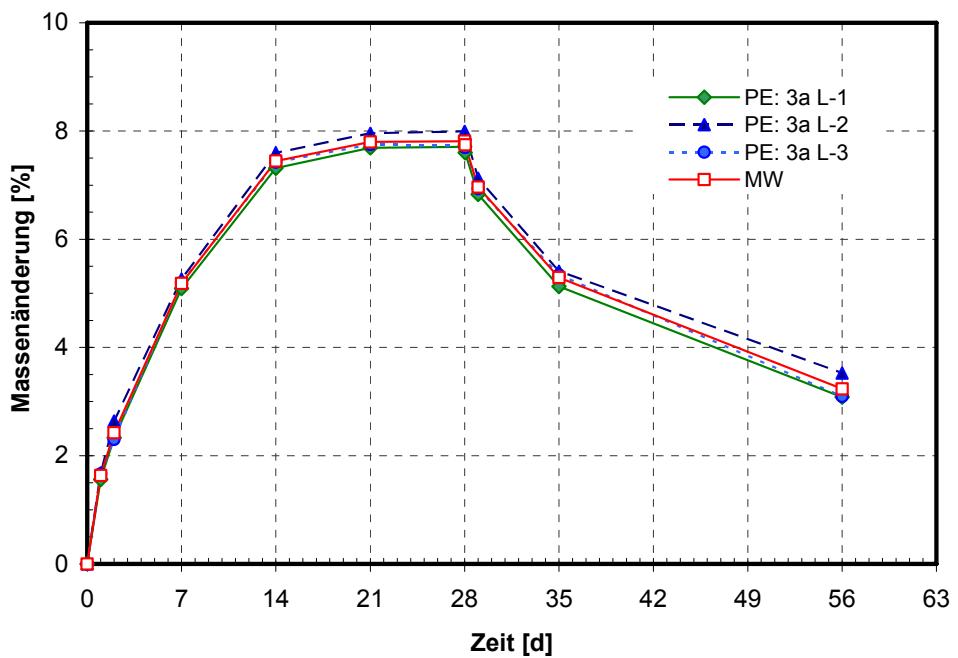


Bild 33: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a L, Masseänderung

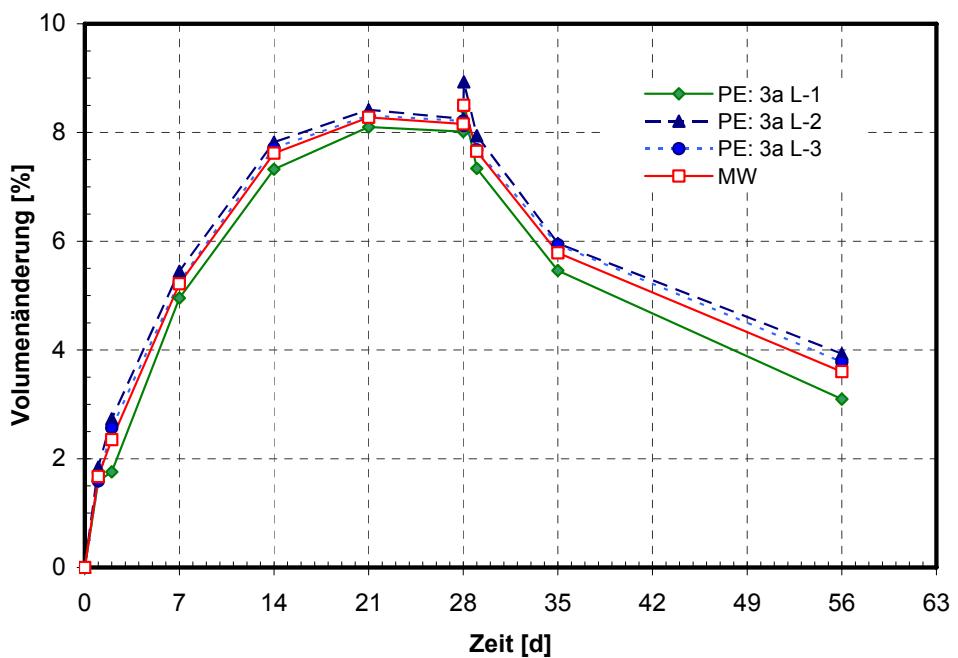


Bild 34: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a L, Volumenänderung

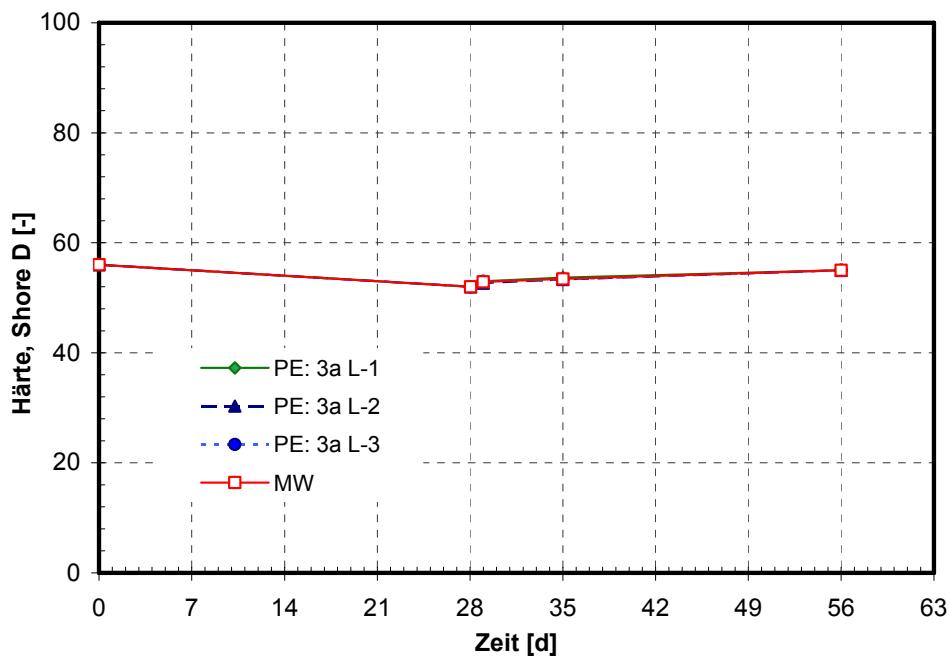


Bild 35: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a L, Härteänderung (Shore-Einheiten)

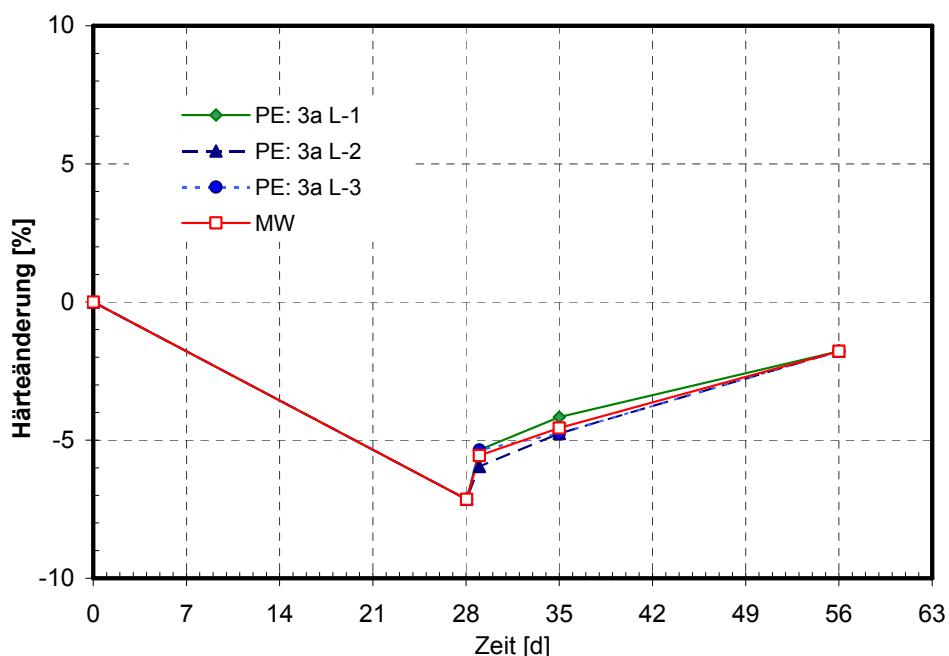


Bild 36: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a L, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

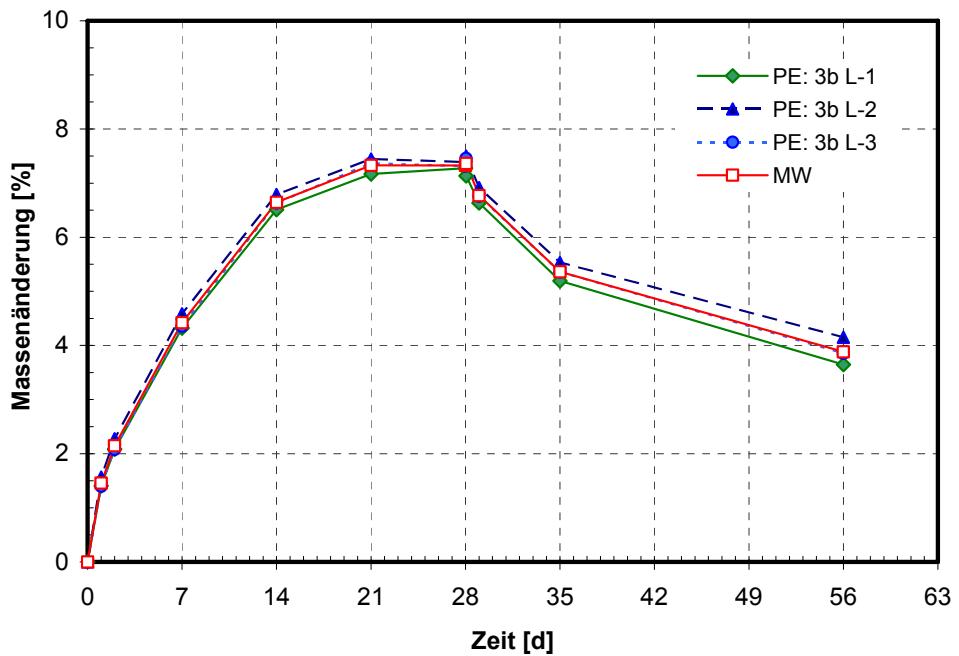


Bild 37: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b L, Masseänderung

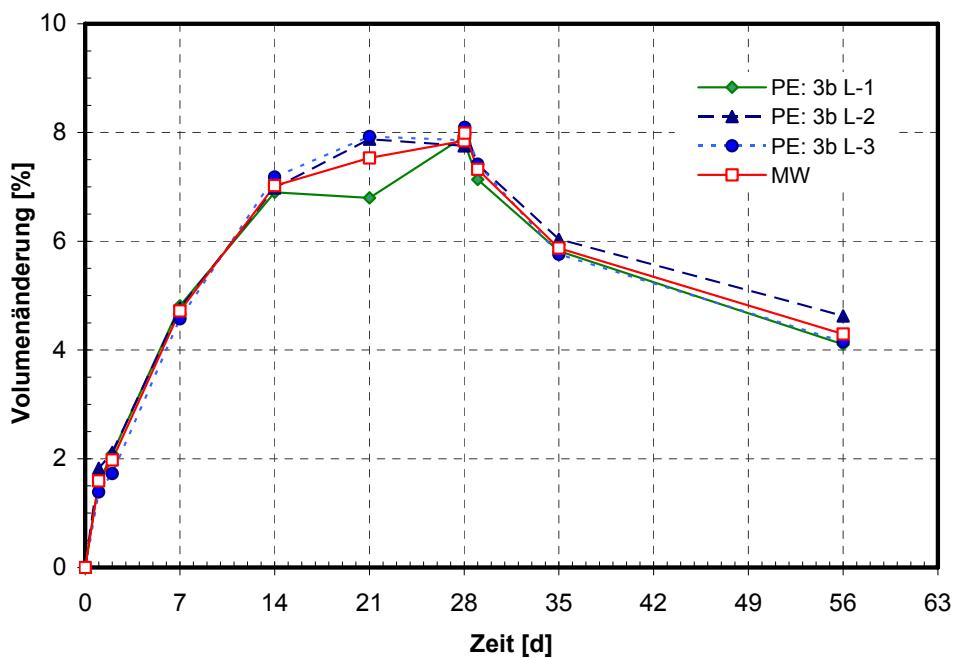


Bild 38: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b L, Volumenänderung

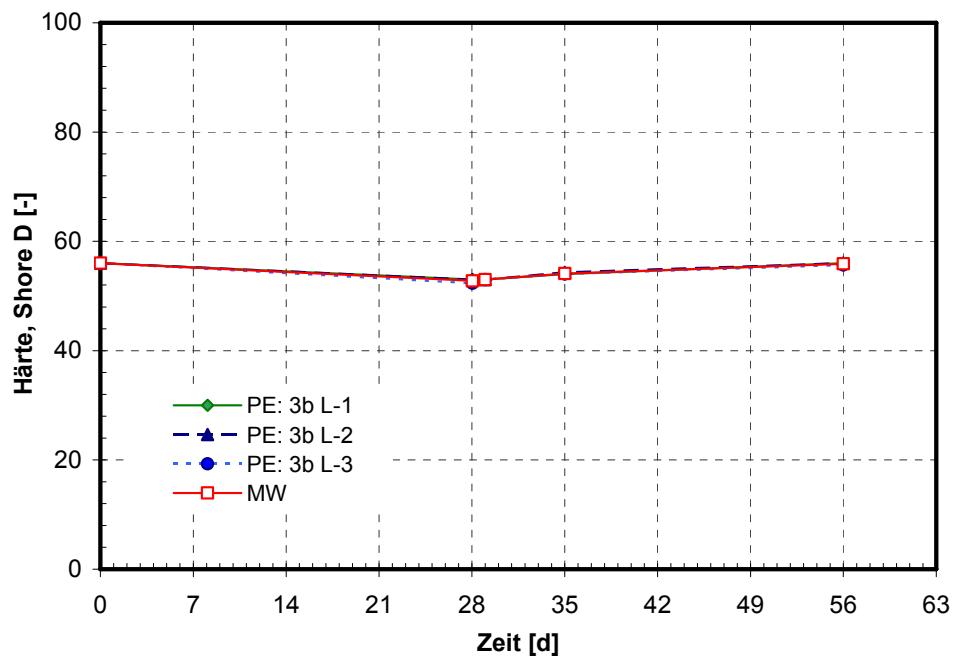


Bild 39: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b L, Härteänderung (Shore-Einheiten)

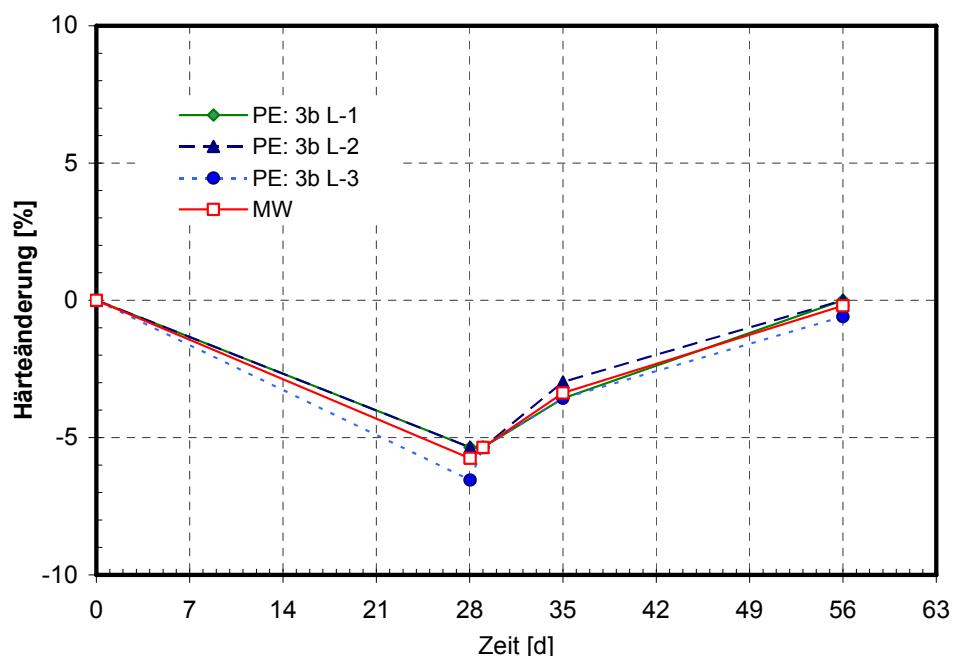


Bild 40: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b L, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

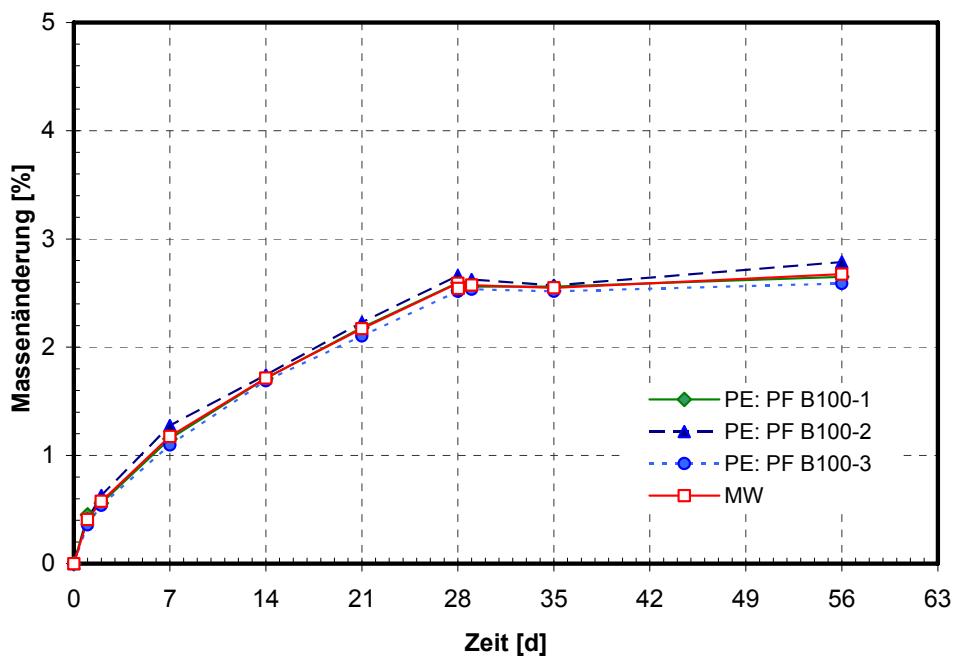


Bild 41: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF B100, Masseänderung

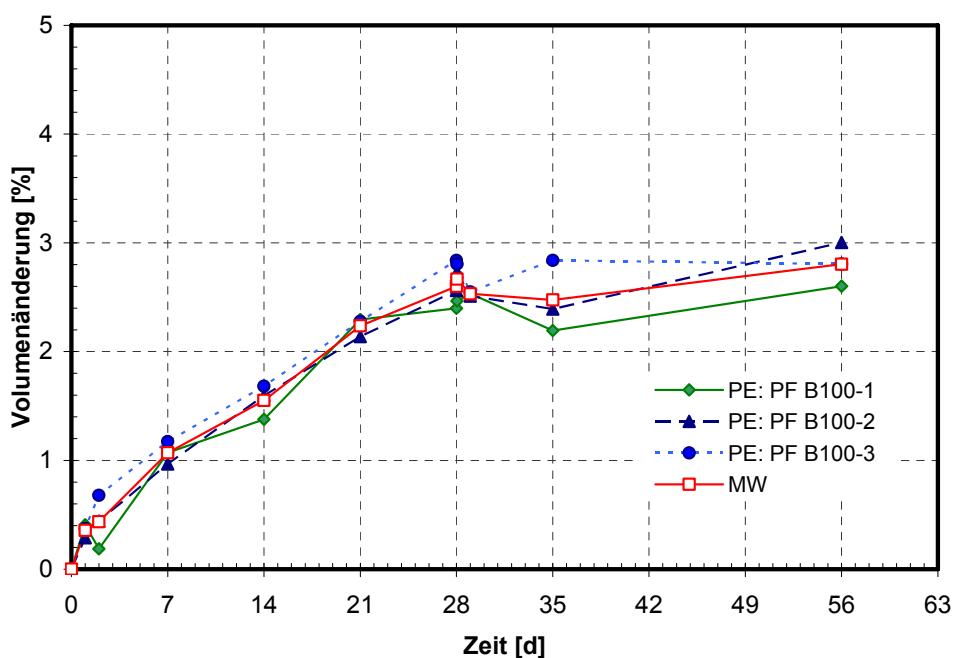


Bild 42: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF B100, Volumenänderung

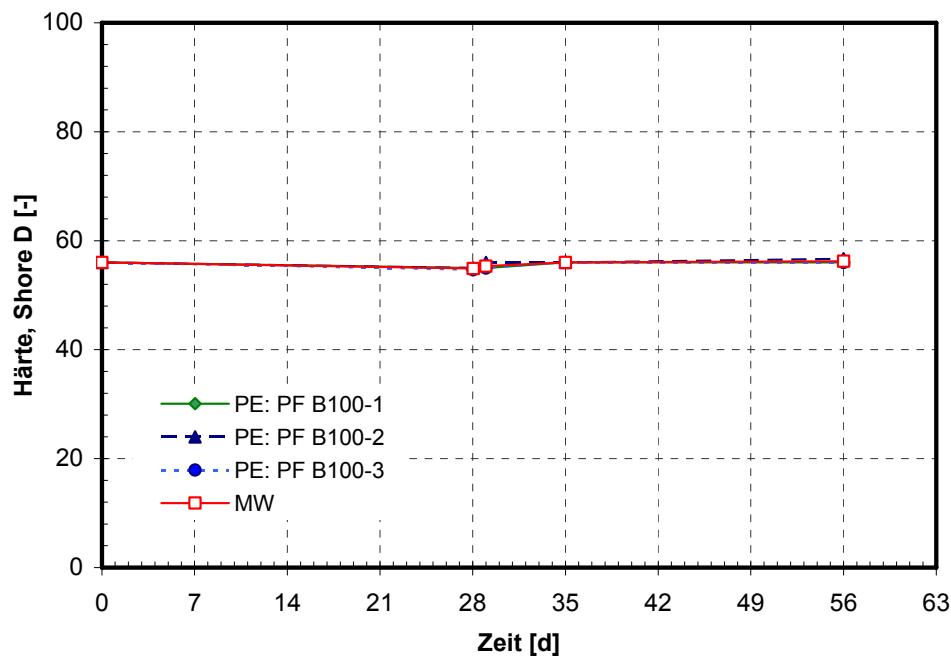


Bild 43: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF B100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

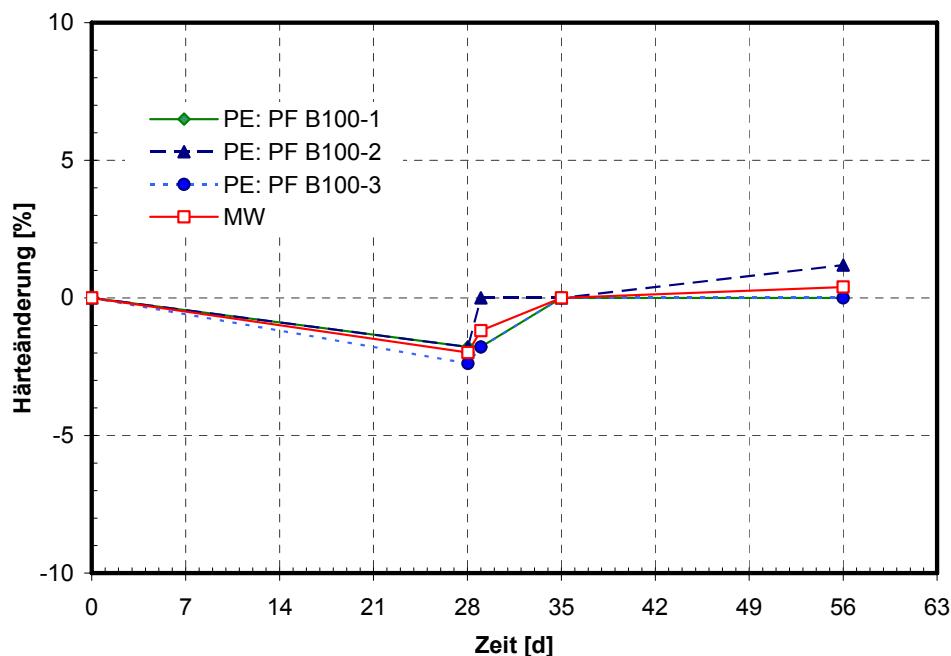


Bild 44: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF B100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

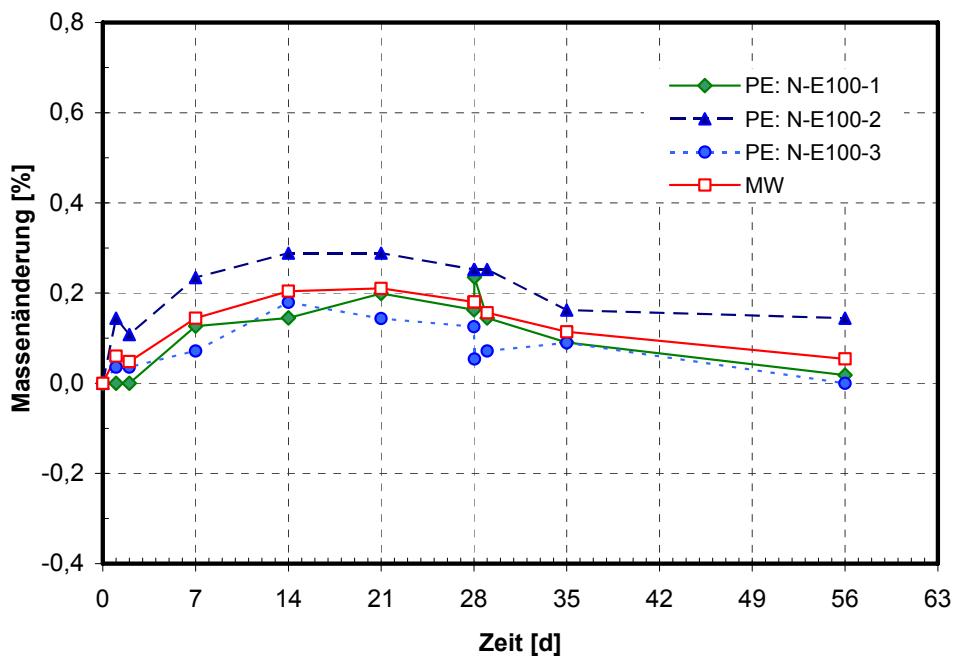


Bild 45: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in N-E100, Masseänderung

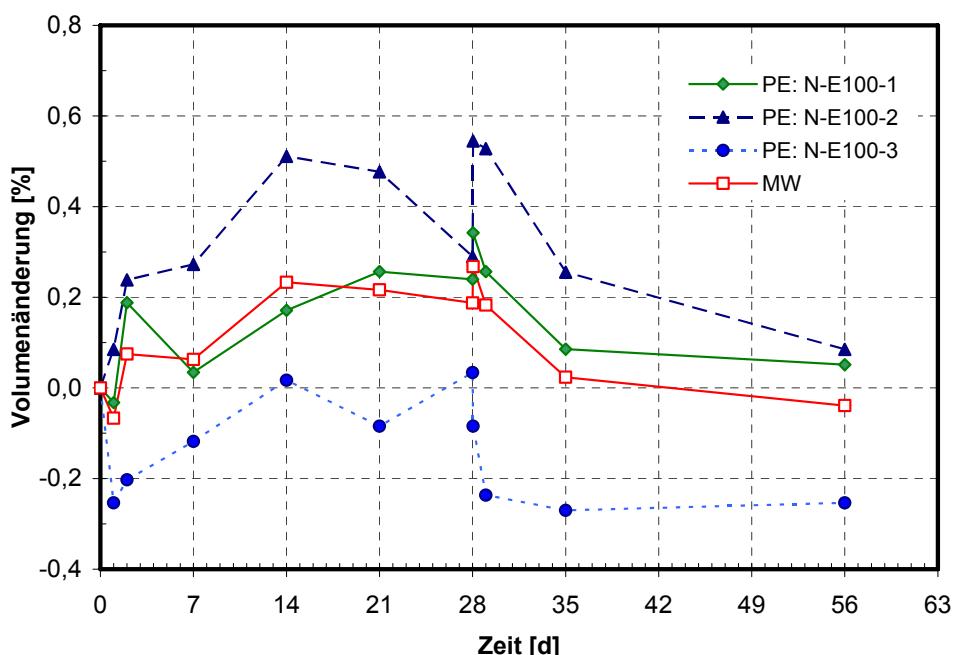


Bild 46: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in N-E100, Volumenänderung

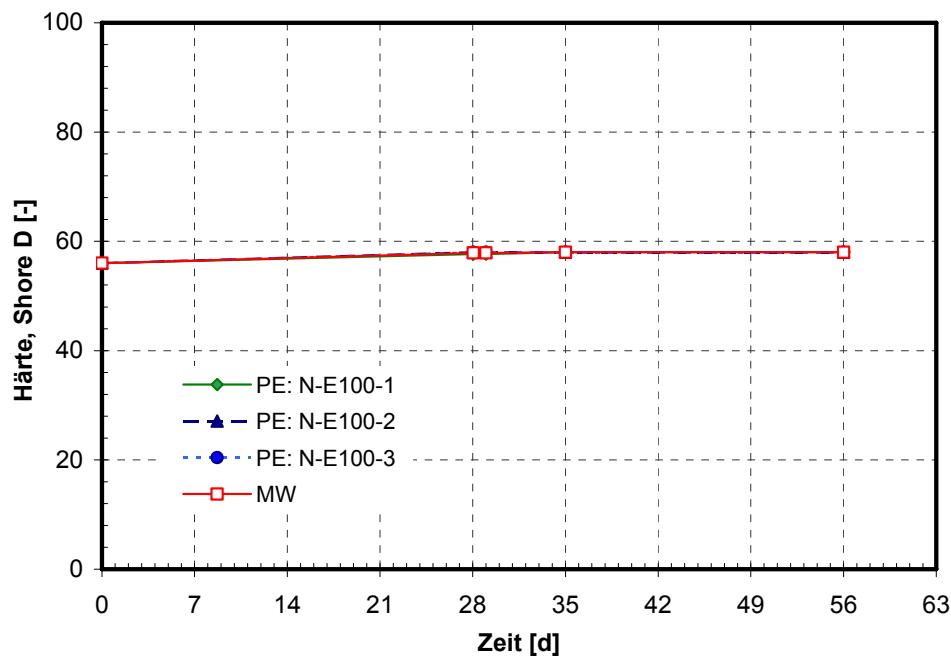


Bild 47: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in N-E100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

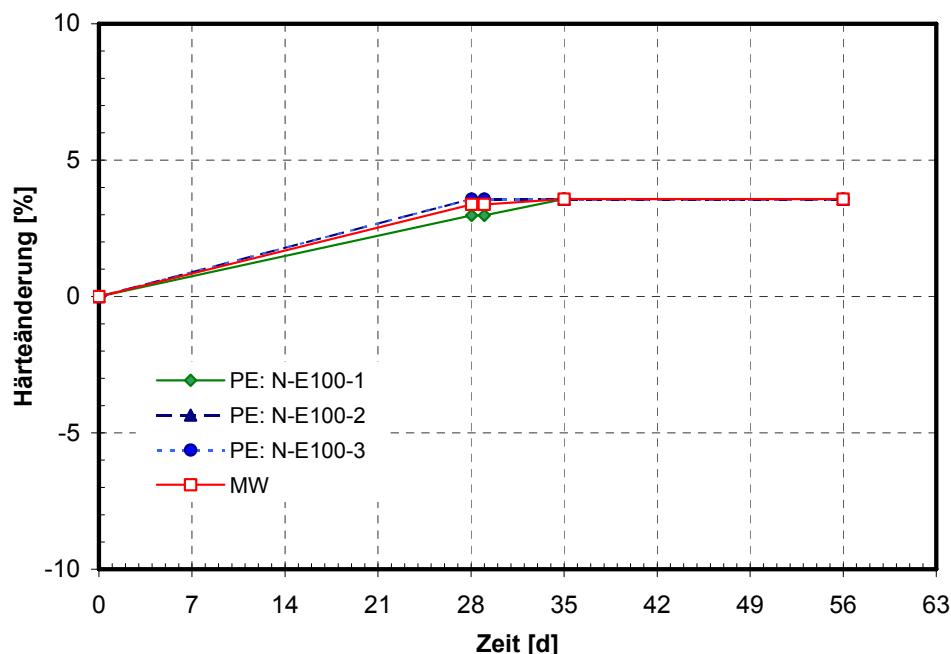


Bild 48: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in N-E100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

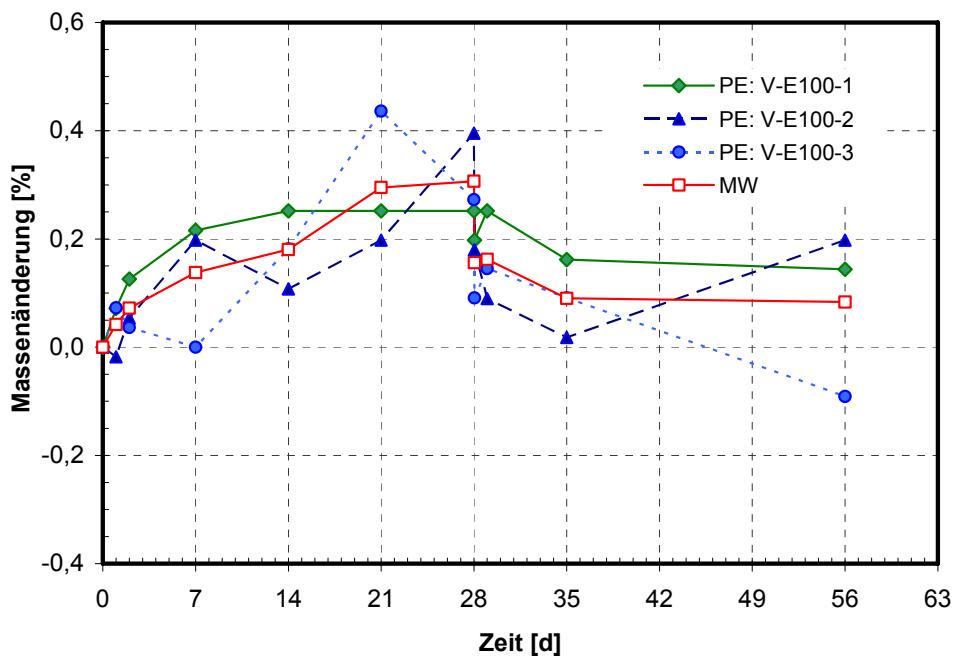


Bild 49: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in V-E100, Masseänderung

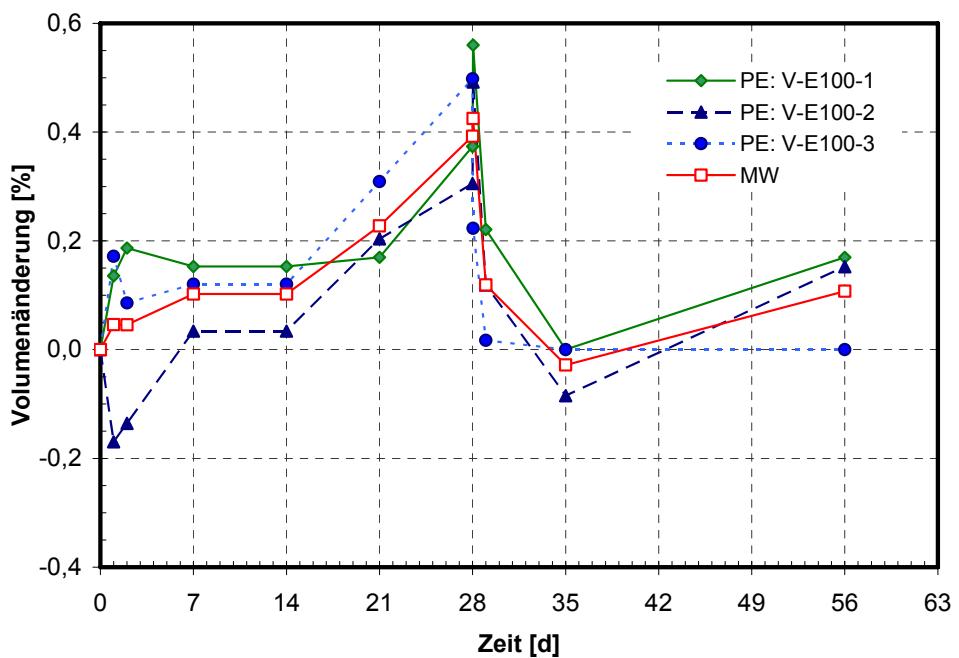


Bild 50: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in V-E100, Volumenänderung

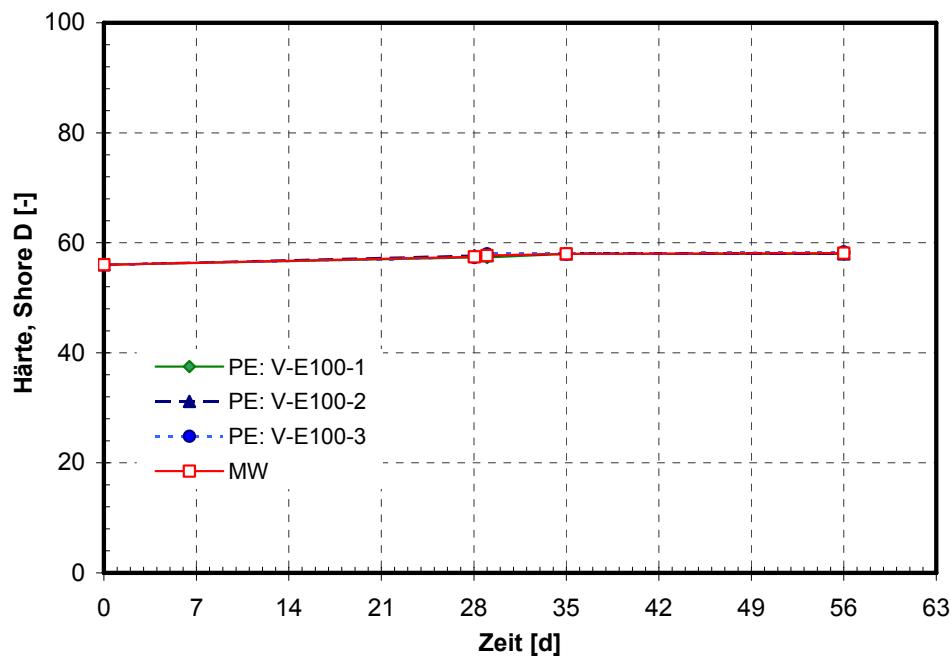


Bild 51: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in V-E100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

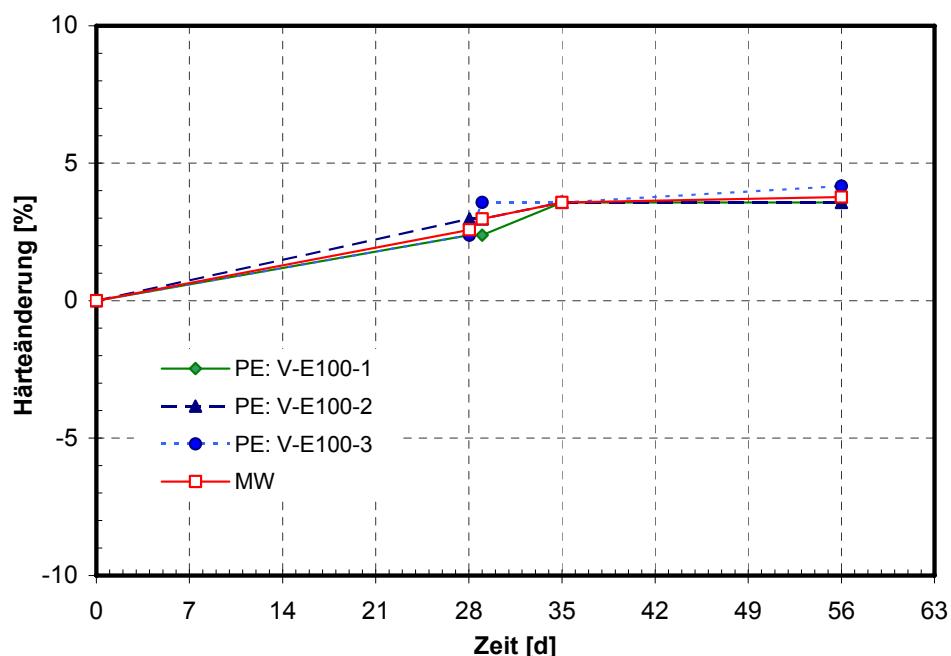


Bild 52: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in V-E100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

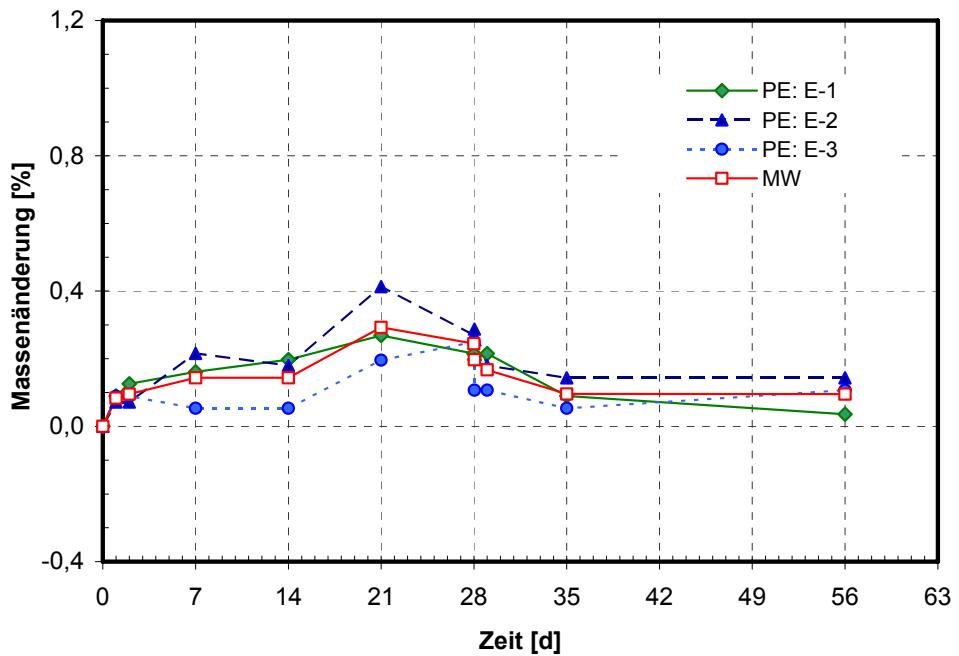


Bild 53: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in E, Masseänderung

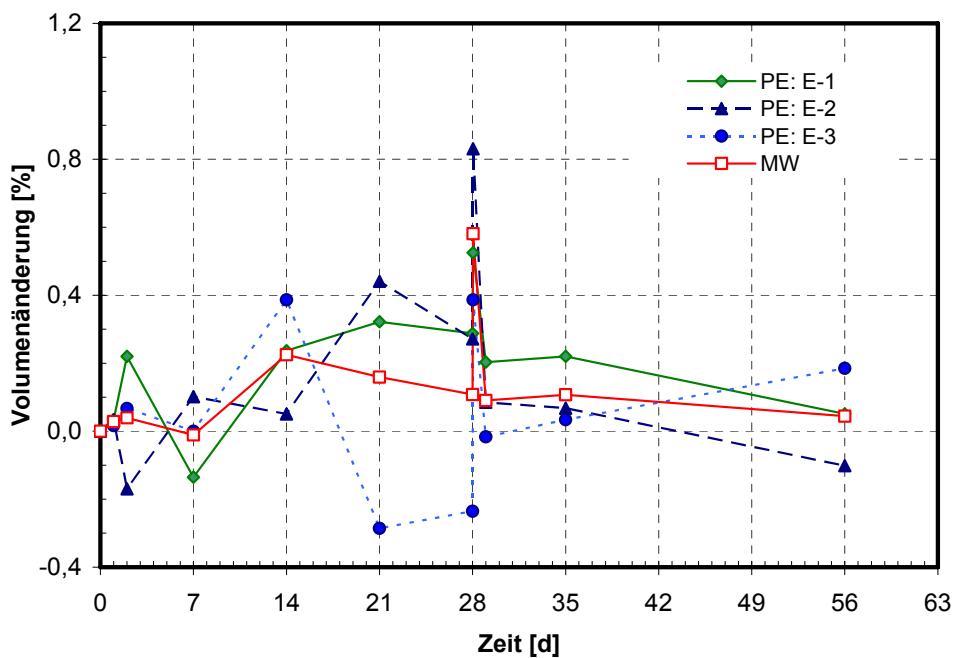


Bild 54: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in E, Volumenänderung

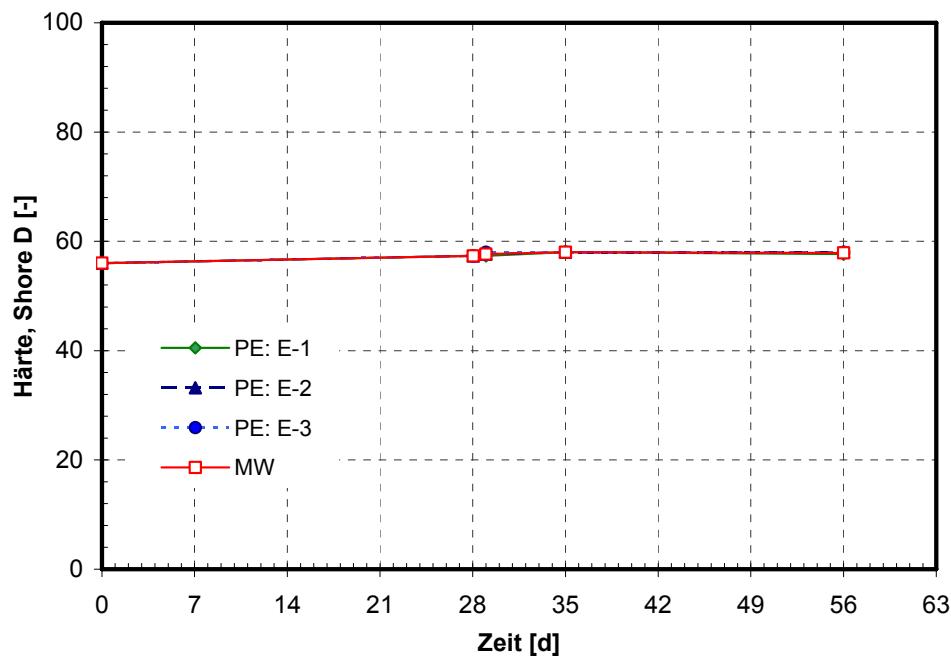


Bild 55: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in E, Härteänderung (Shore-Einheiten)

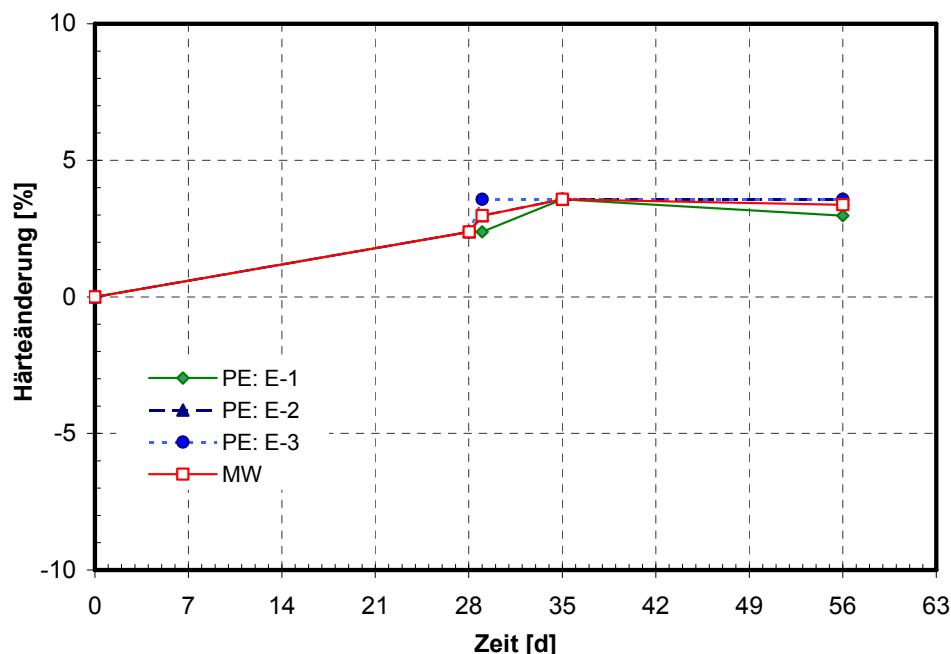


Bild 56: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in E, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

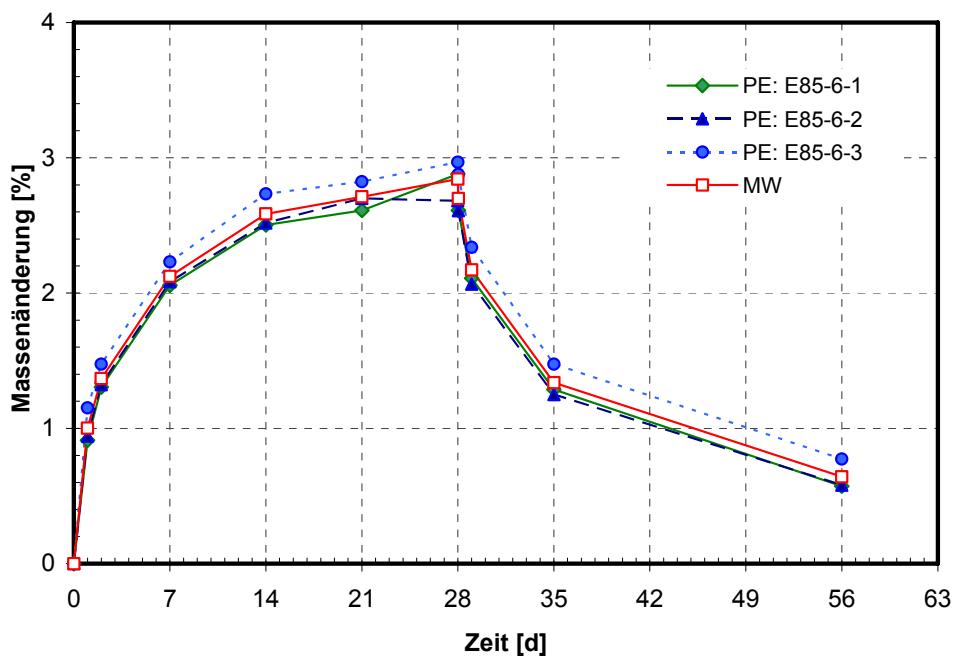


Bild 57: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in E85-6, Masseänderung

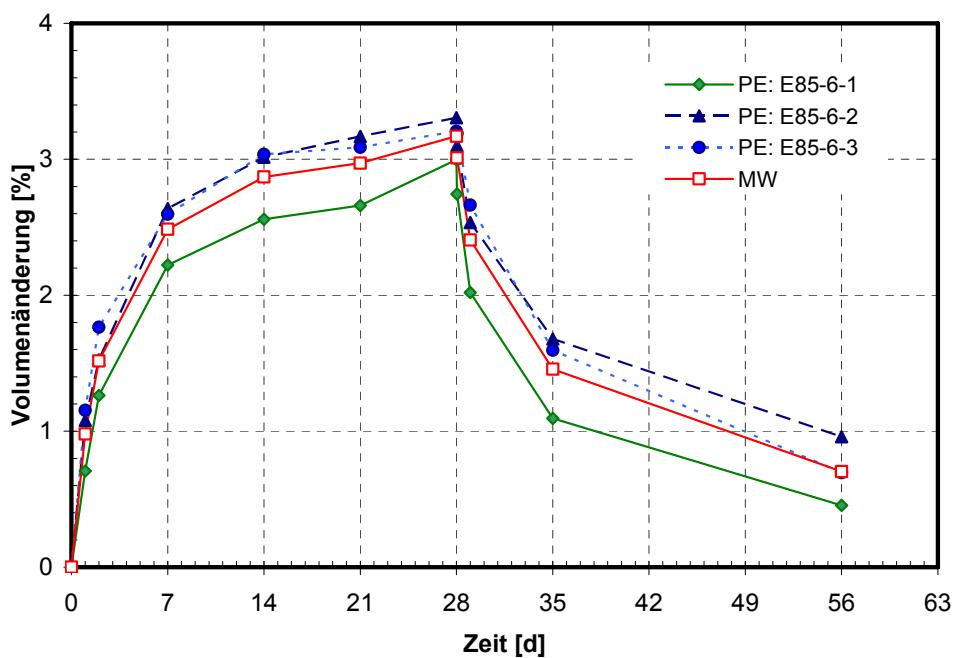


Bild 58: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in E85-6, Volumenänderung

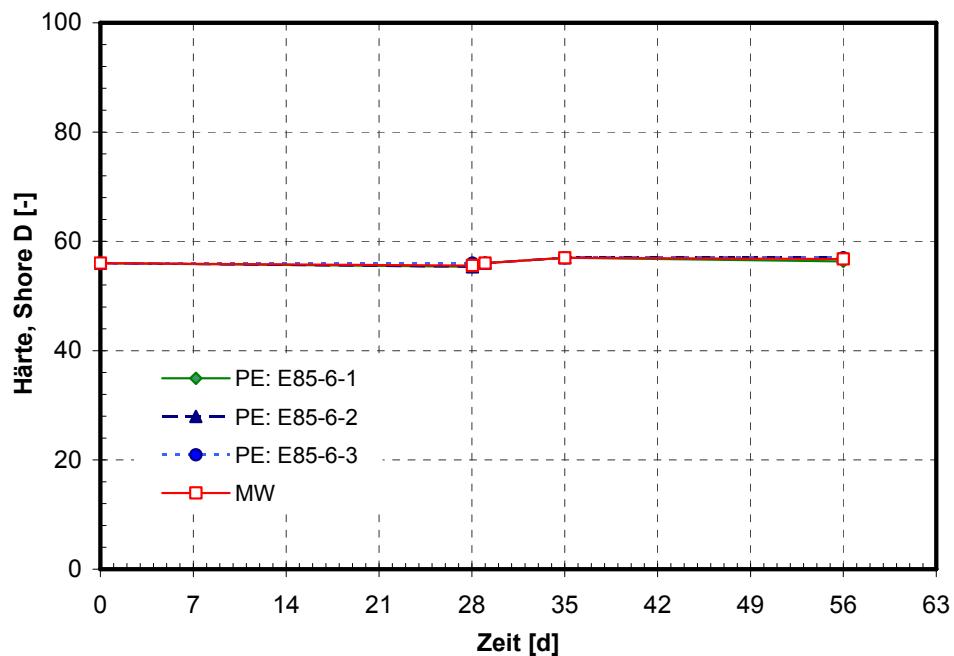


Bild 59: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in E85-6, Härteänderung (Shore-Einheiten)

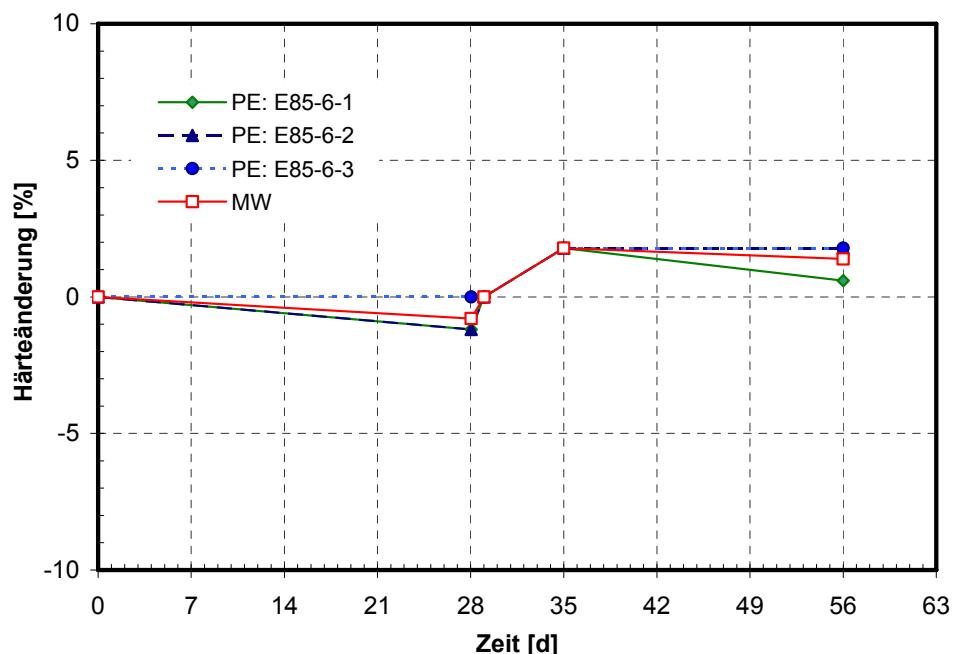


Bild 60: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in E85-6, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

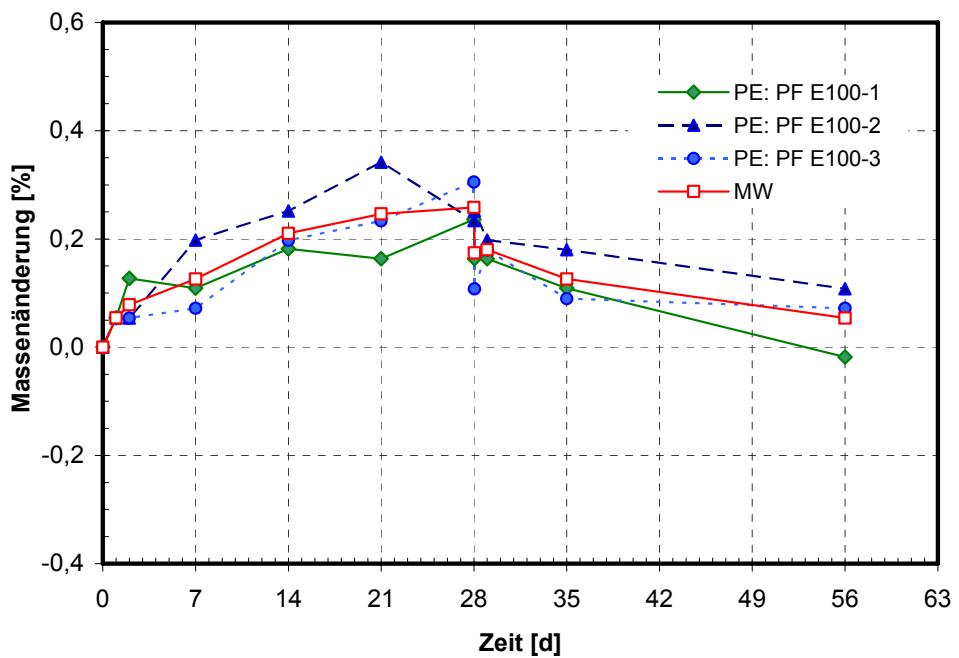


Bild 61: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E100, Masseänderung

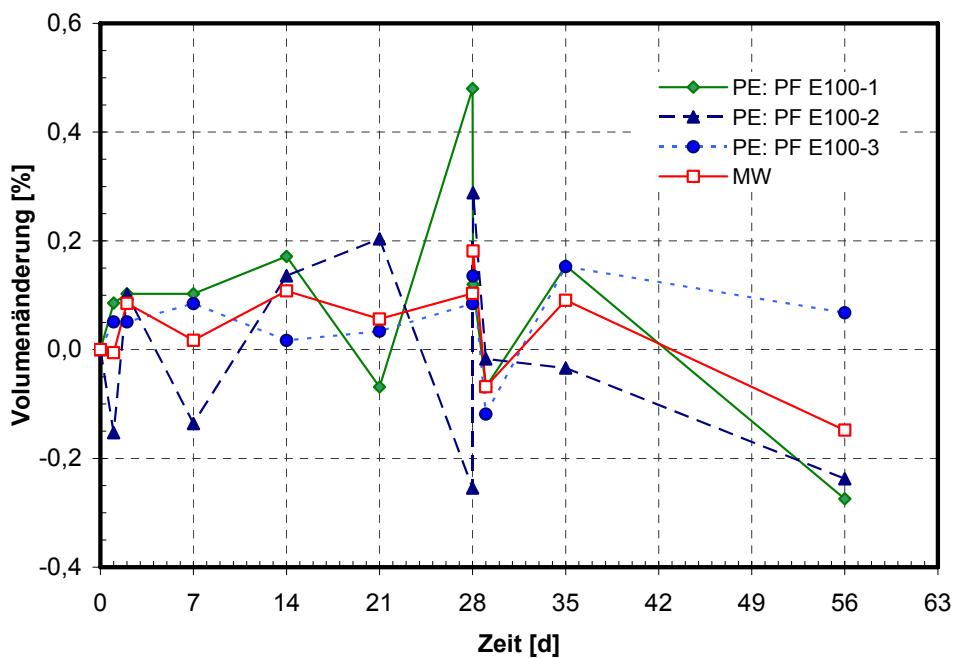


Bild 62: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E100, Volumenänderung

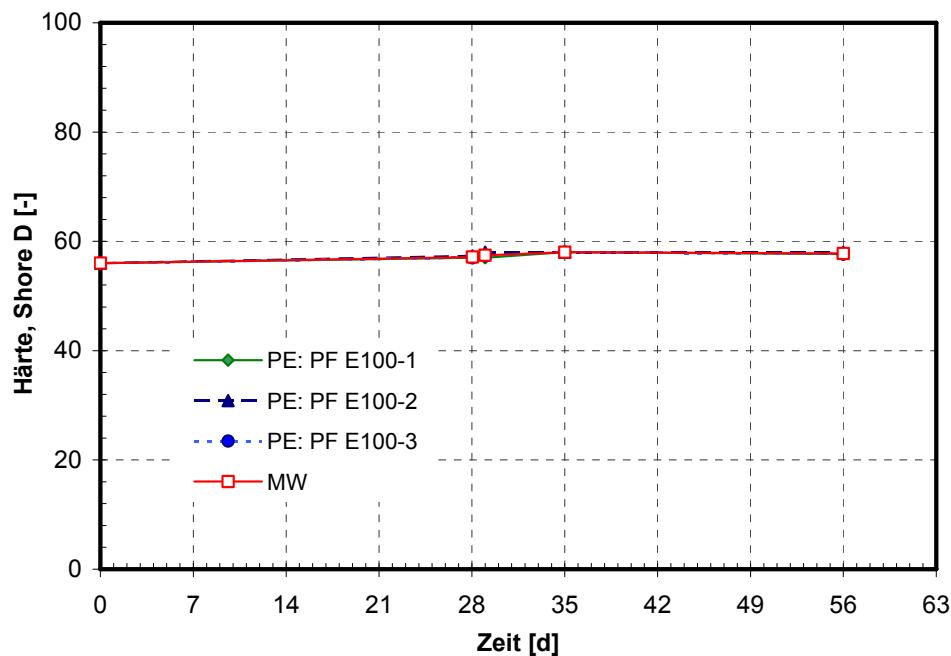


Bild 63: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

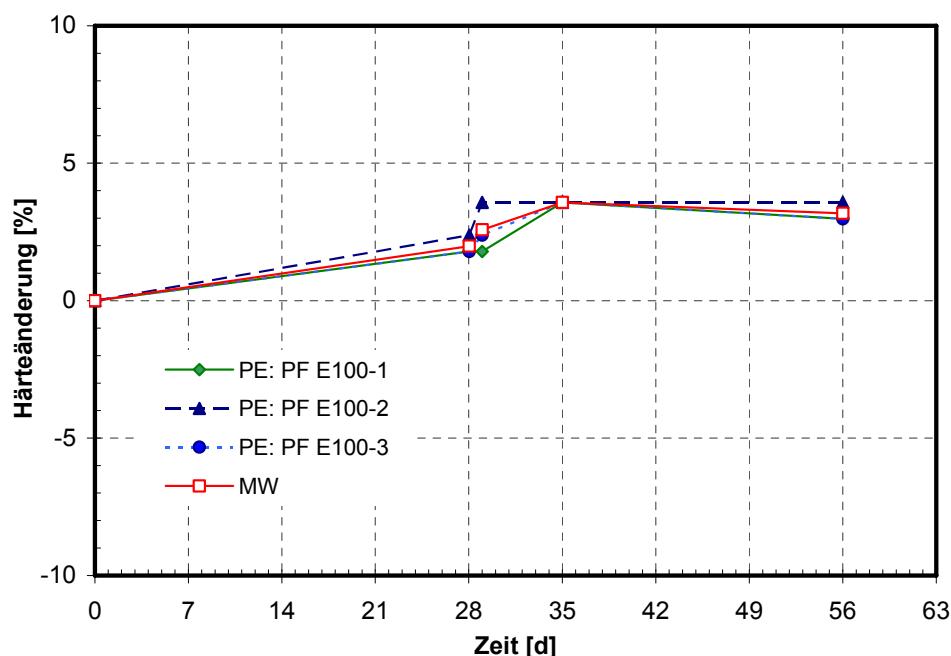


Bild 64: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

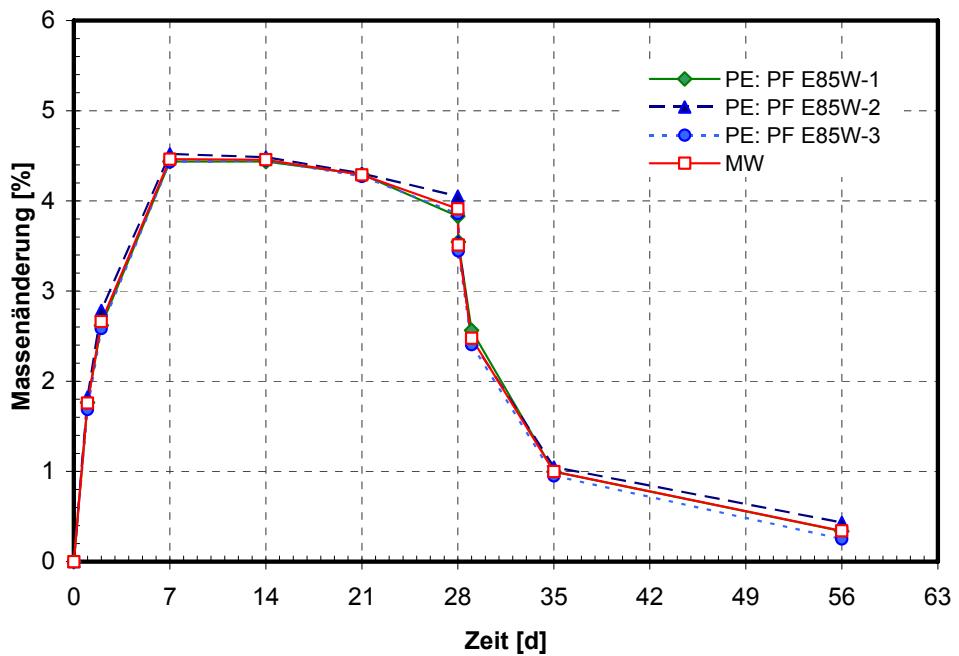


Bild 65: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E85W, Masseänderung

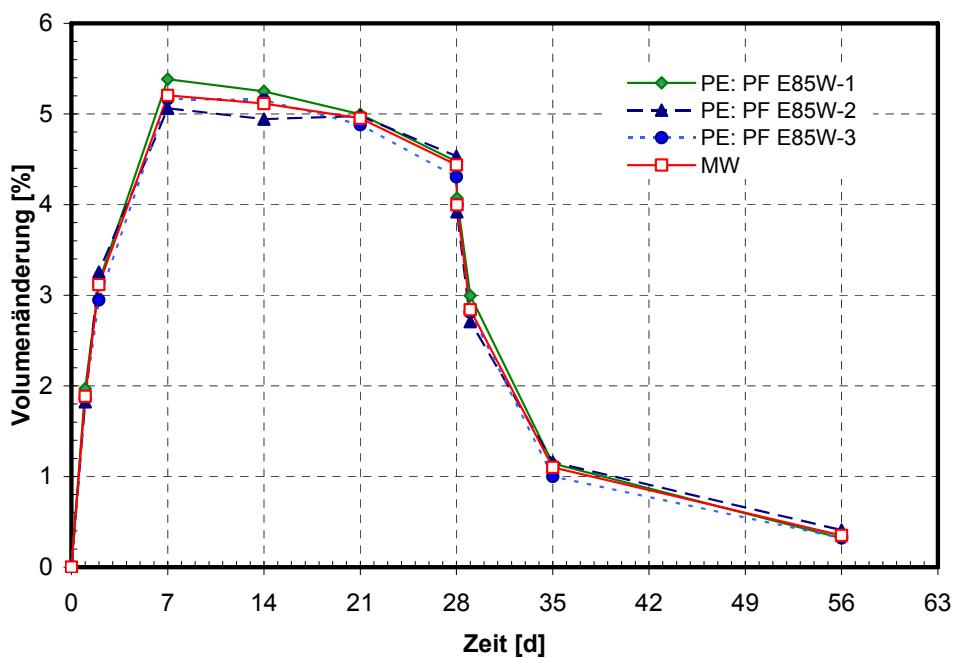


Bild 66: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E85W, Volumenänderung

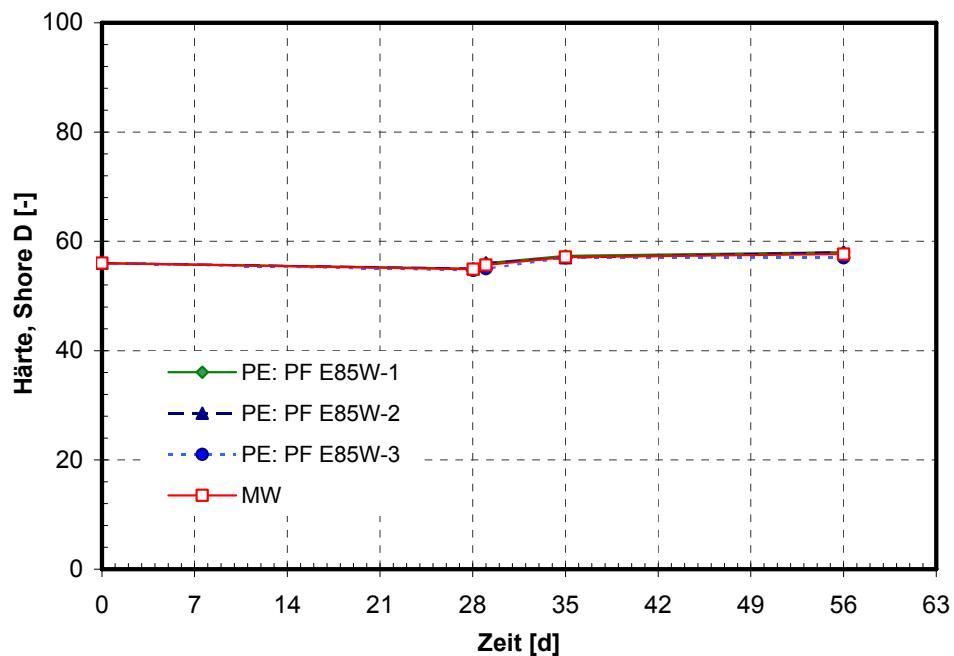


Bild 67: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E85W, Härteänderung (Shore-Einheiten)

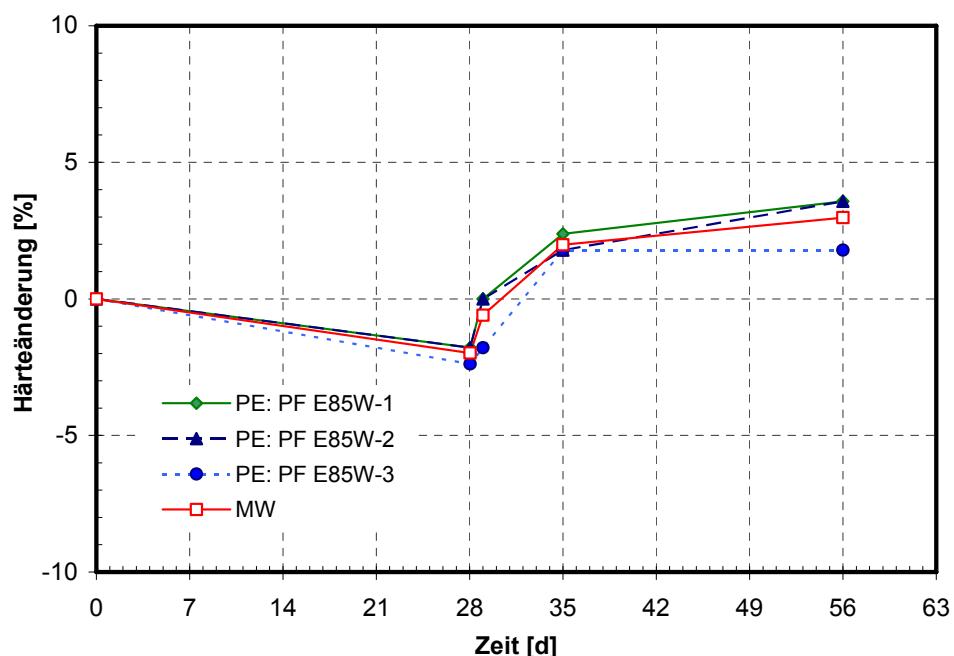


Bild 68: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E85W, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

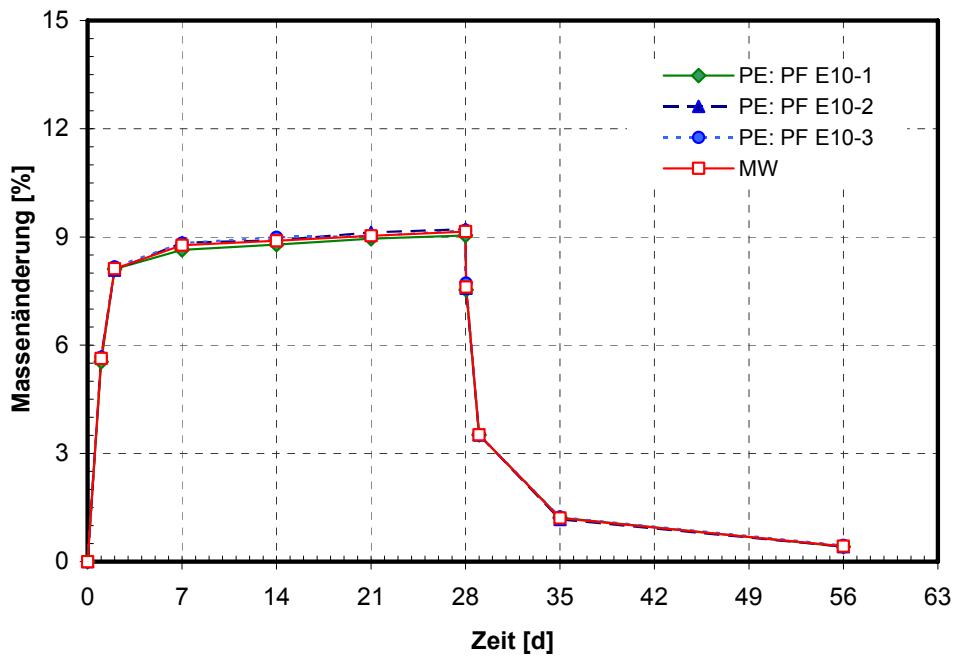


Bild 69: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E10, Masseänderung

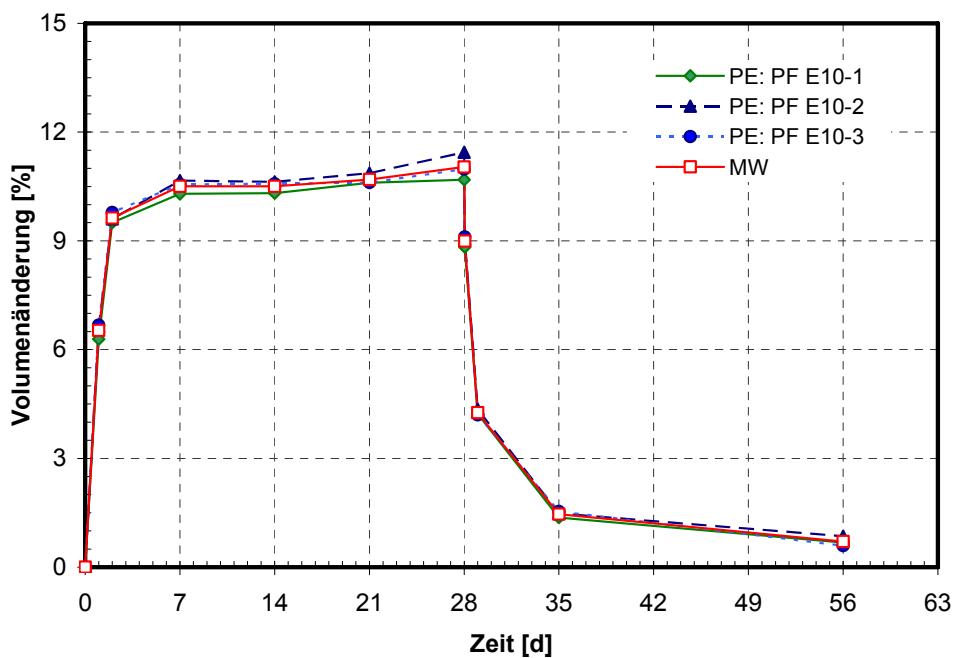


Bild 70: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E10, Volumenänderung

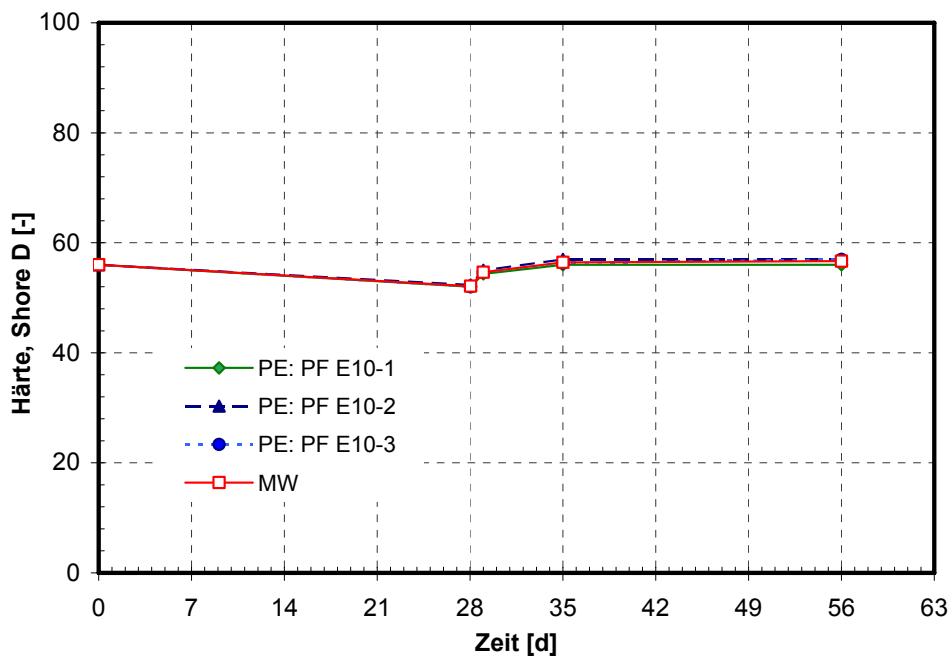


Bild 71: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E10, Härteänderung (Shore-Einheiten)

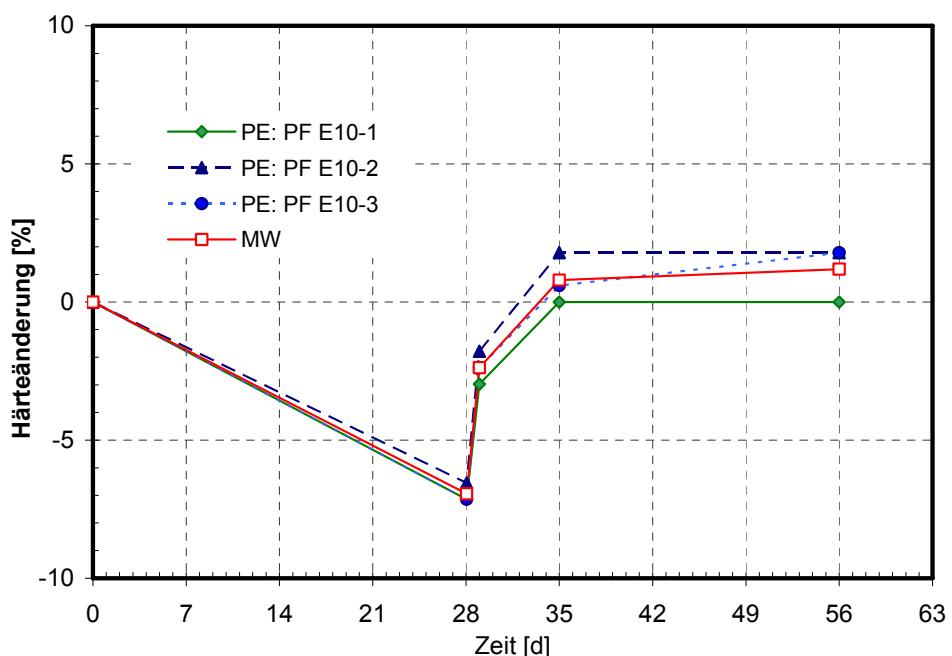


Bild 72: PE-HD Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E10, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

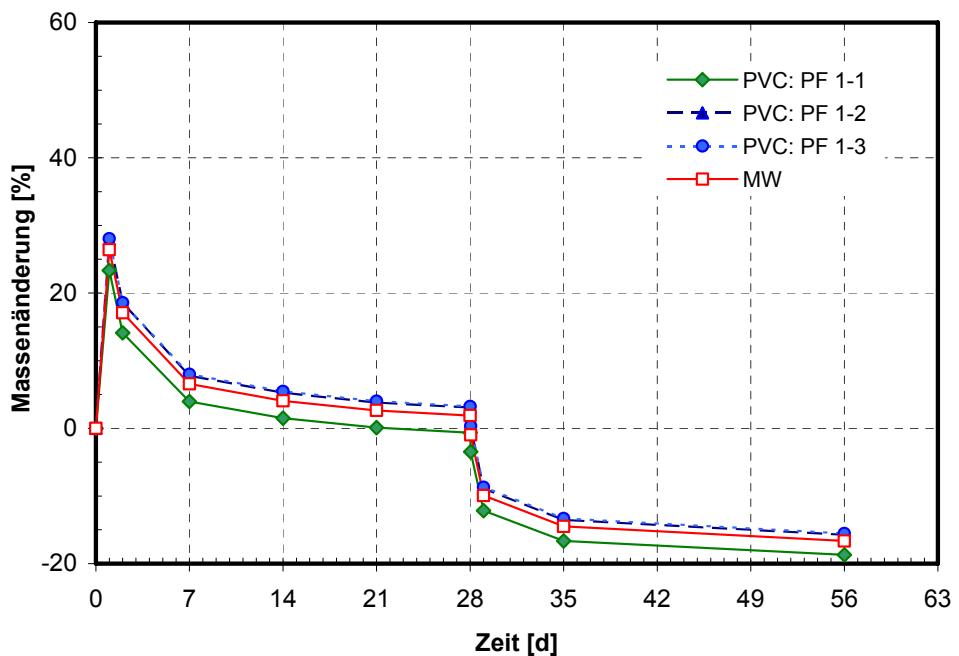


Bild 1: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1, Masseänderung

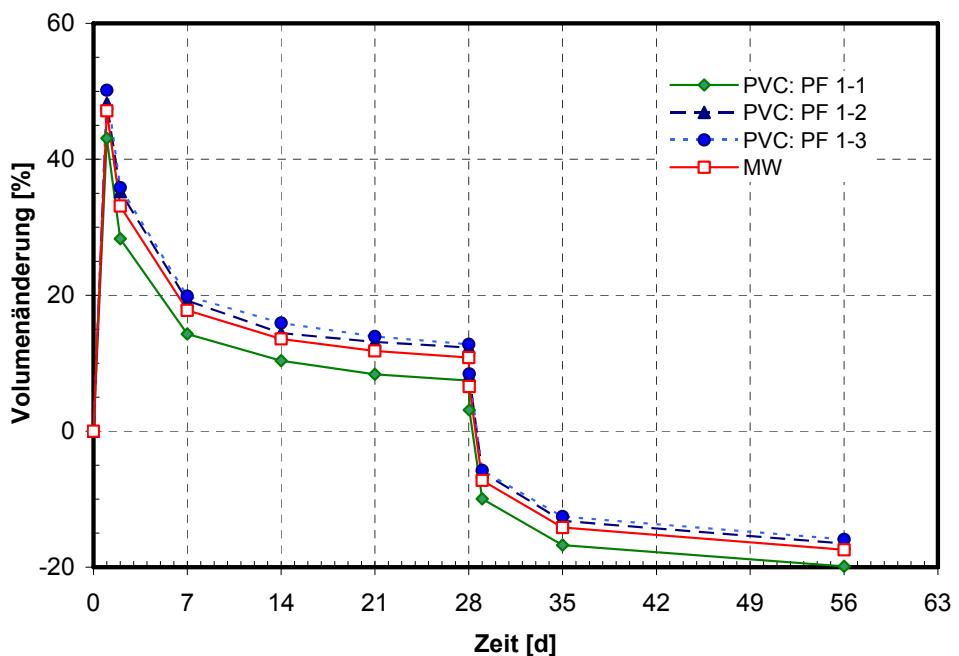


Bild 2: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1, Volumenänderung

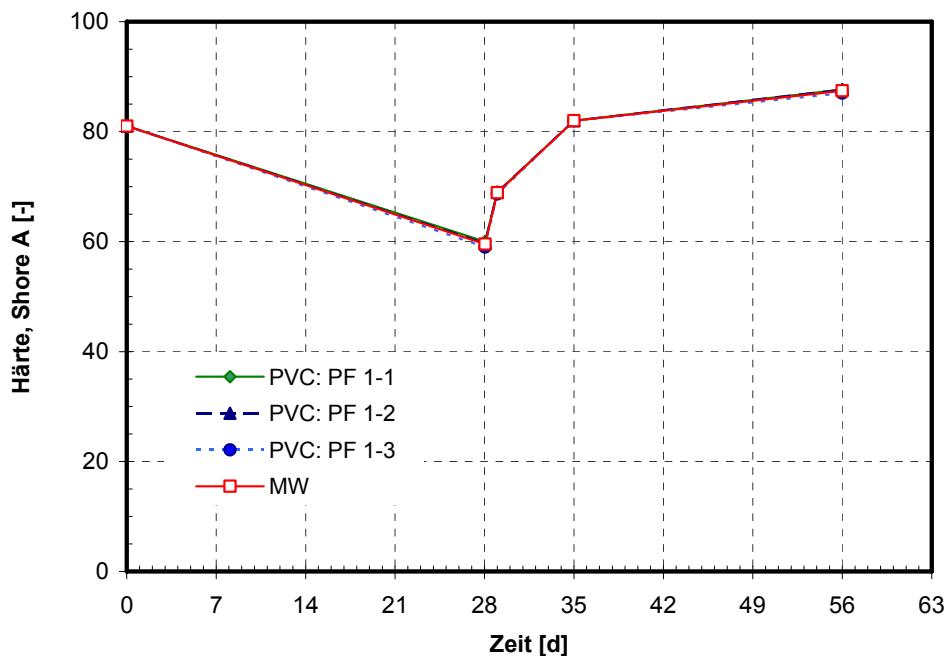


Bild 3: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1, Härteänderung (Shore-Einheiten)

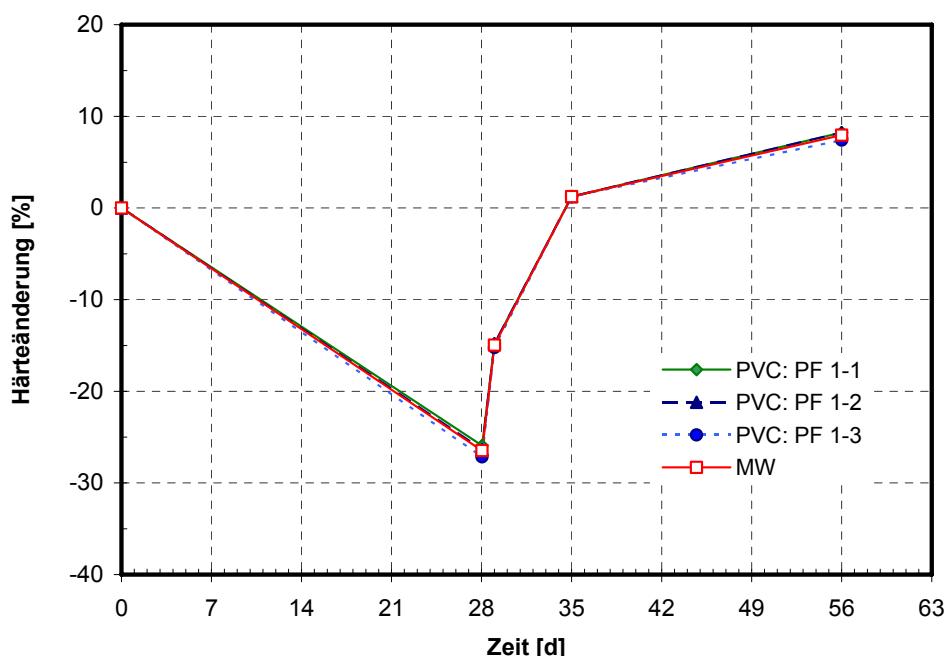


Bild 4: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

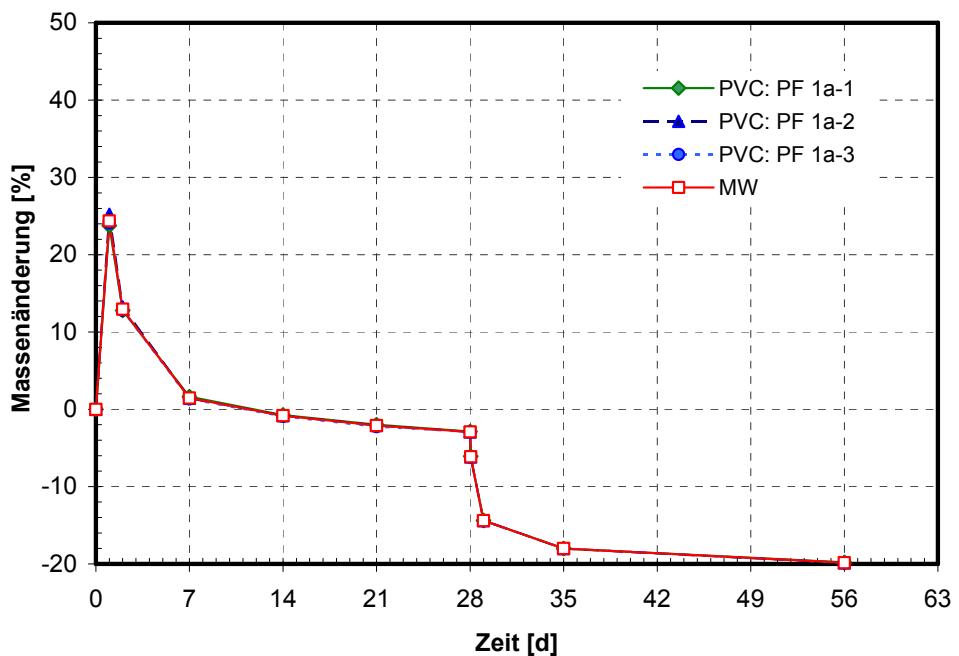


Bild 5: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1a, Masseänderung

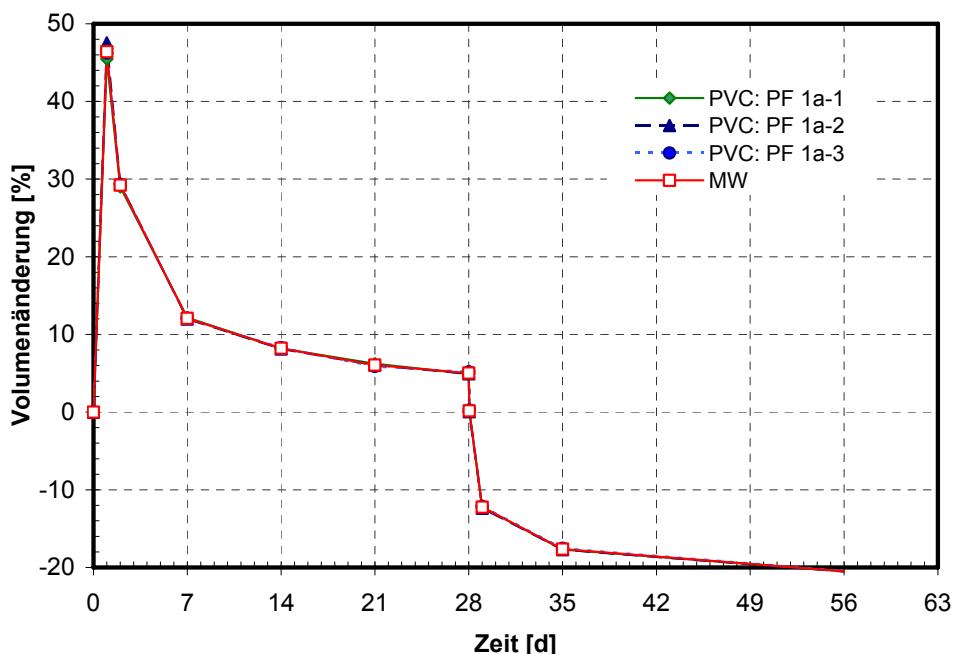


Bild 6: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1a, Volumenänderung

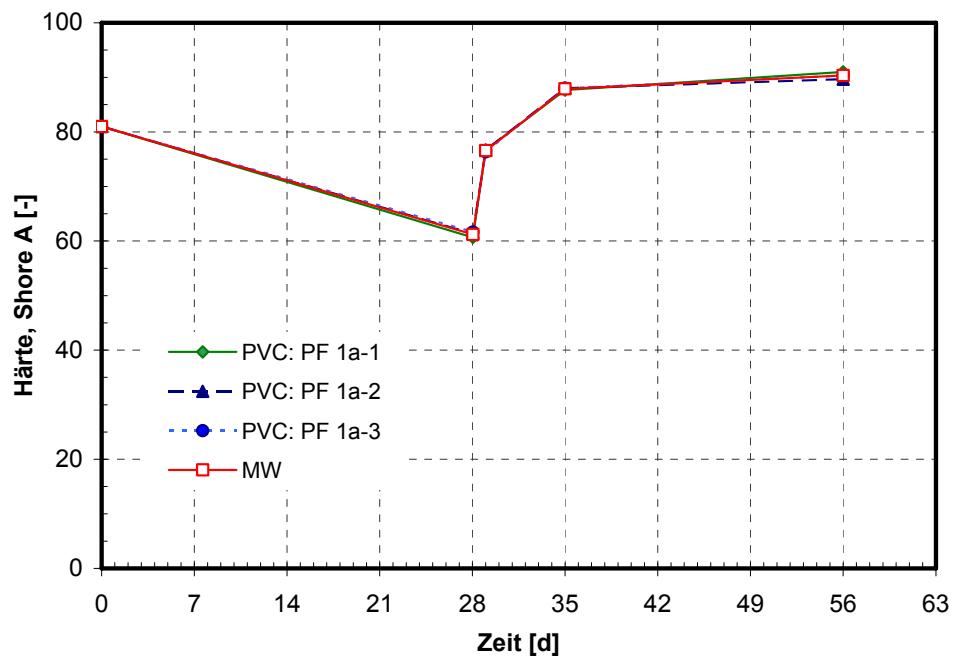


Bild 7: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1a, Härteänderung (Shore-Einheiten)

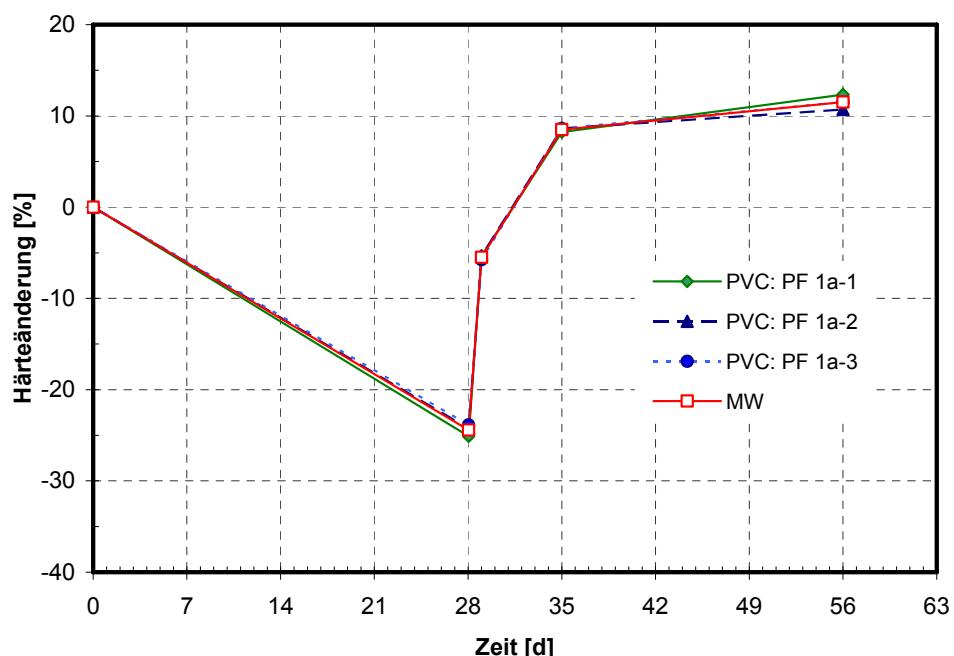


Bild 8: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 1a, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

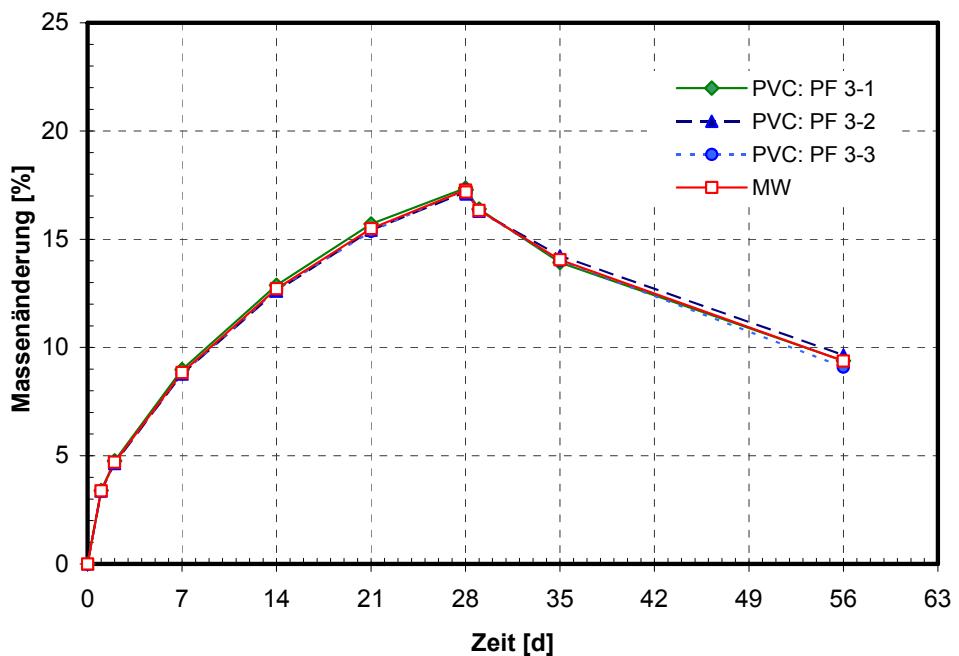


Bild 9: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 3, Masseänderung

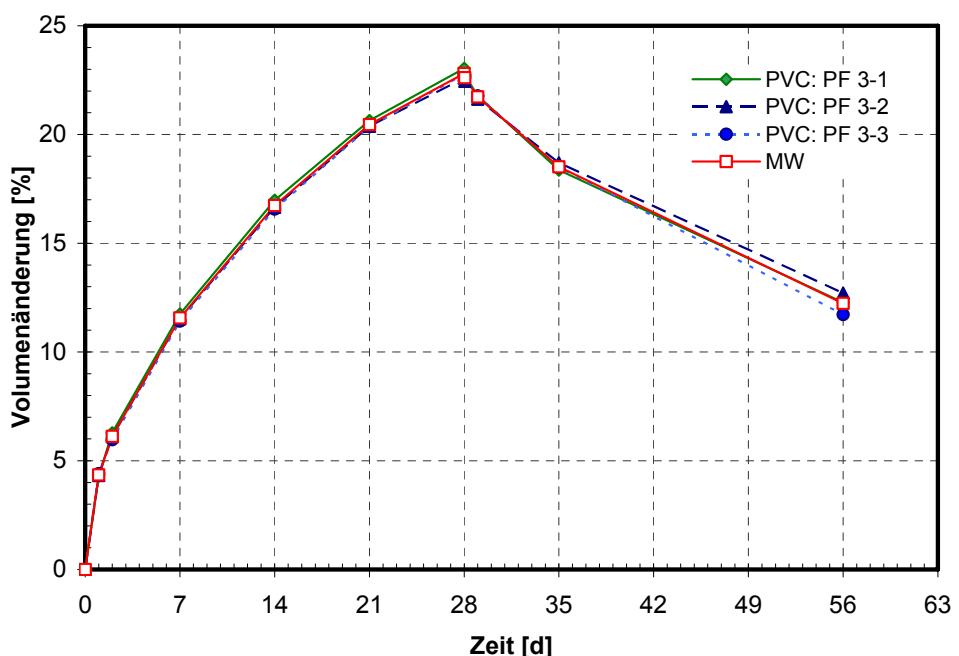


Bild 10: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 3, Volumenänderung

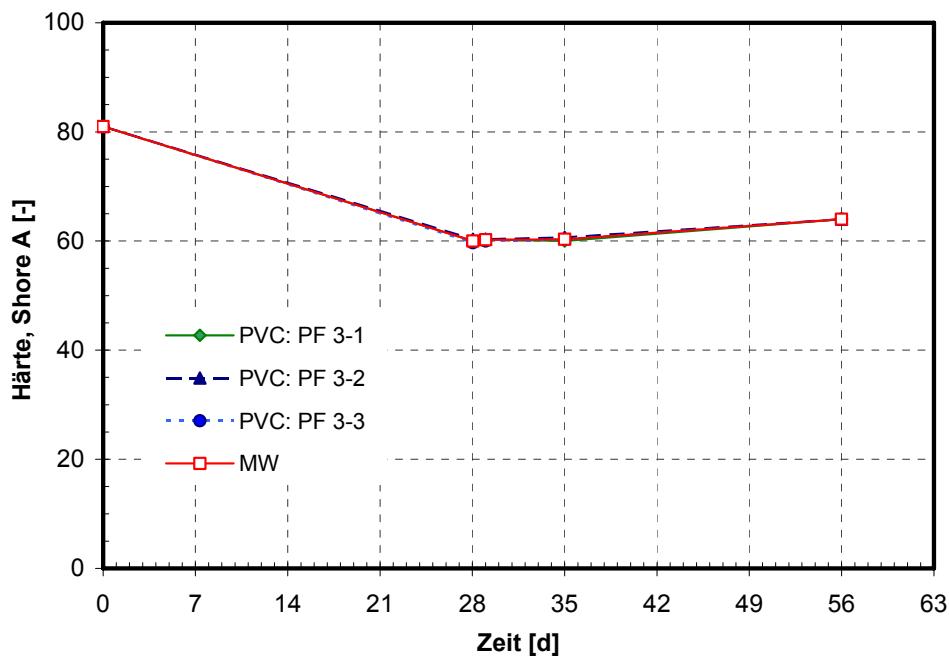


Bild 11: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 3, Härteänderung (Shore-Einheiten)

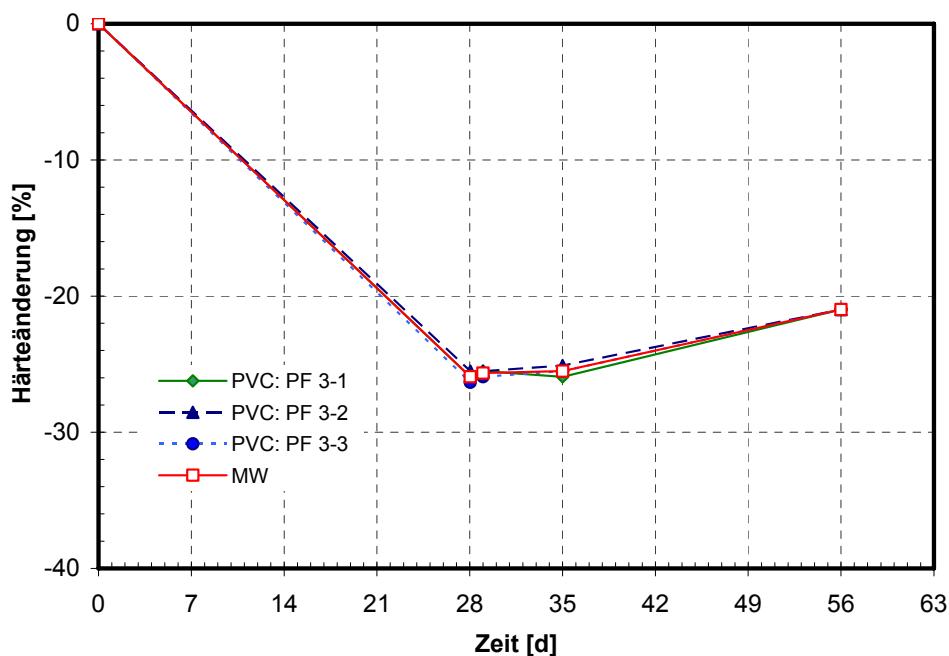


Bild 12: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF 3, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

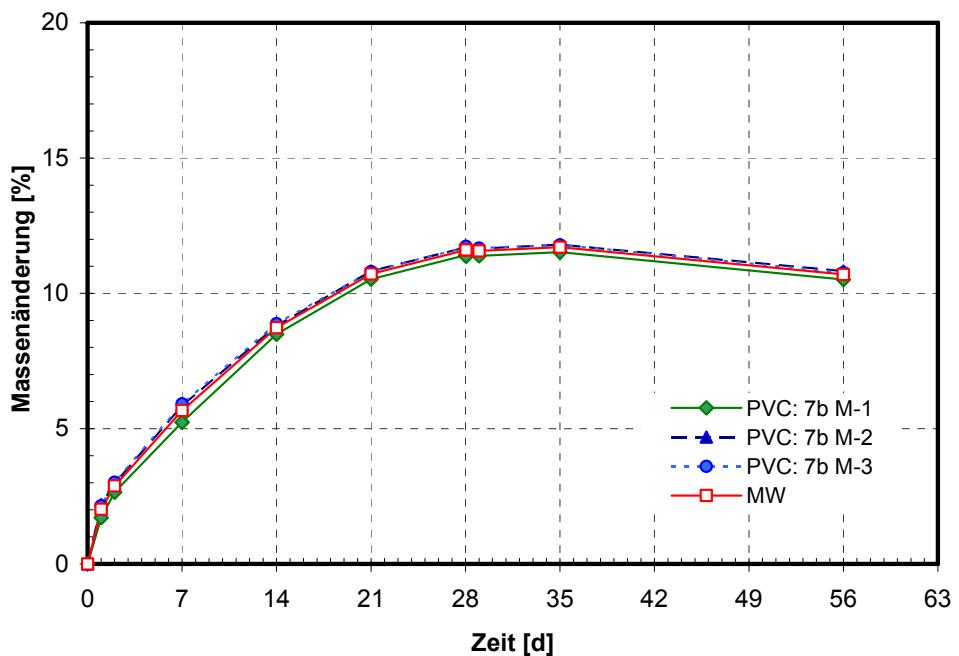


Bild 13: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b M, Masseänderung

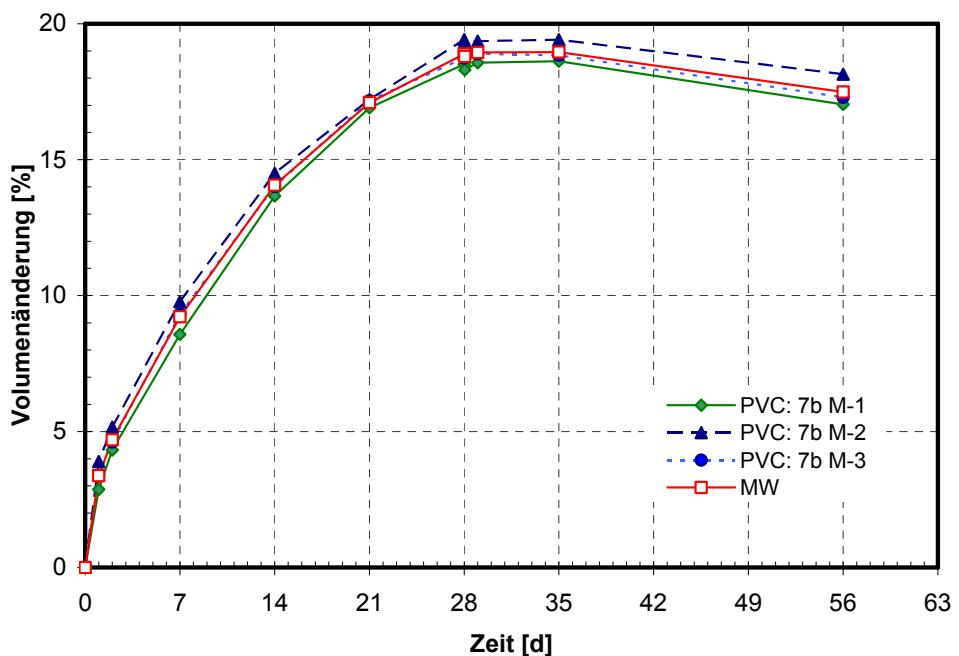


Bild 14: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b M, Volumenänderung

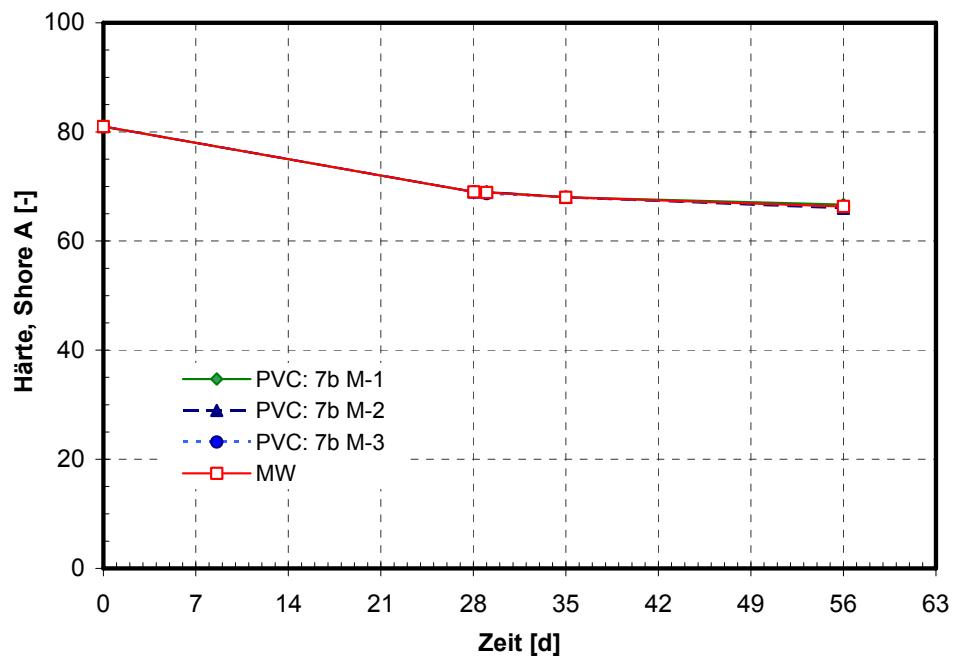


Bild 15: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b M, Härteänderung (Shore-Einheiten)

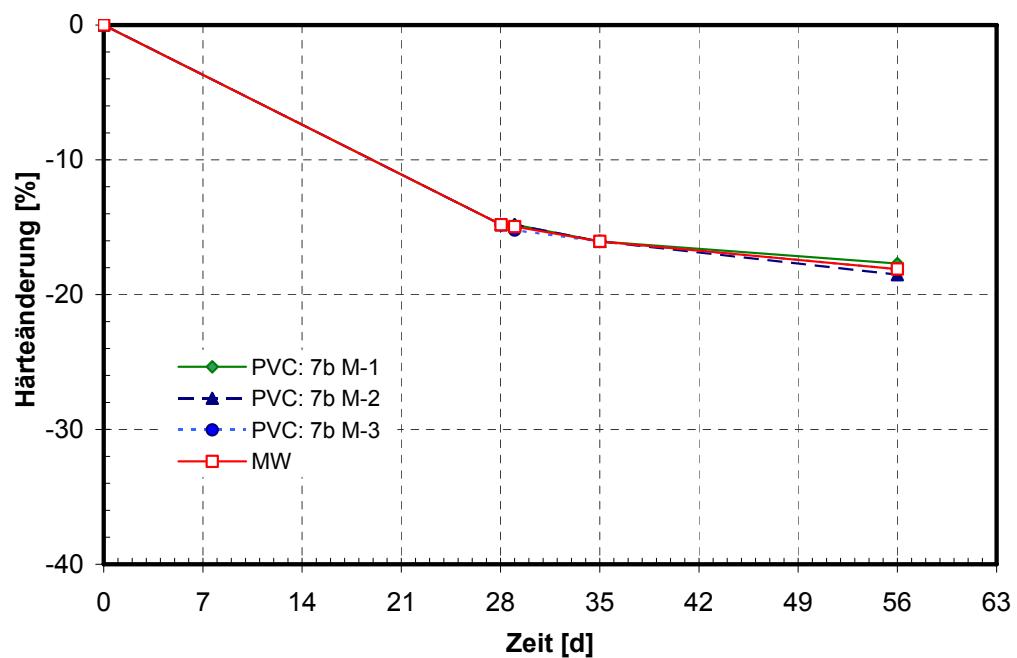


Bild 16: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b M, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

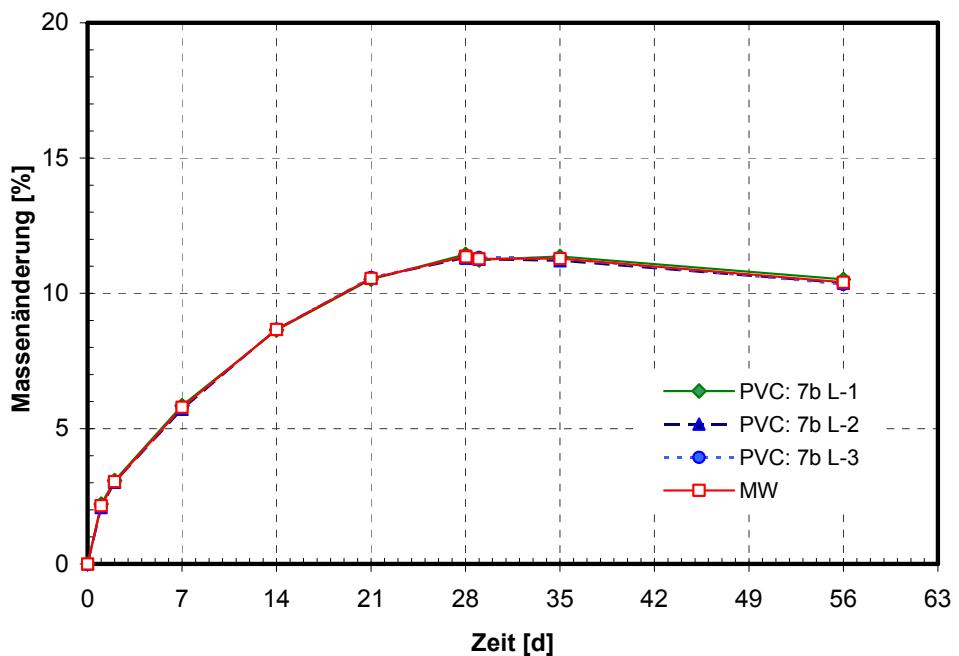


Bild 17: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b L, Masseänderung

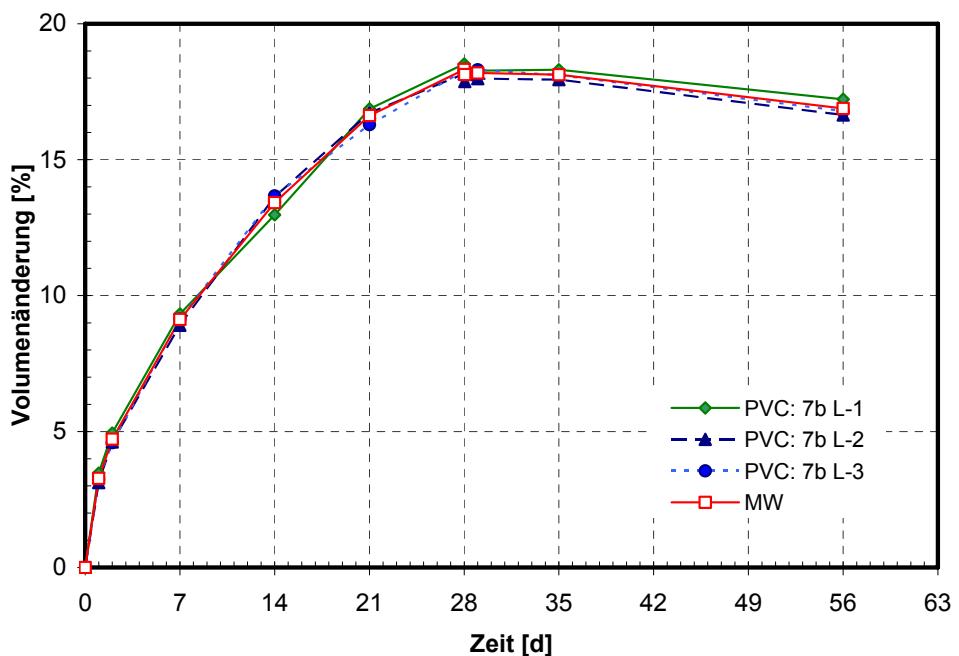


Bild 18: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b L, Volumenänderung

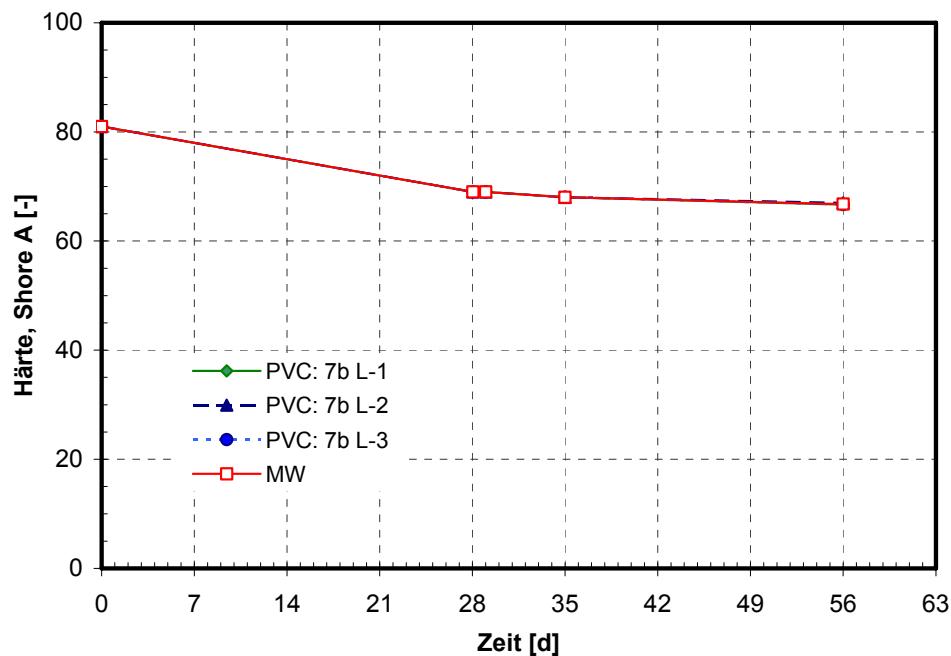


Bild 19: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b L, Härteänderung (Shore-Einheiten)

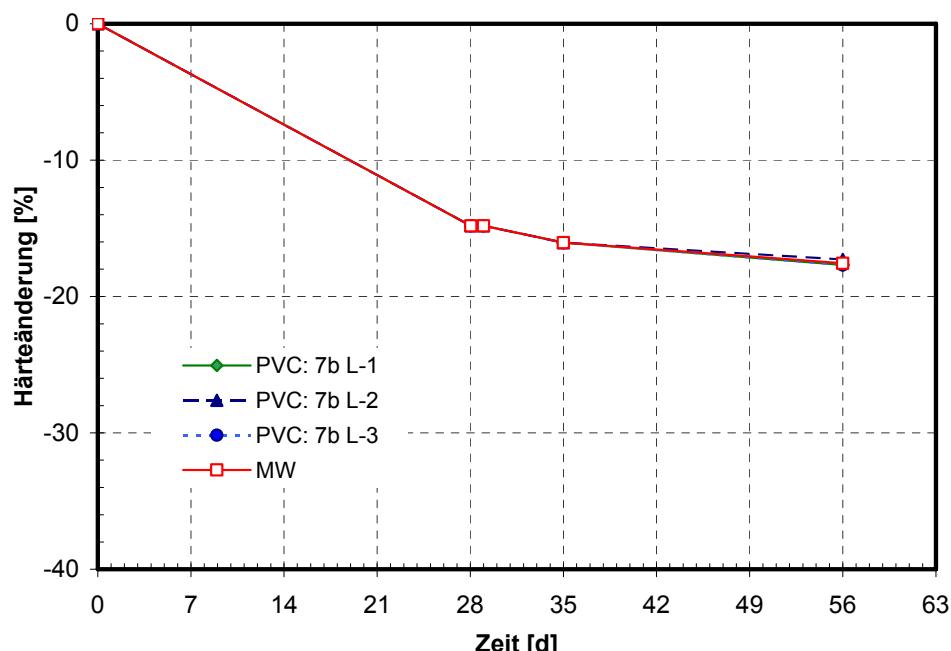


Bild 20: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 7b L, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

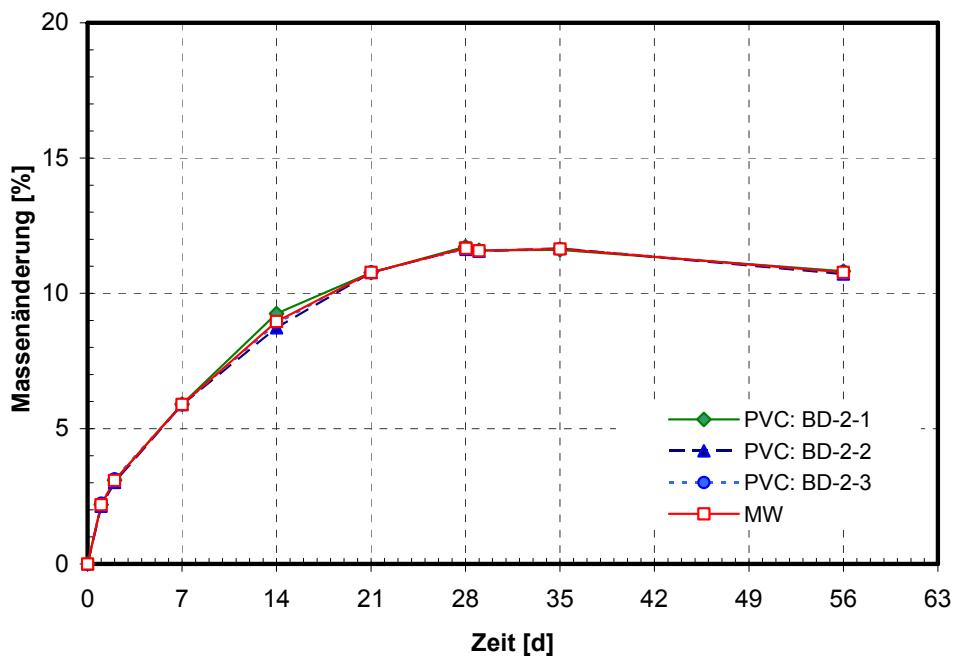


Bild 21: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in BD-2, Masseänderung

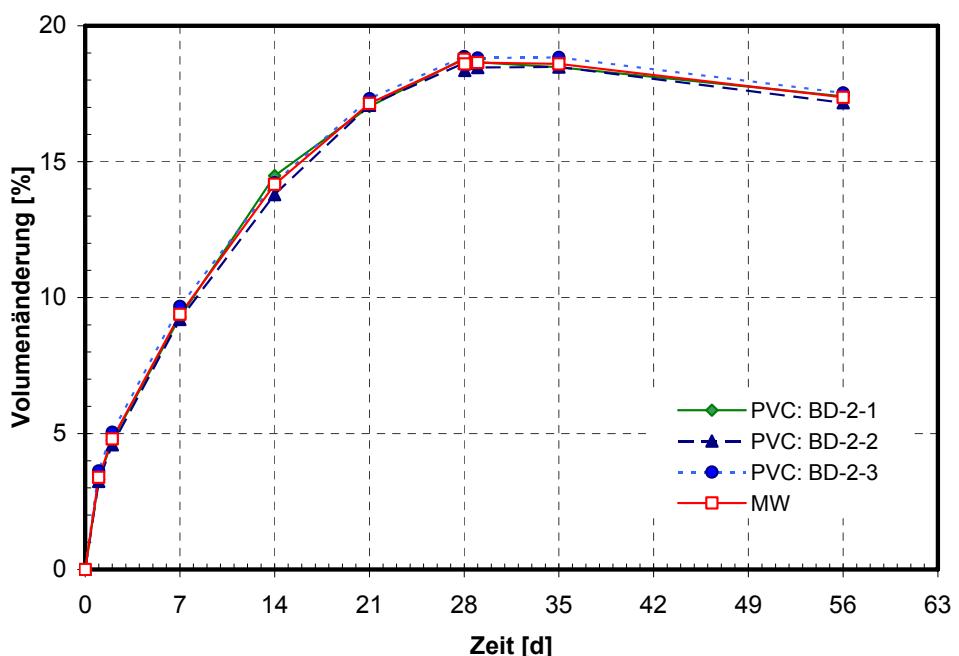


Bild 22: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in BD-2, Volumenänderung

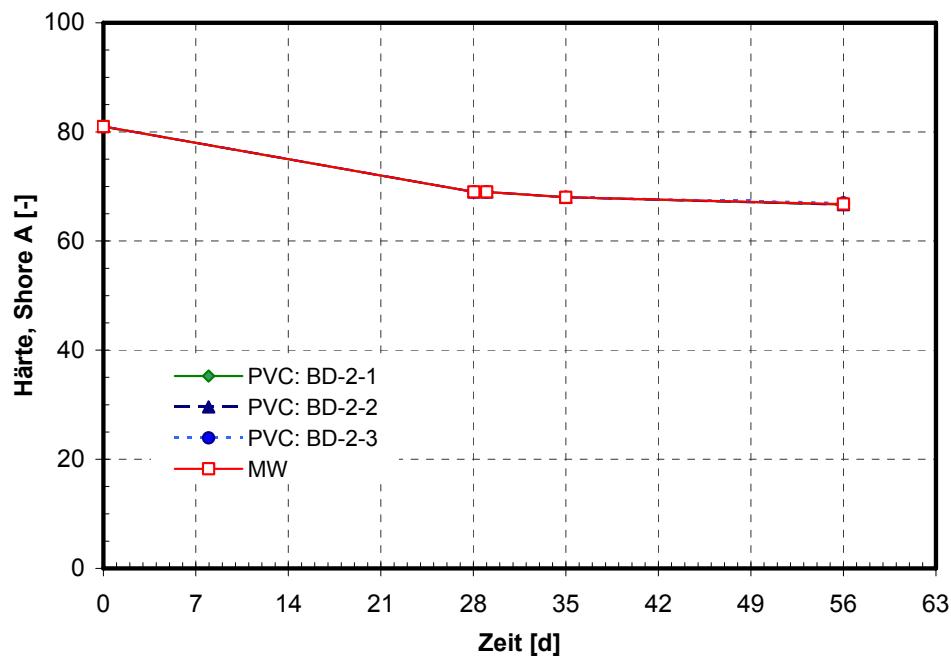


Bild 23: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in BD-2, Härteänderung (Shore-Einheiten)

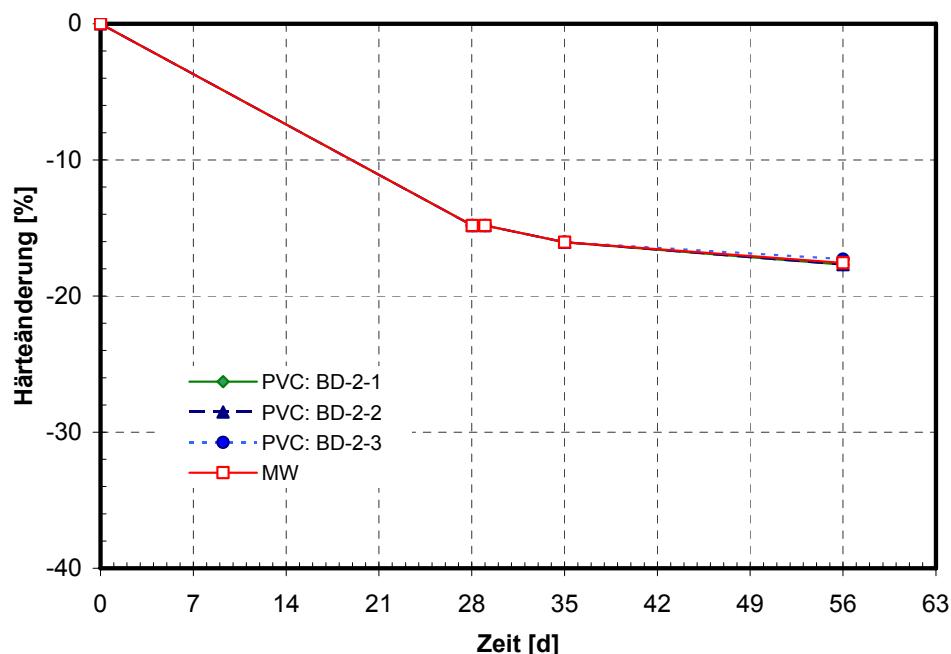


Bild 24: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in BD-2, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

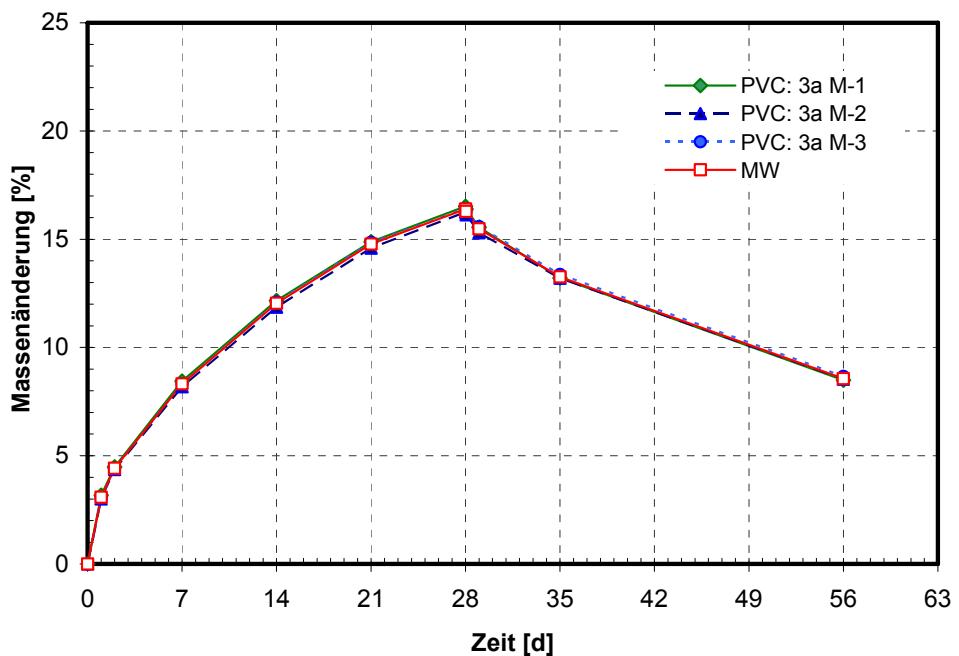


Bild 25: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a M, Masseänderung

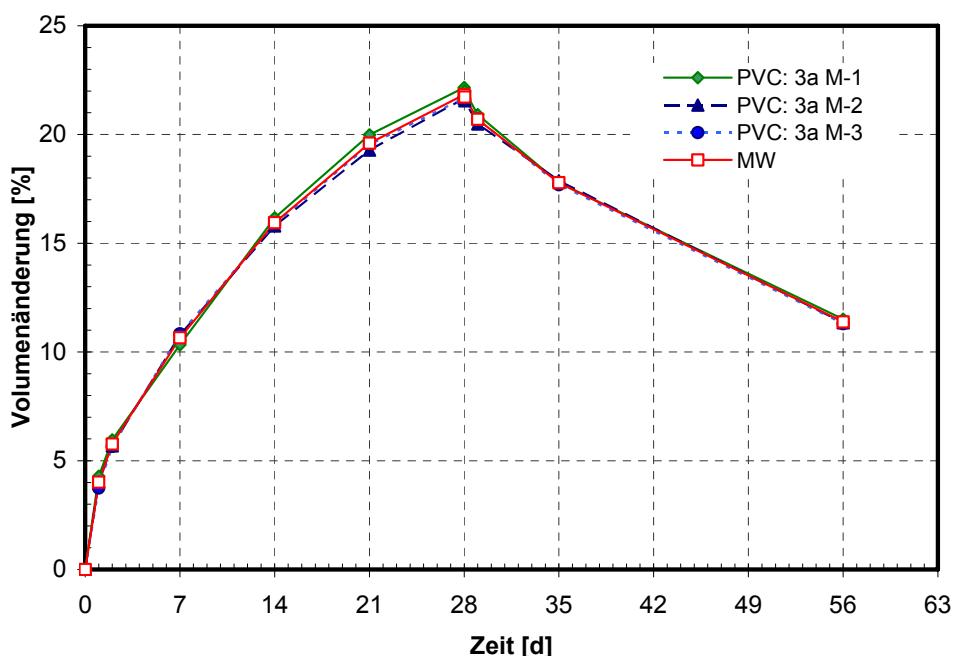


Bild 26: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a M, Volumenänderung

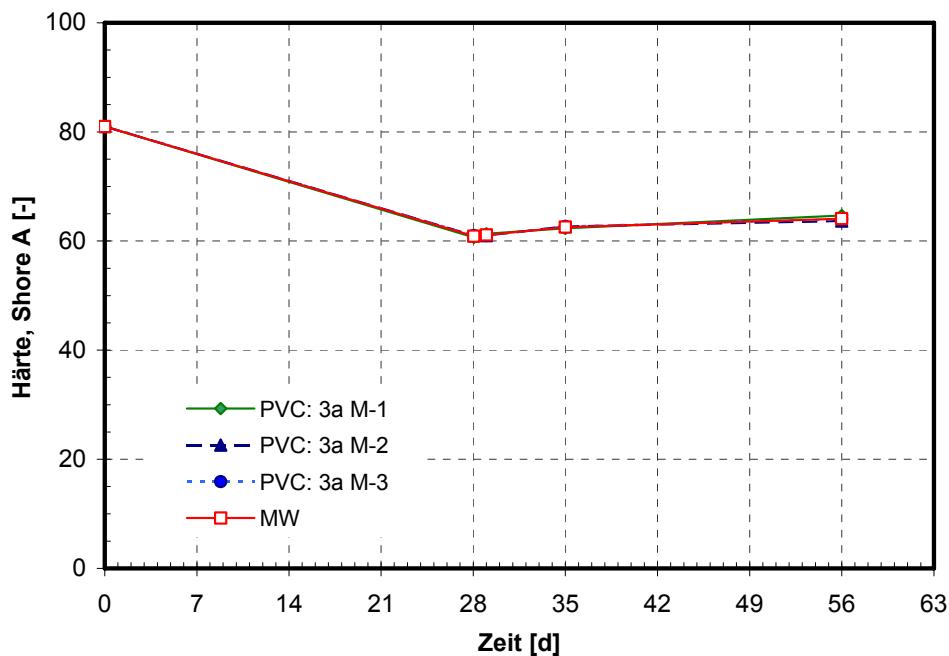


Bild 27: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a M, Härteänderung (Shore-Einheiten)

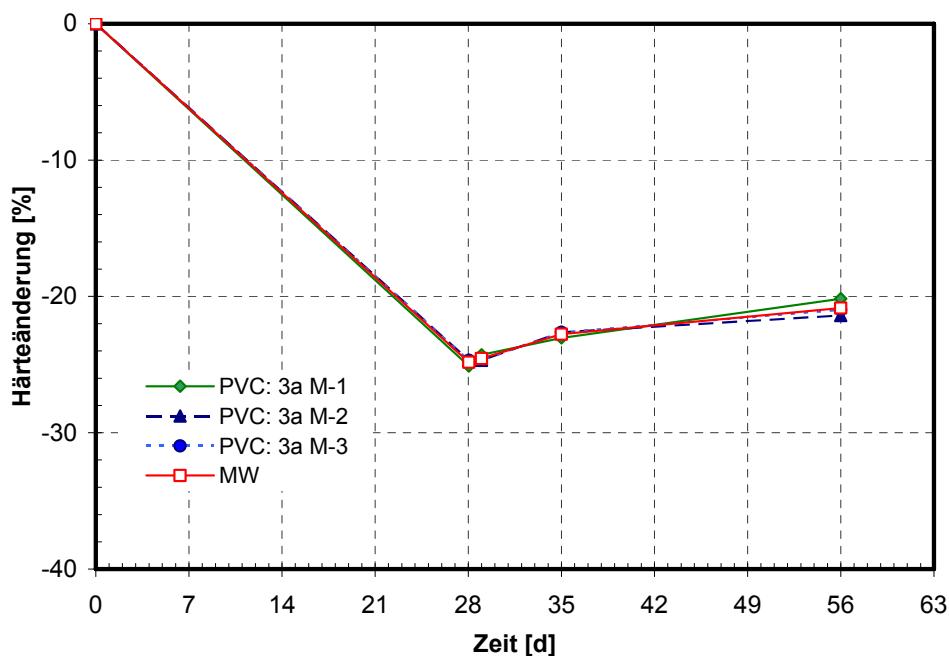


Bild 28: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a M, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

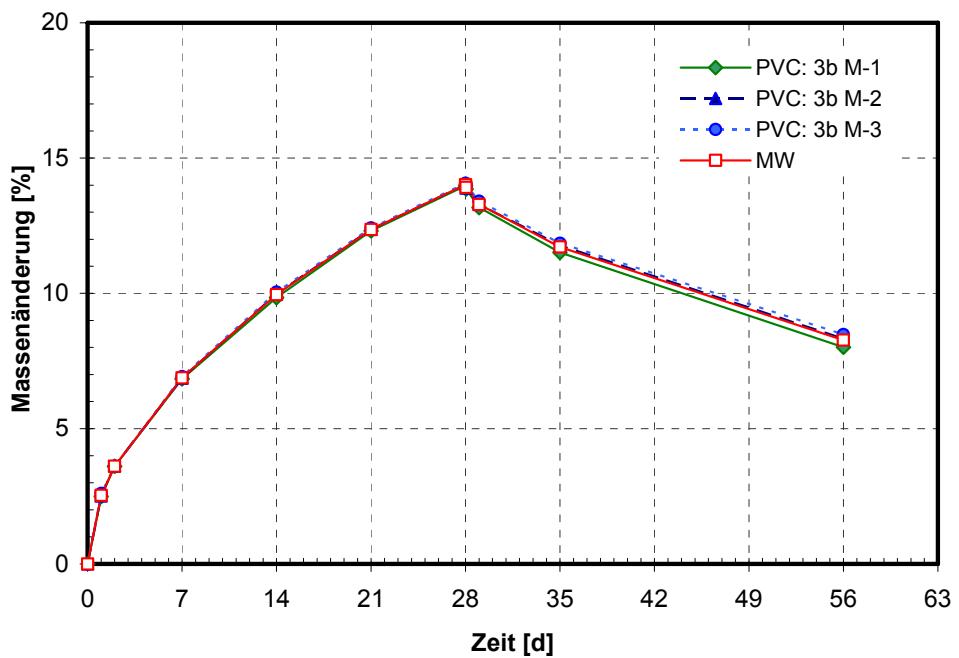


Bild 29: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b M, Masseänderung

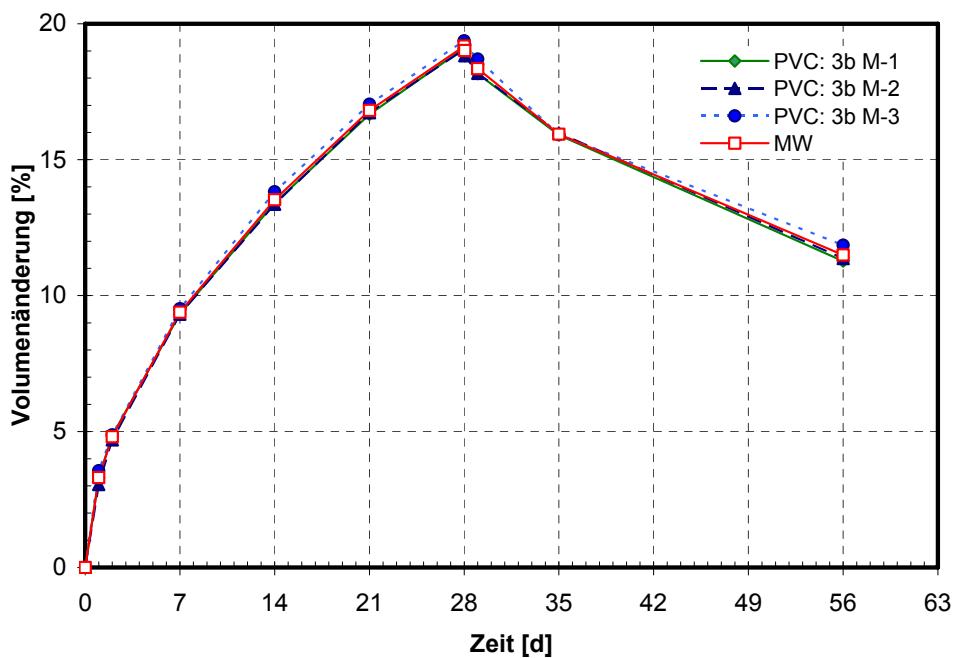


Bild 30: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b M, Volumenänderung

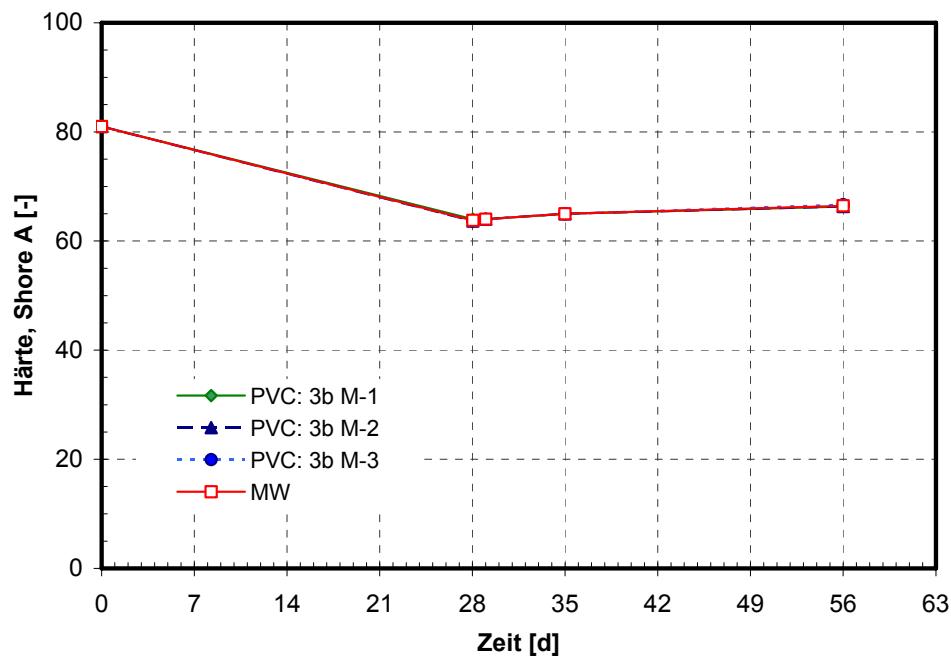


Bild 31: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b M, Härteänderung (Shore-Einheiten)

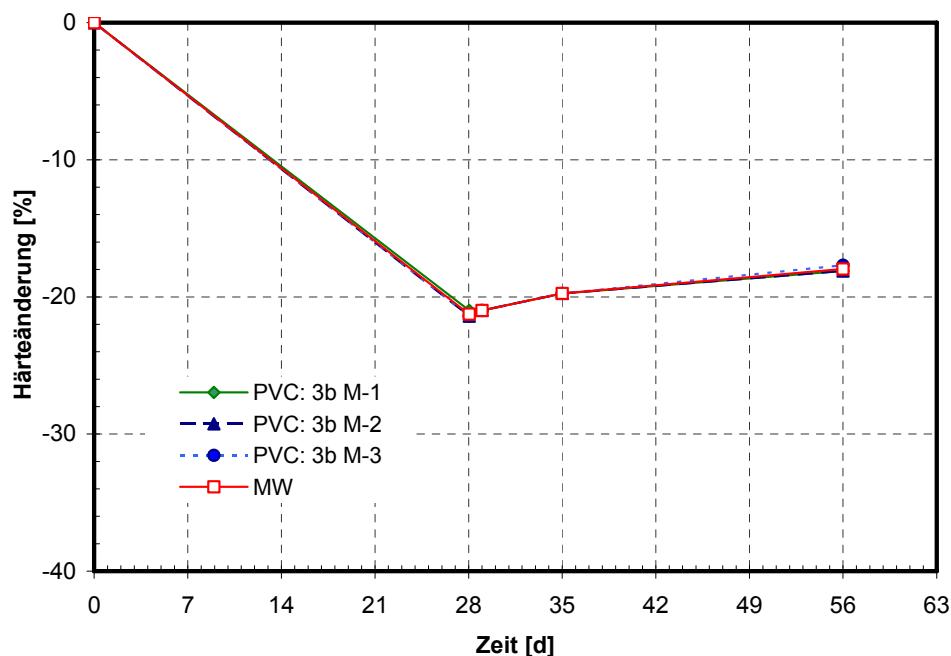


Bild 32: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b M, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

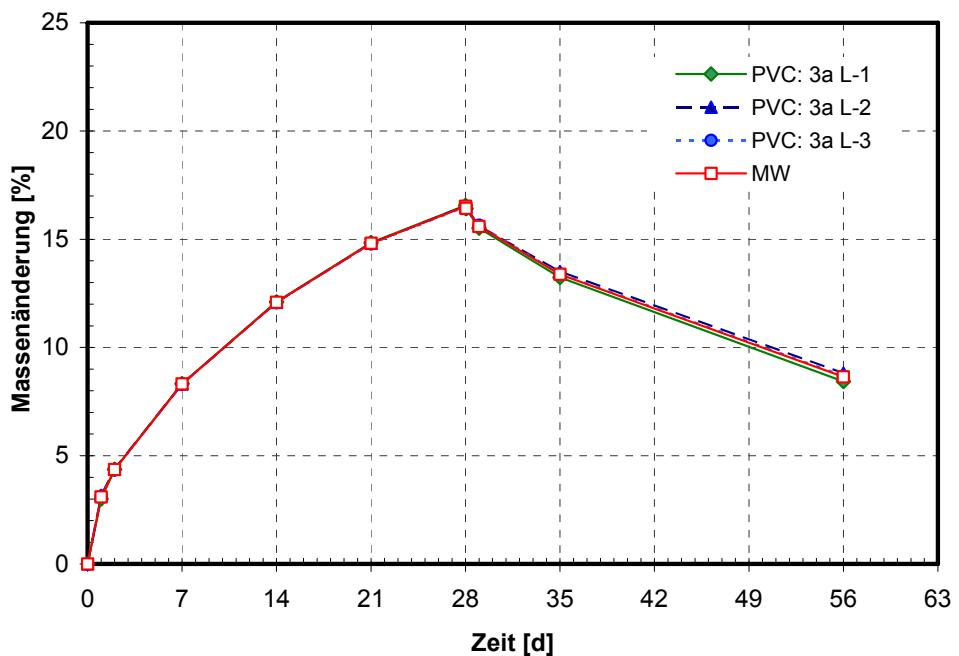


Bild 33: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a L, Masseänderung

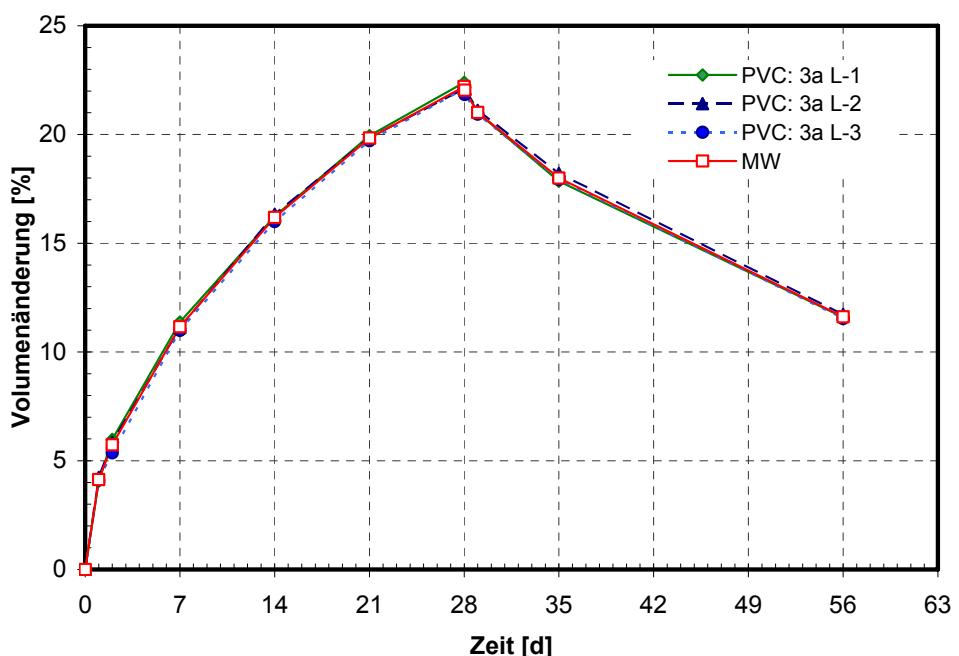


Bild 34: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a L, Volumenänderung

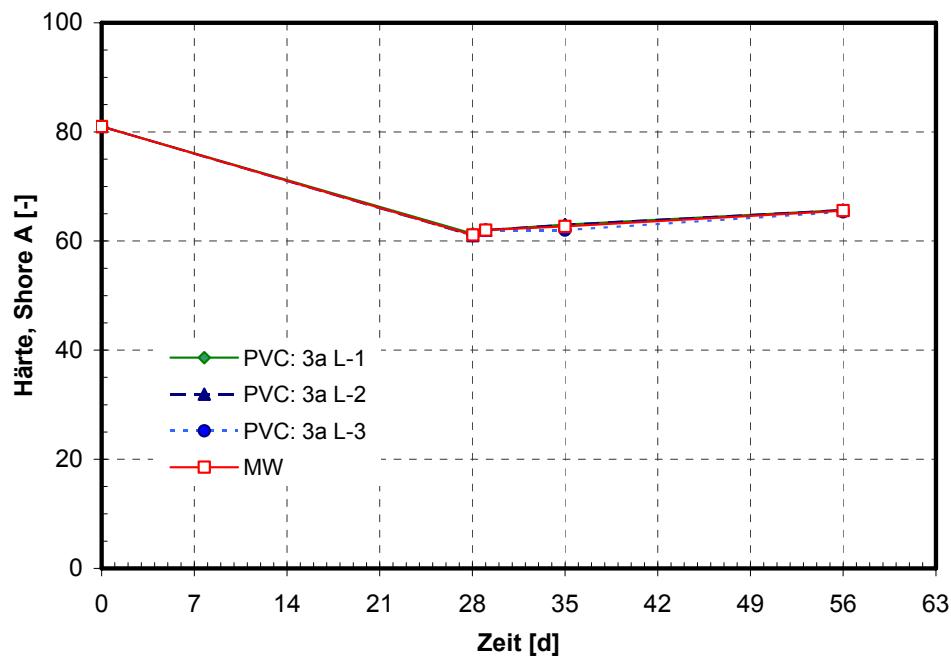


Bild 35: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a L, Härteänderung (Shore-Einheiten)

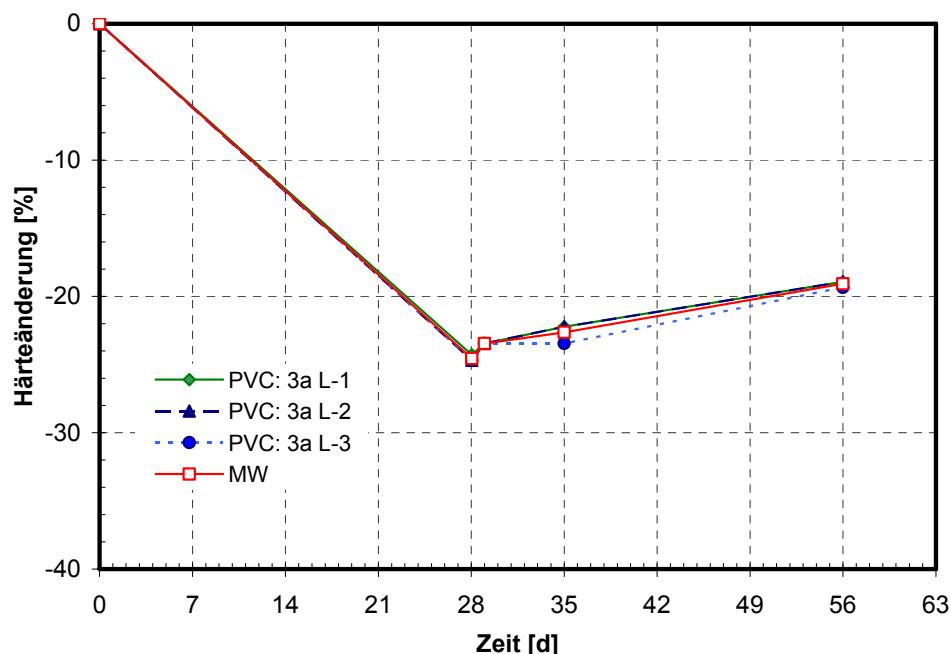


Bild 36: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3a L, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

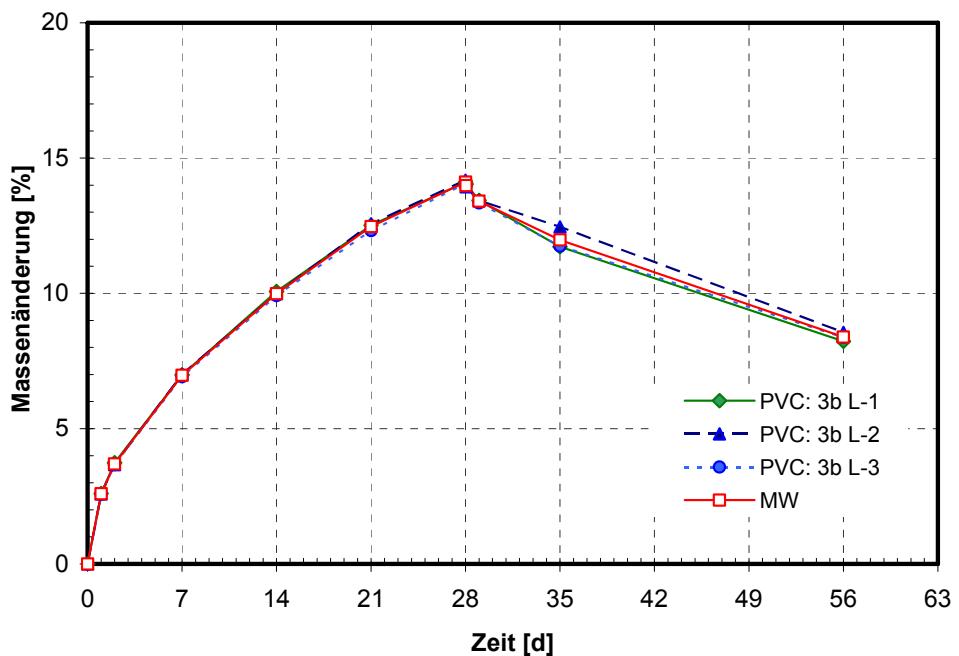


Bild 37: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b L, Masseänderung

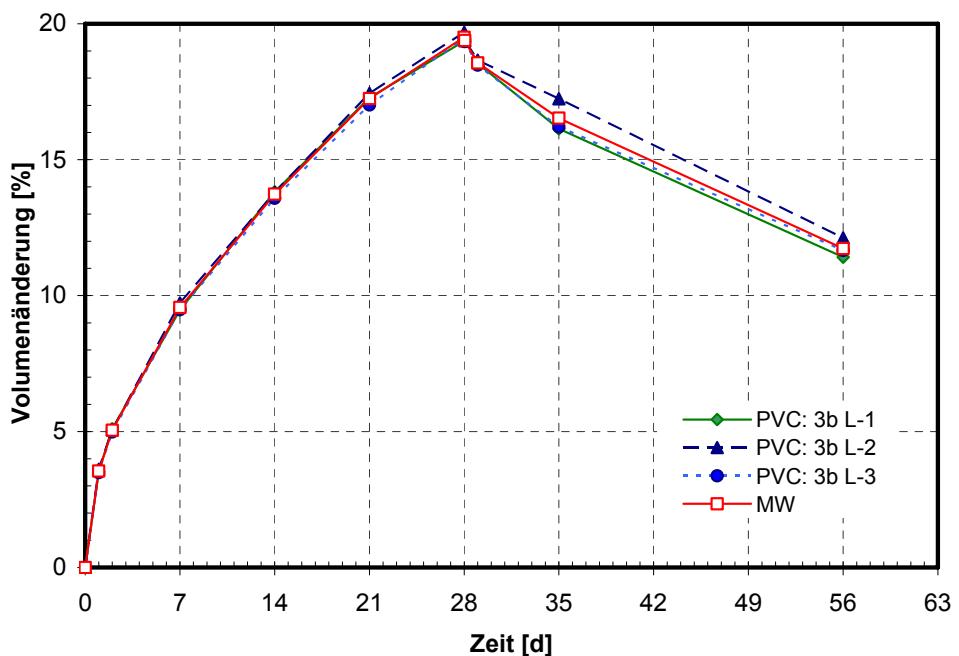


Bild 38: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b L, Volumenänderung

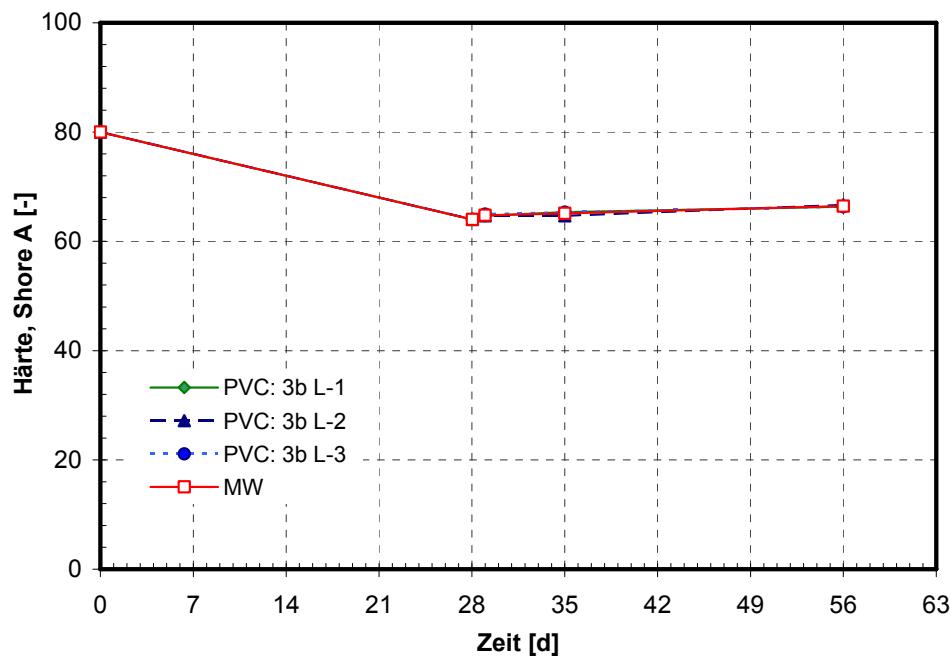


Bild 39: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b L, Härteänderung (Shore-Einheiten)

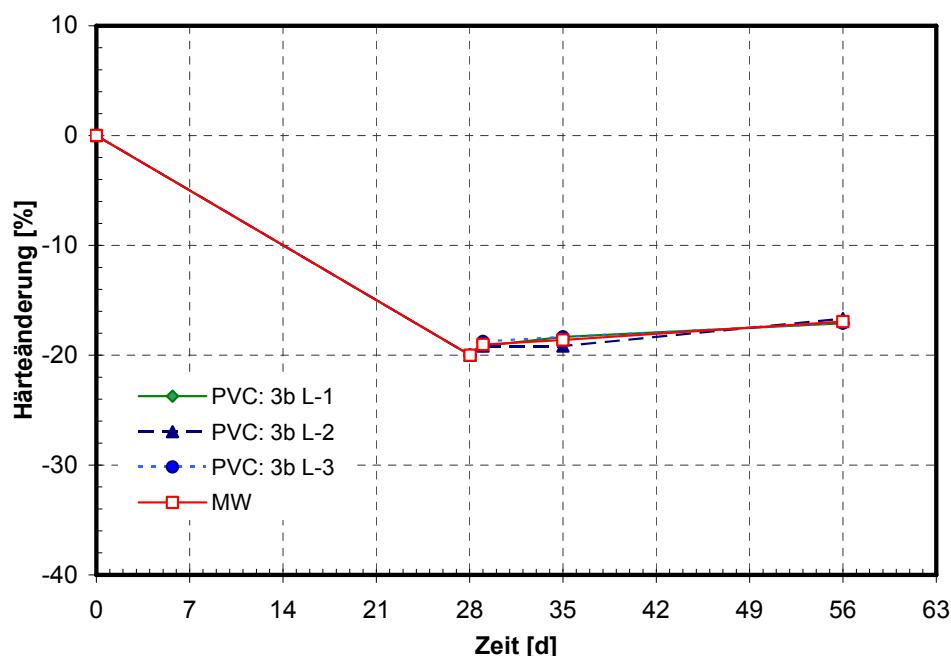


Bild 40: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in 3b L, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

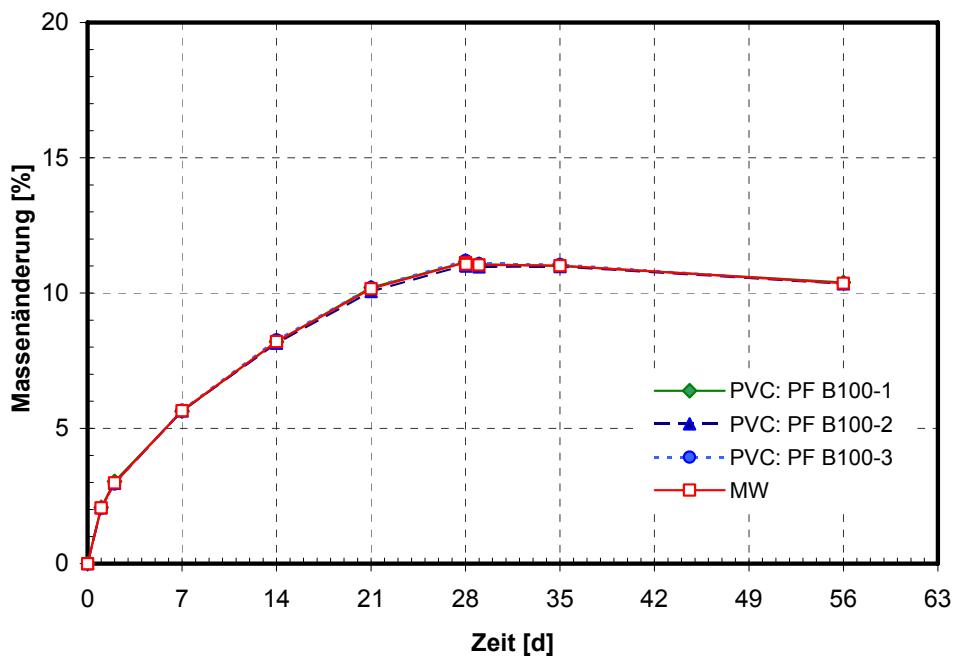


Bild 41: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF B100, Masseänderung

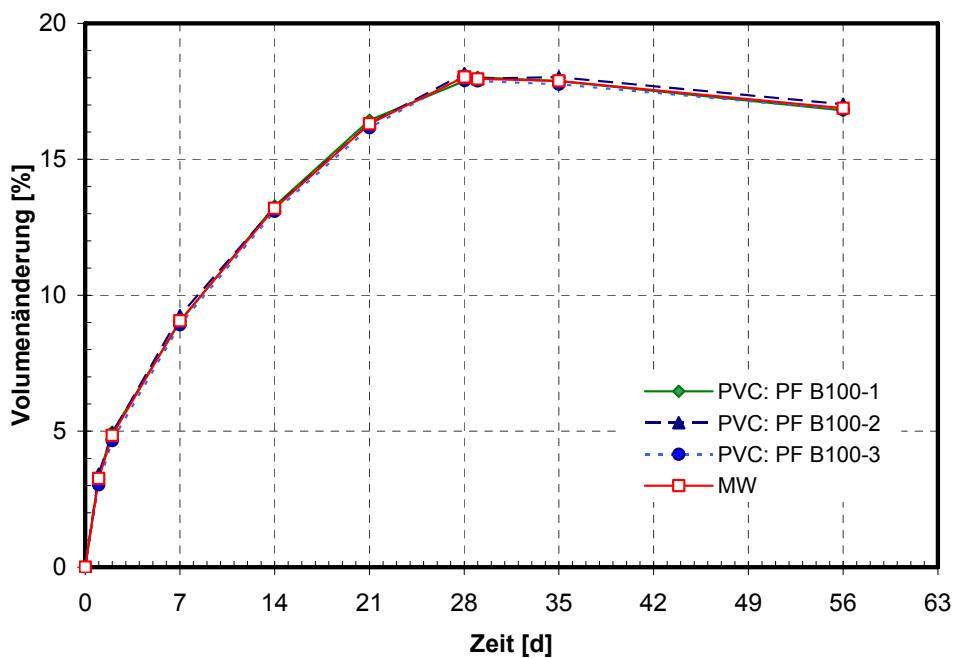


Bild 42: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF B100, Volumenänderung

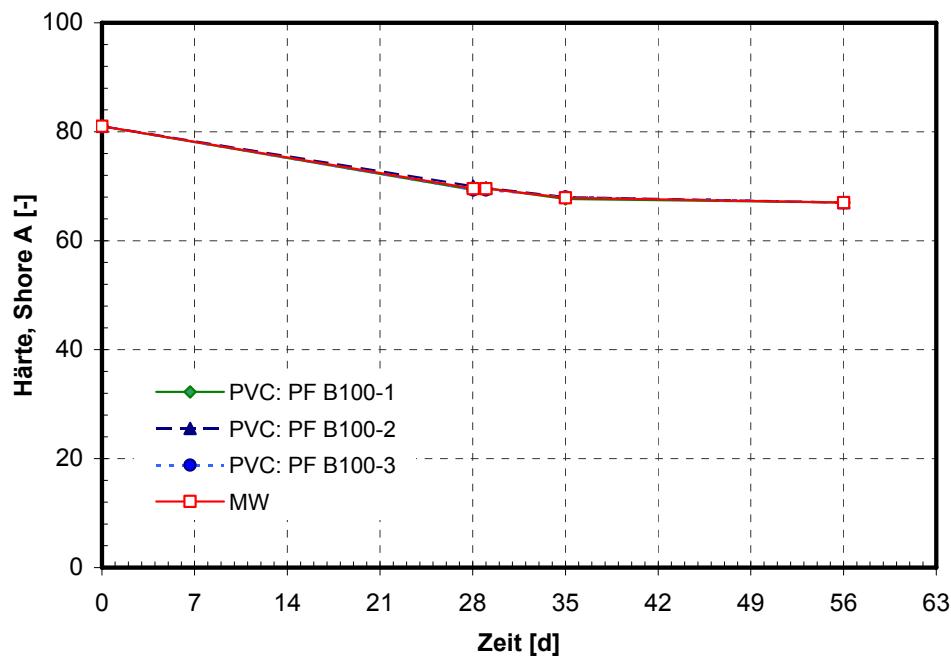


Bild 43: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF B100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

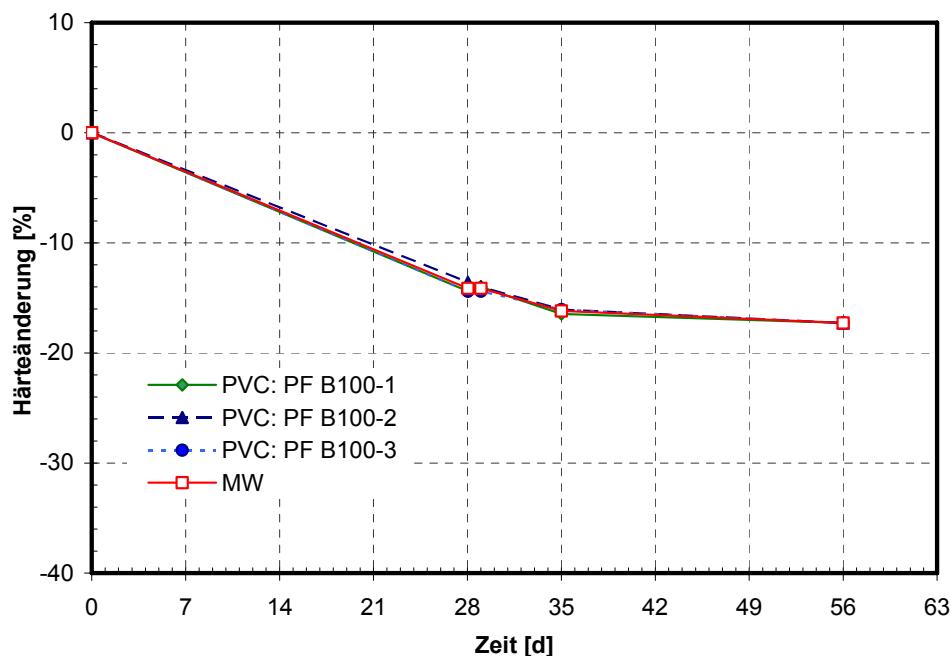


Bild 44: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF B100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

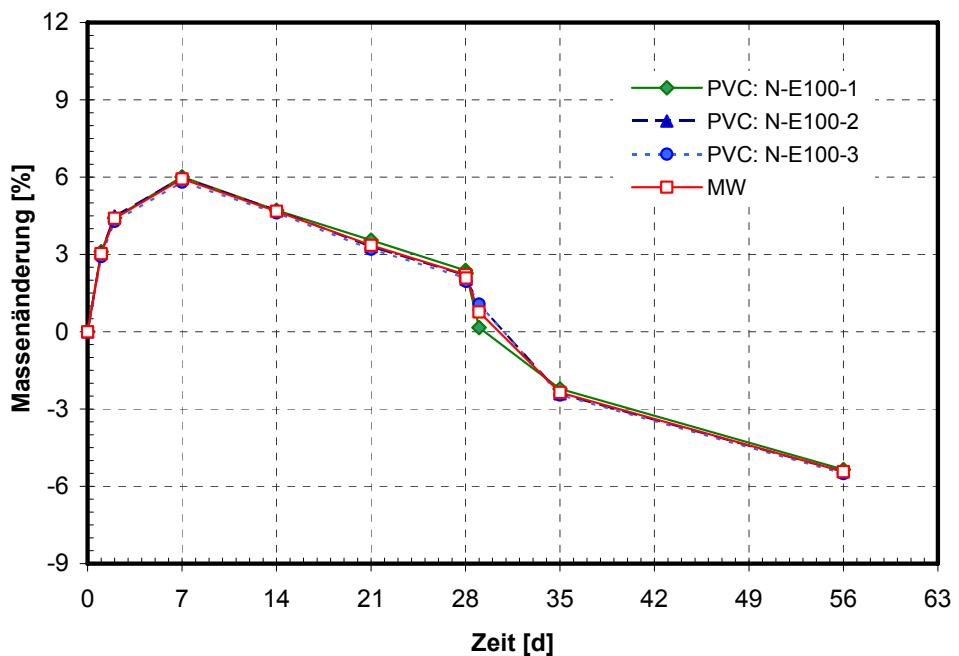


Bild 45: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in N-E100, Masseänderung

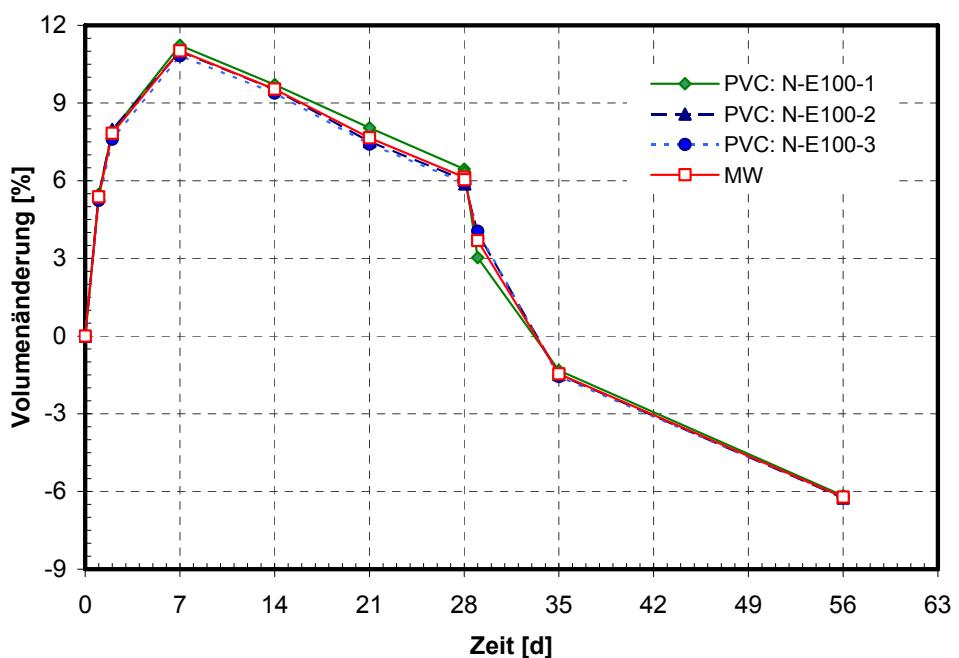


Bild 46: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in N-E100, Volumenänderung

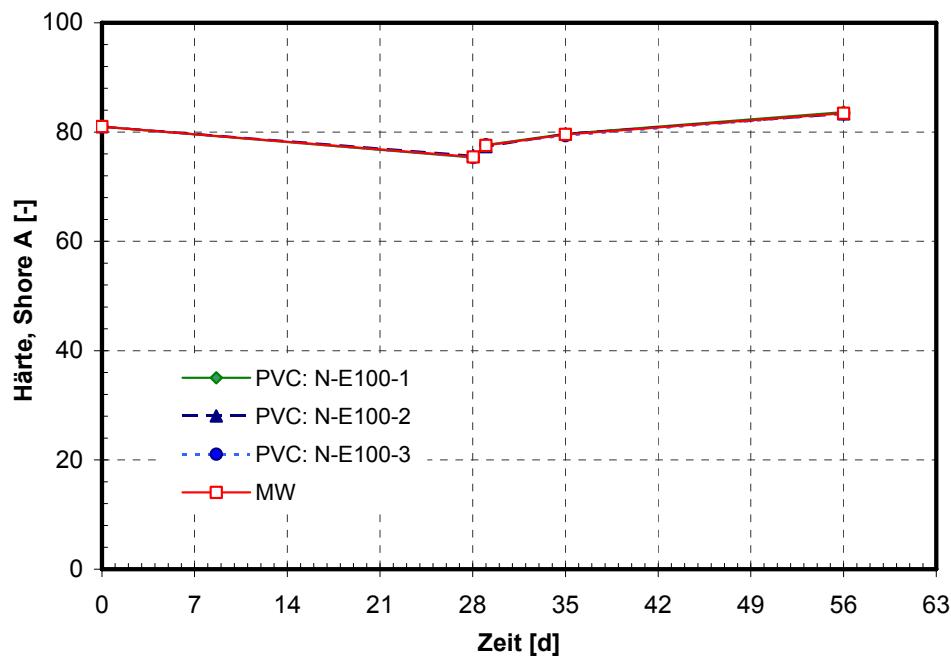


Bild 47: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in N-E100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

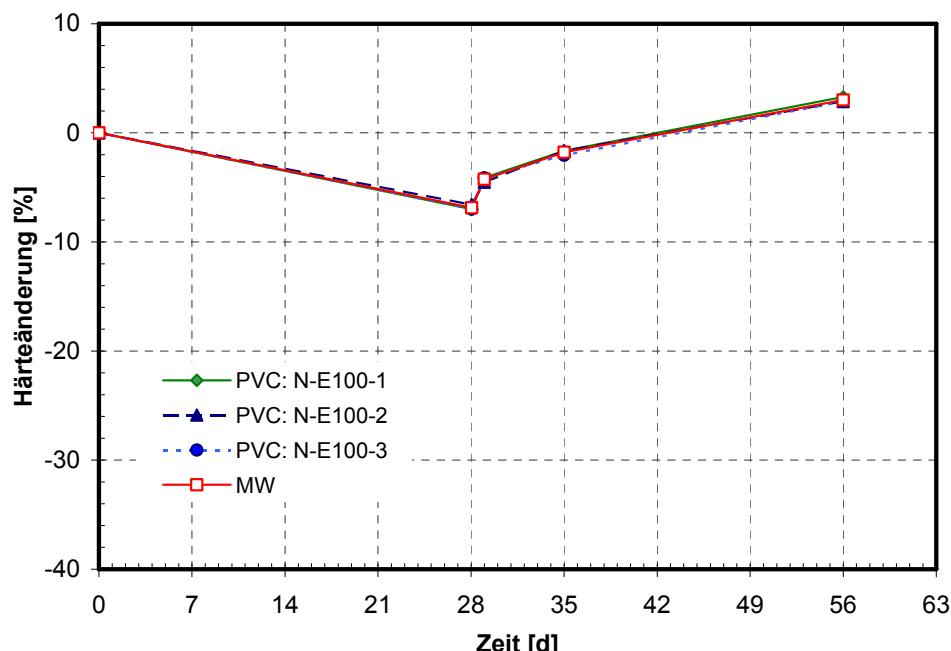


Bild 48: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in N-E100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

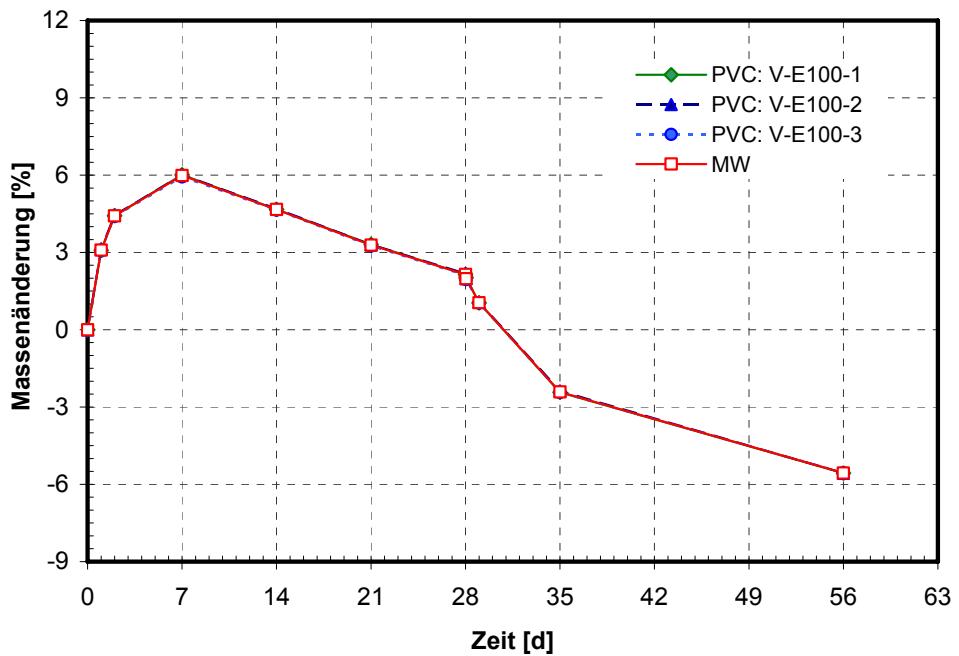


Bild 49: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in V-E100, Masseänderung

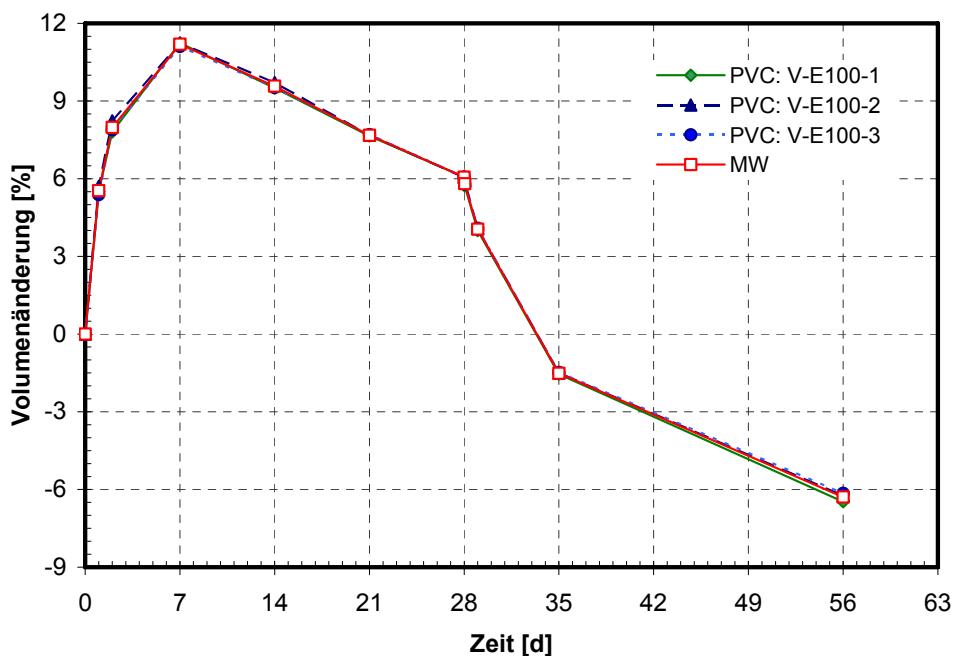


Bild 50: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in V-E100, Volumenänderung

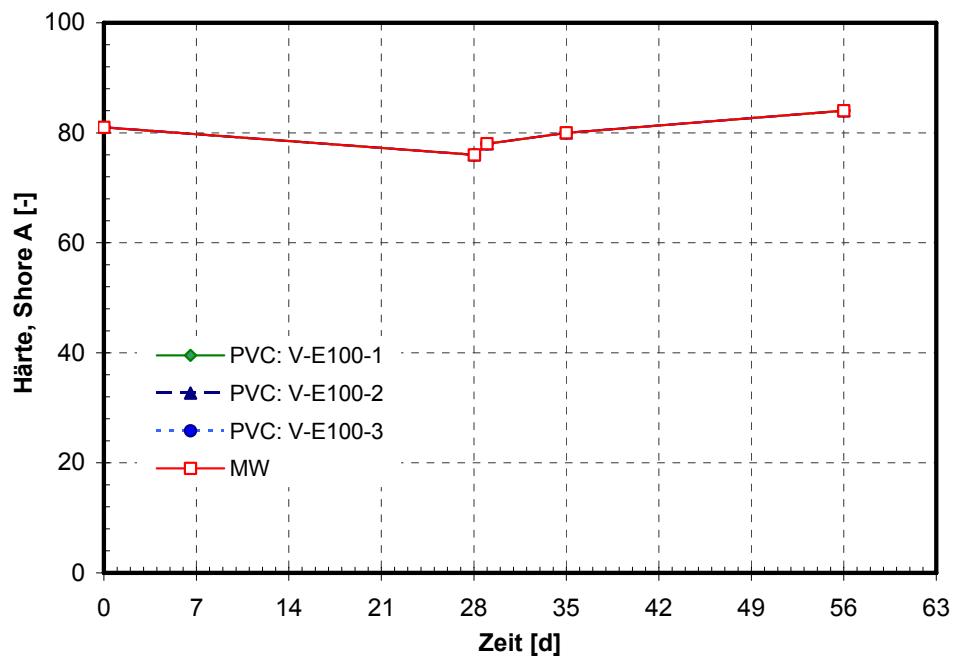


Bild 51: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in V-E100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

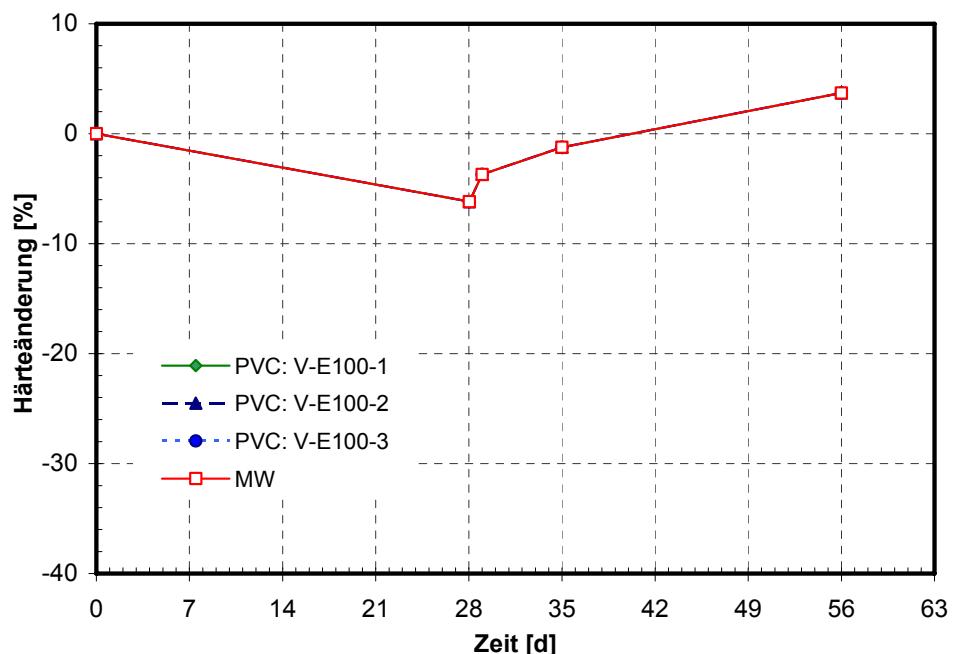


Bild 52: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in V-E100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

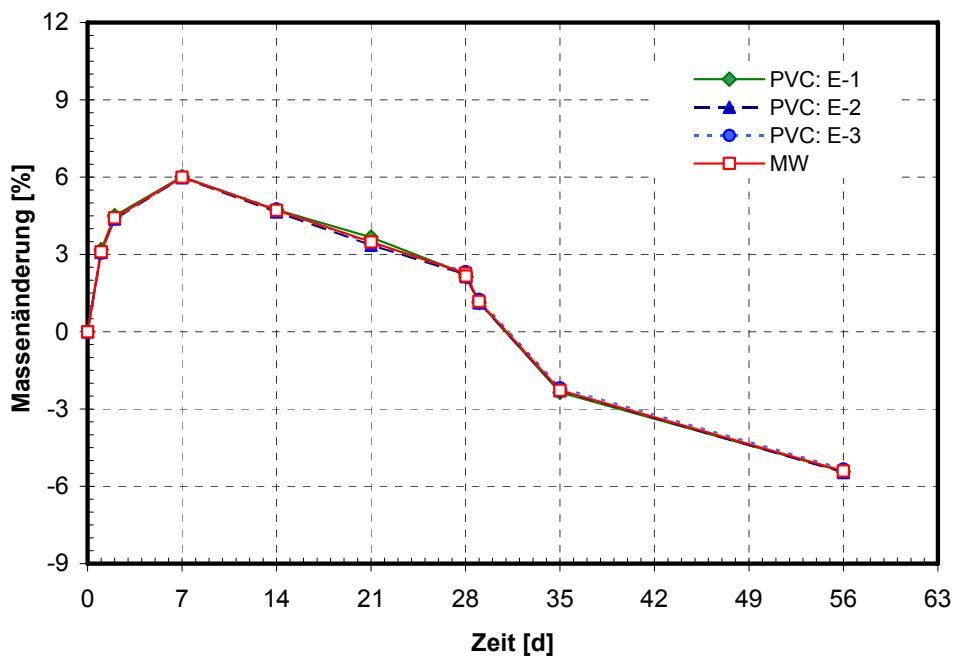


Bild 53: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in E, Masseänderung

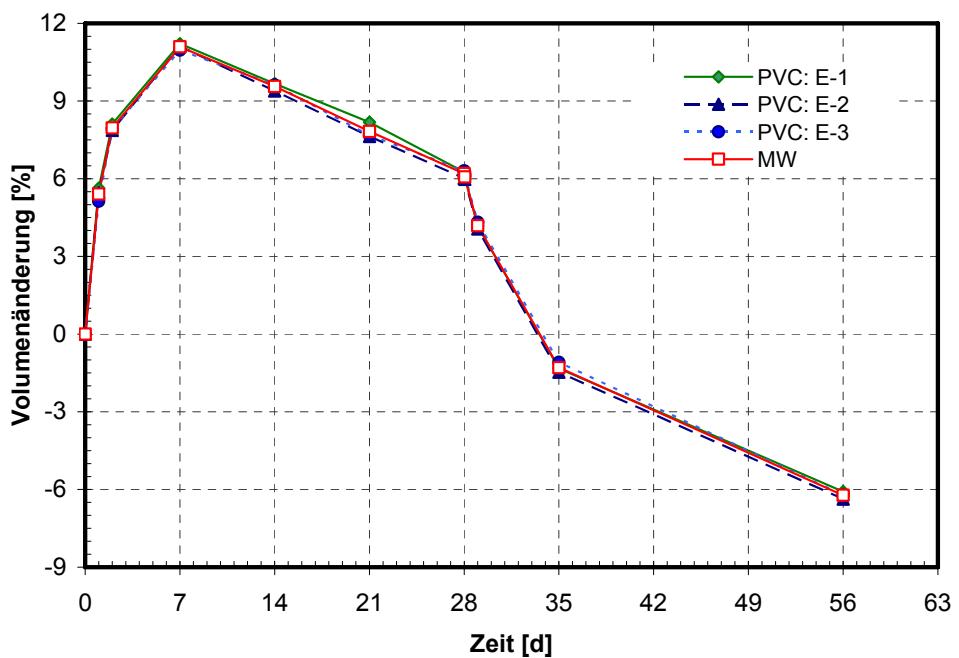


Bild 54: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in E, Volumenänderung

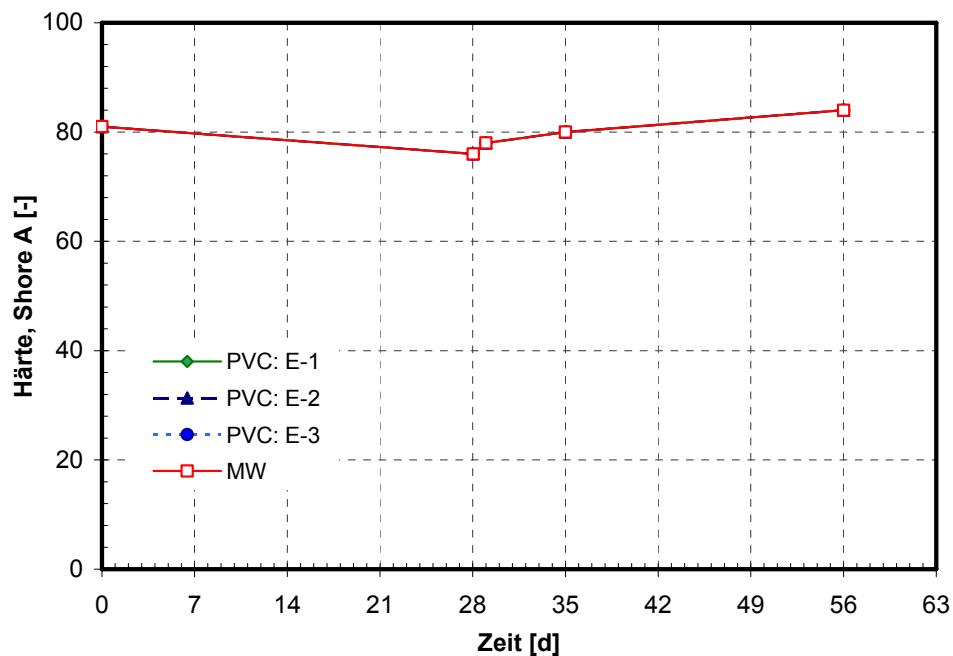


Bild 55: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in E, Härteänderung (Shore-Einheiten)

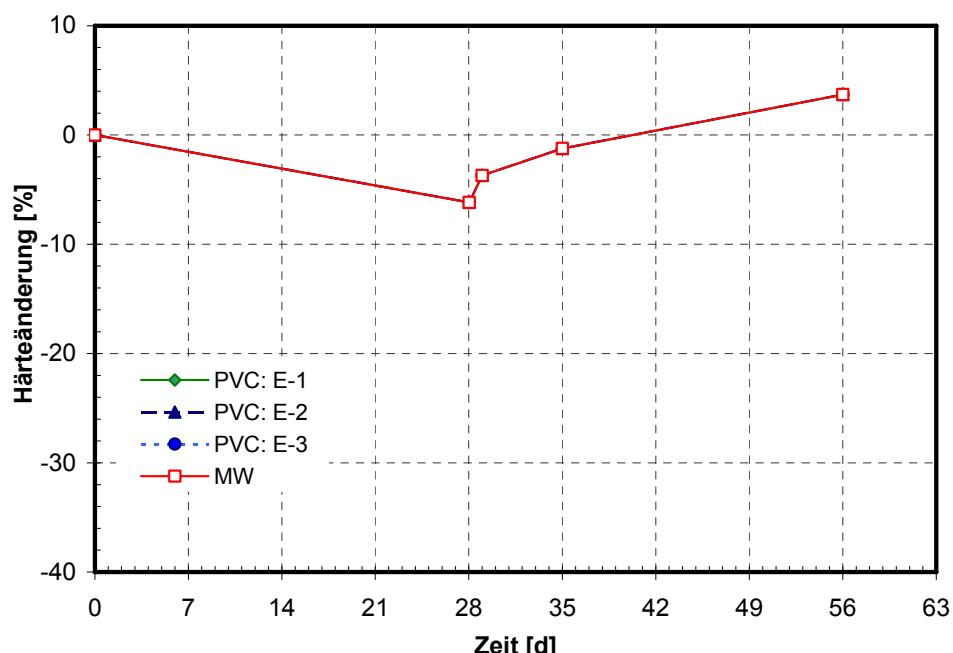


Bild 56: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in E, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

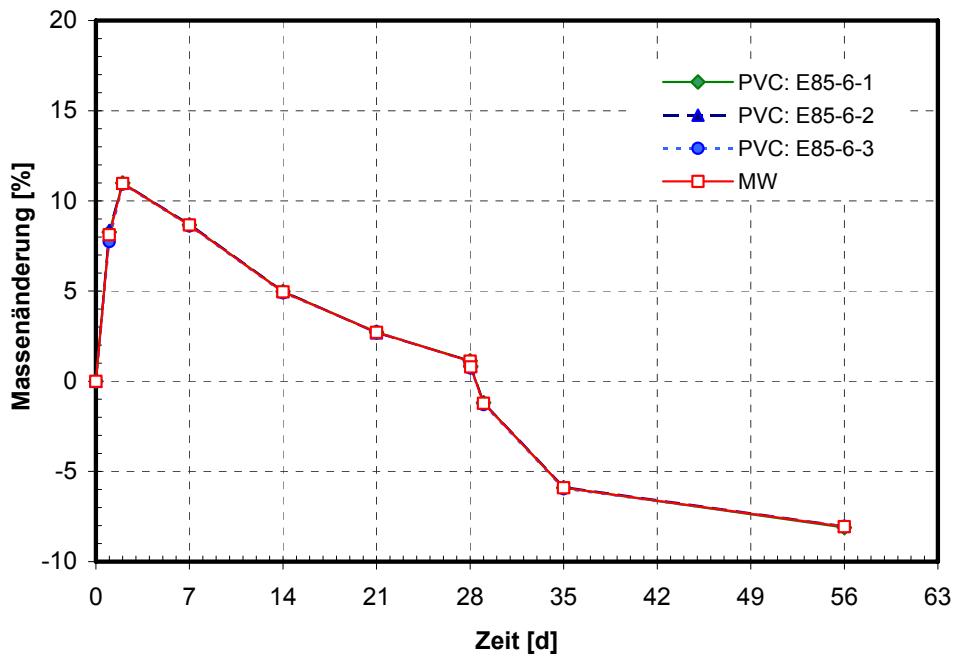


Bild 57: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in E85-6, Masseänderung

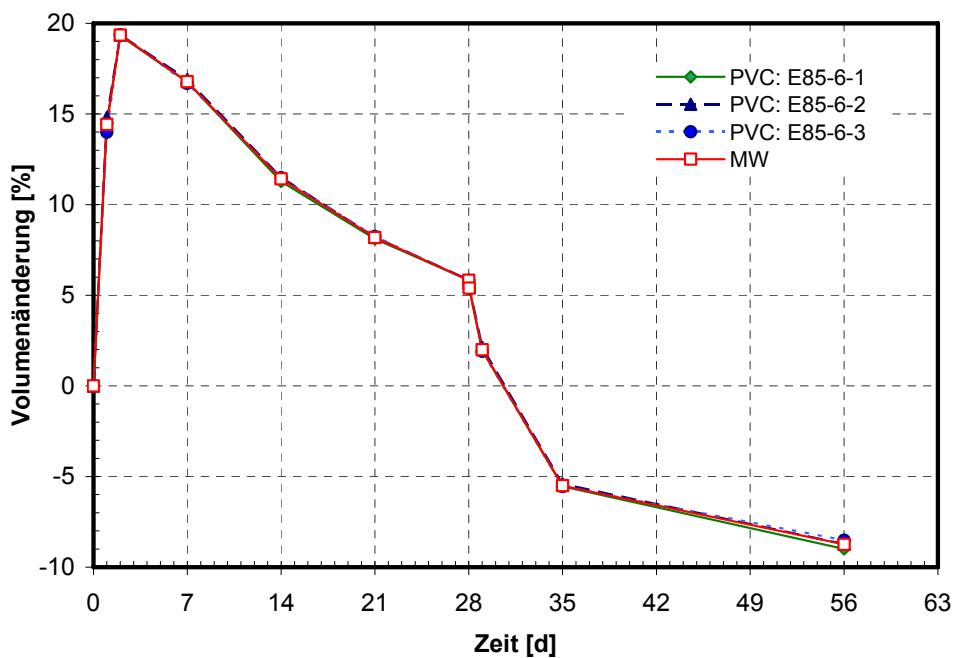


Bild 58: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in E85-6, Volumenänderung

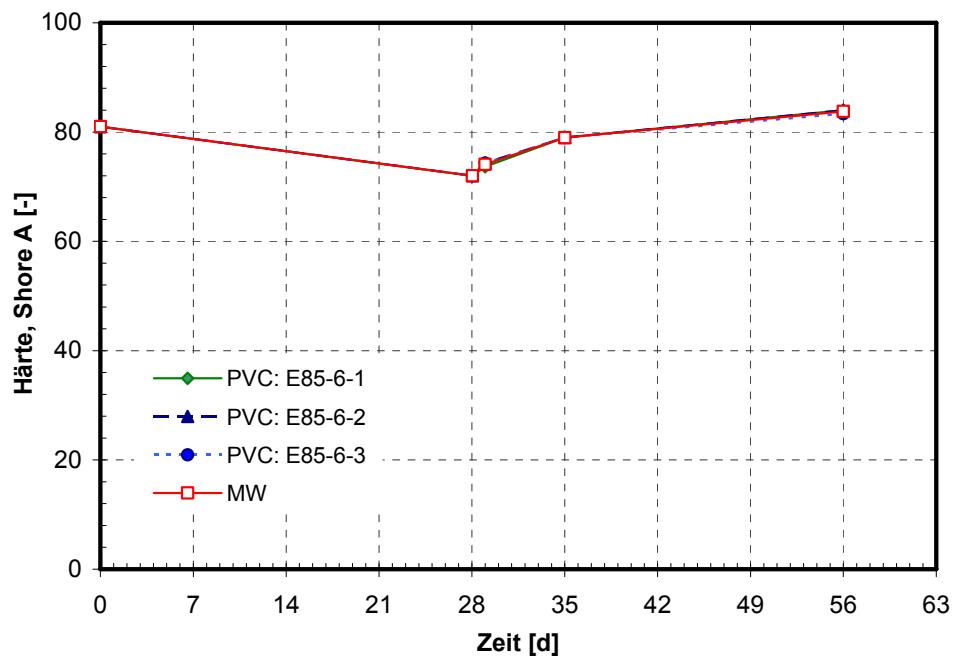


Bild 59: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in E85-6, Härteänderung (Shore-Einheiten)

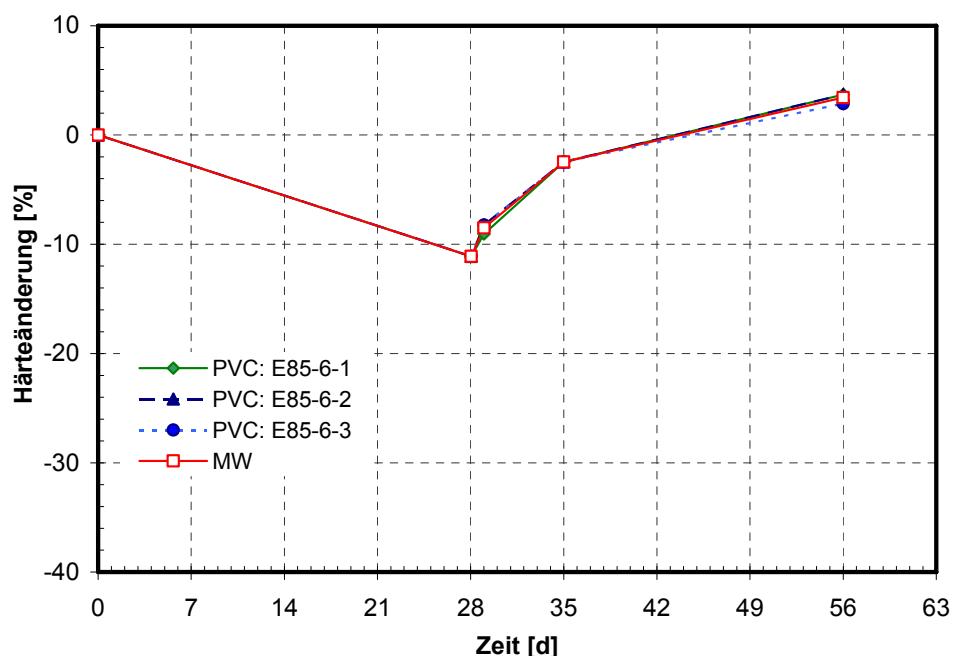


Bild 60: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in E85-6, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

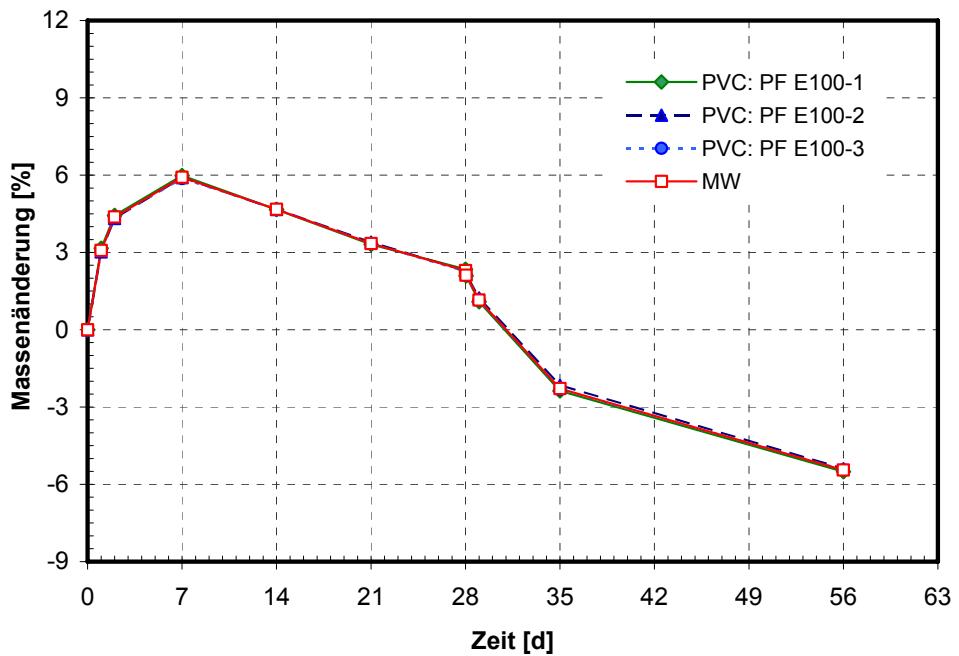


Bild 61: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E100, Masseänderung

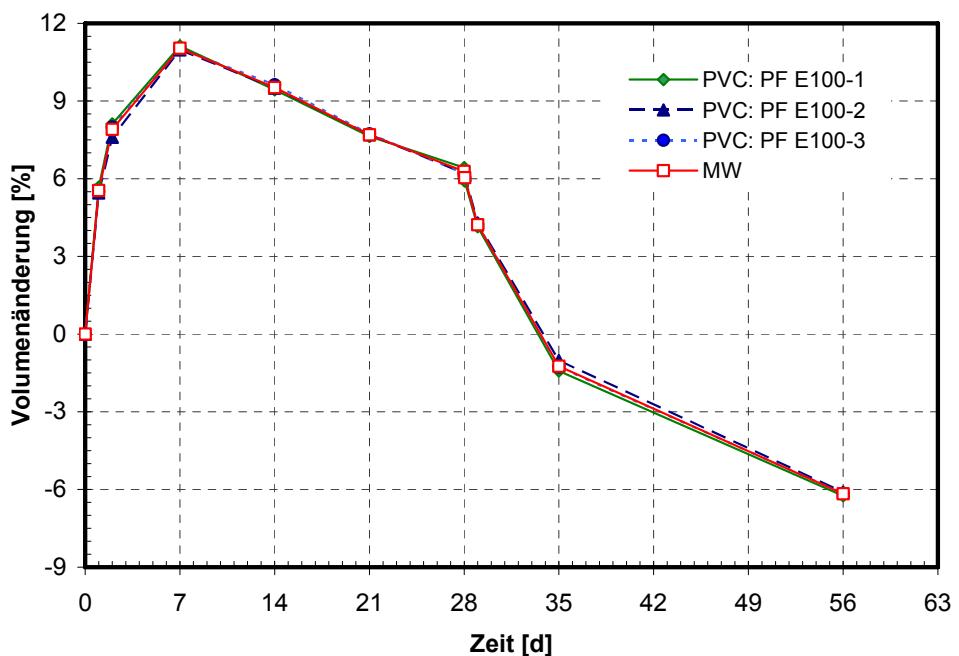


Bild 62: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E100, Volumenänderung

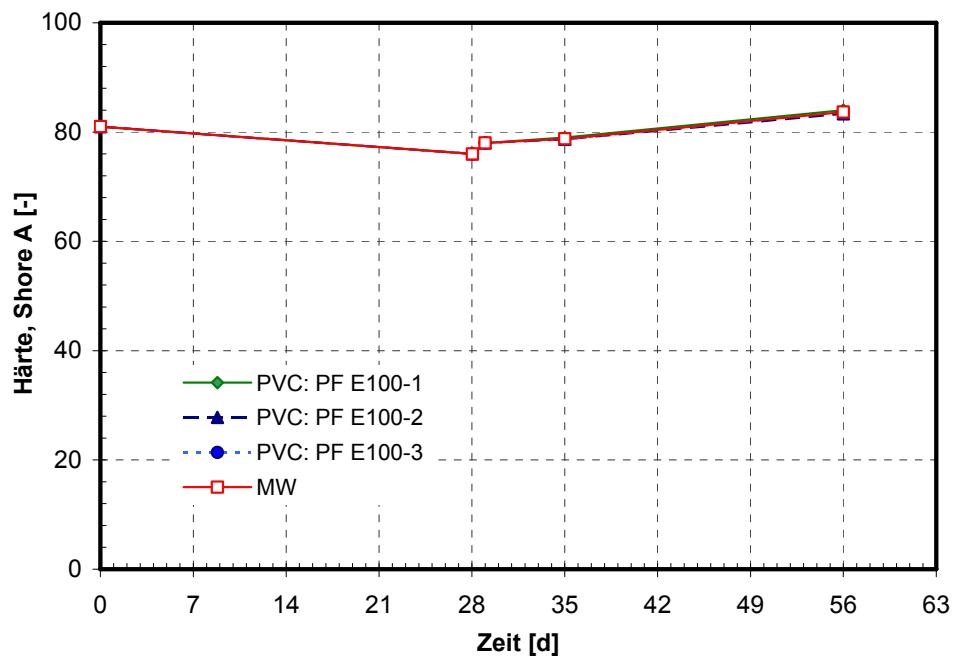


Bild 63: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E100, Härteänderung (Shore-Einheiten)

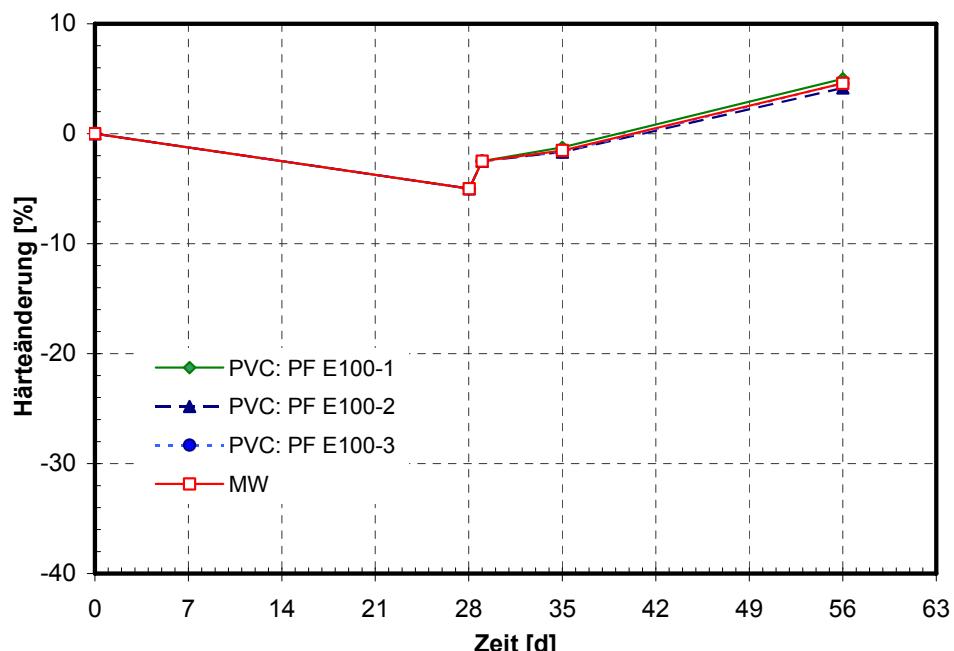


Bild 64: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E100, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C, 50 % r. F. gelagerte Probe

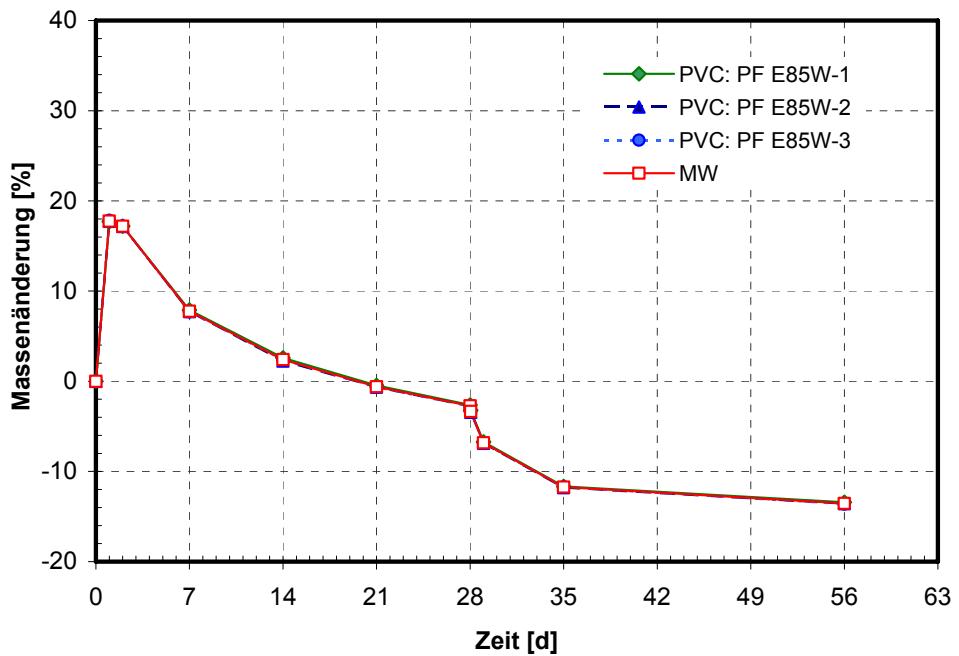


Bild 65: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E85W, Masseänderung

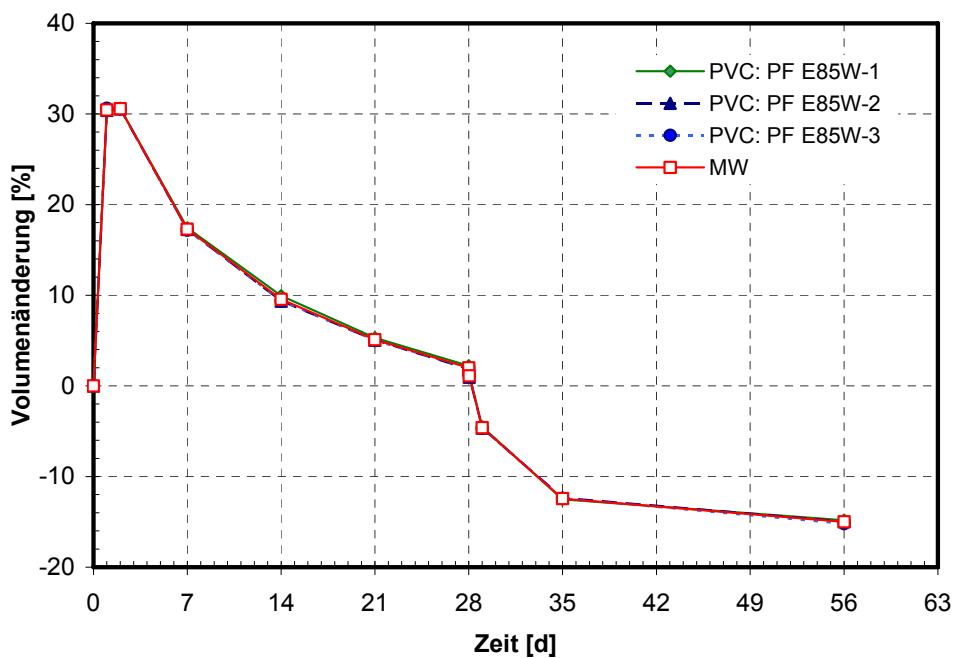


Bild 66: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E85W, Volumenänderung

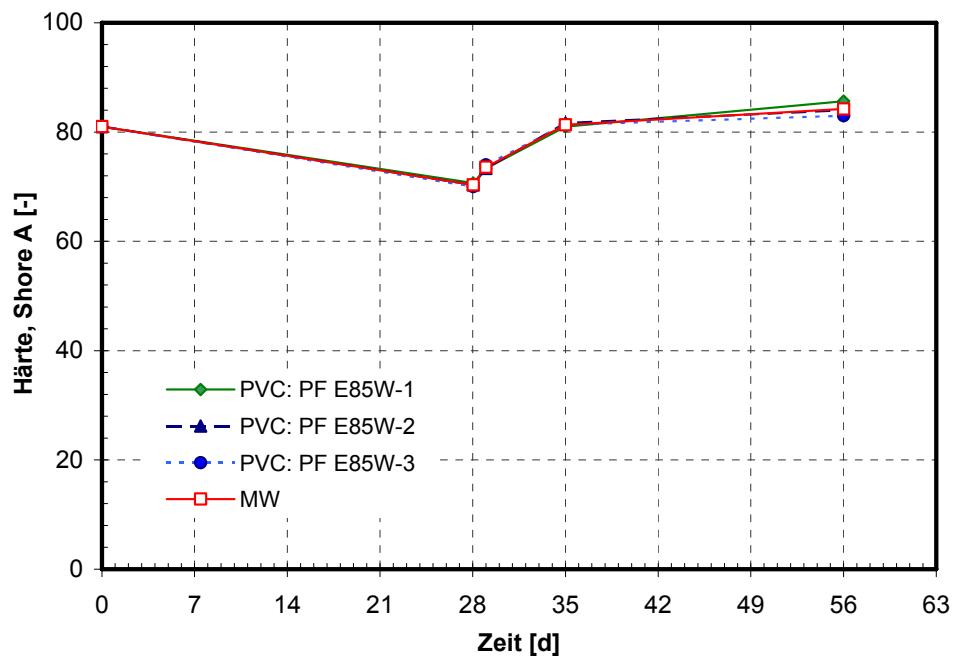


Bild 67: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E85W, Härteänderung (Shore-Einheiten)

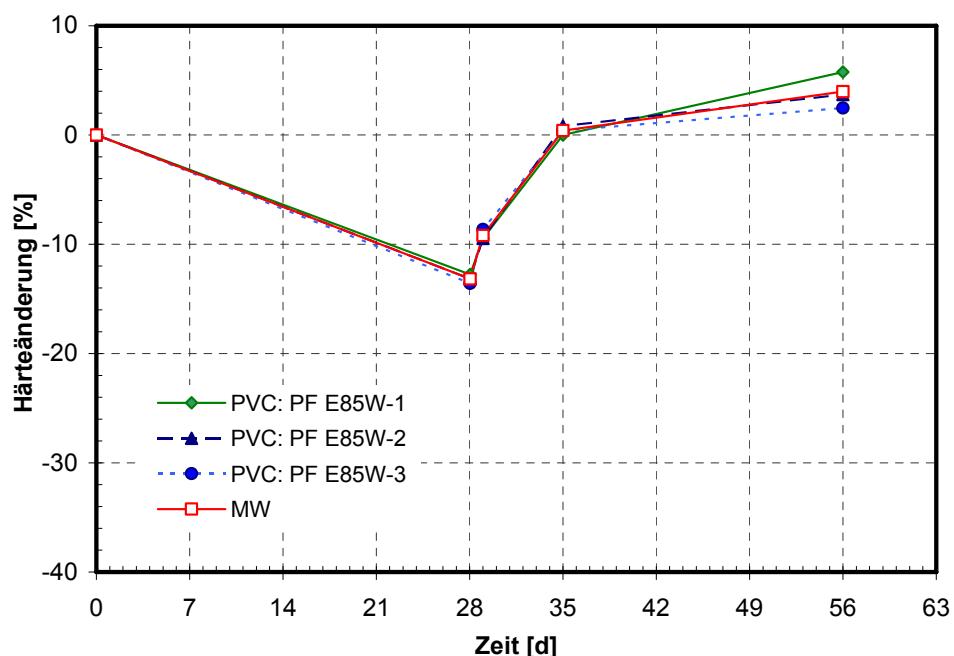


Bild 68: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E85W, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe

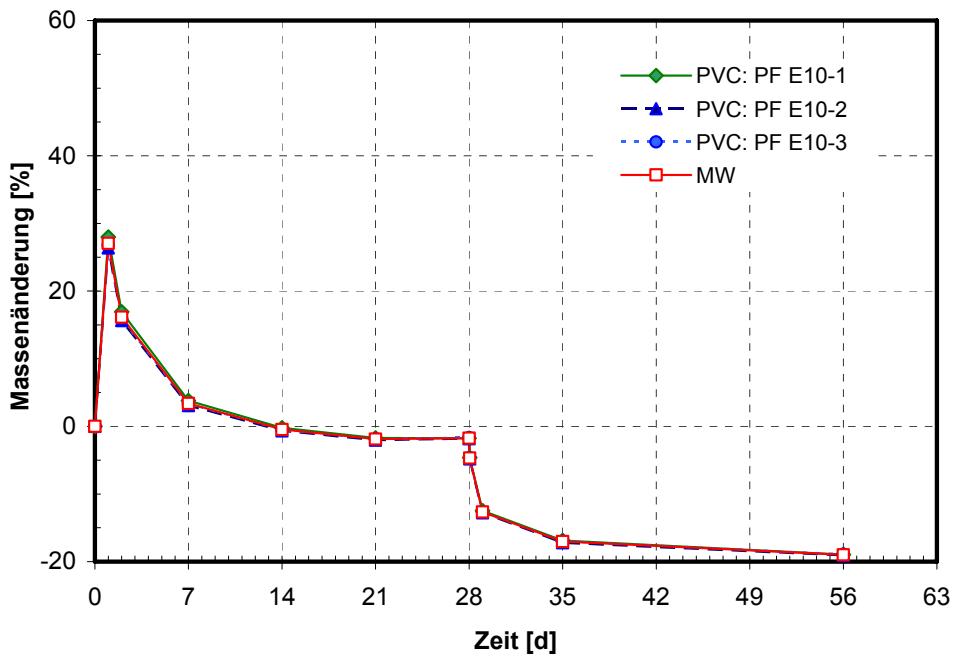


Bild 69: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E10, Masseänderung

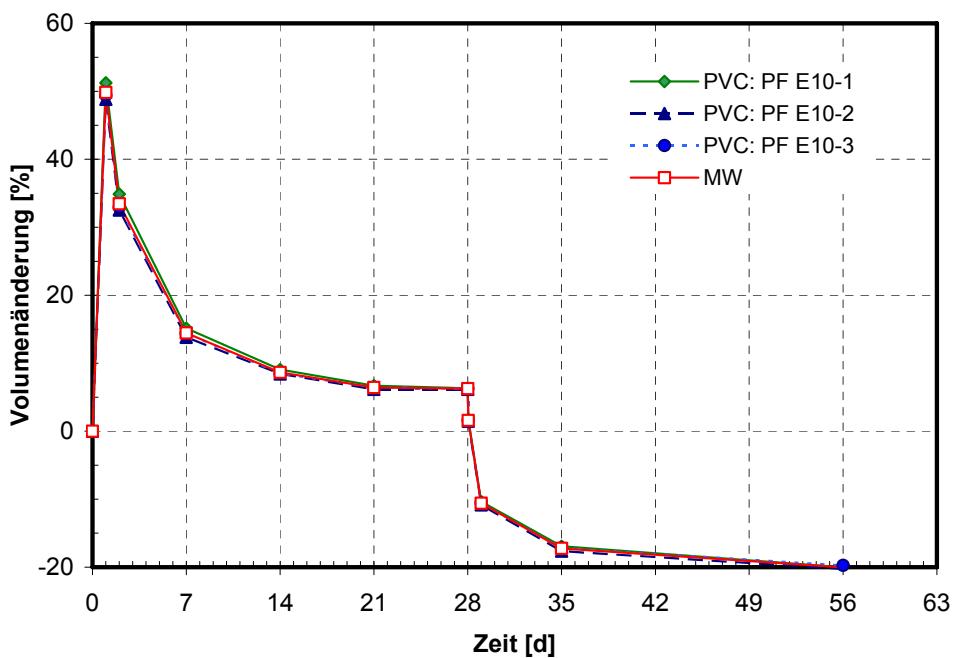


Bild 70: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E10, Volumenänderung

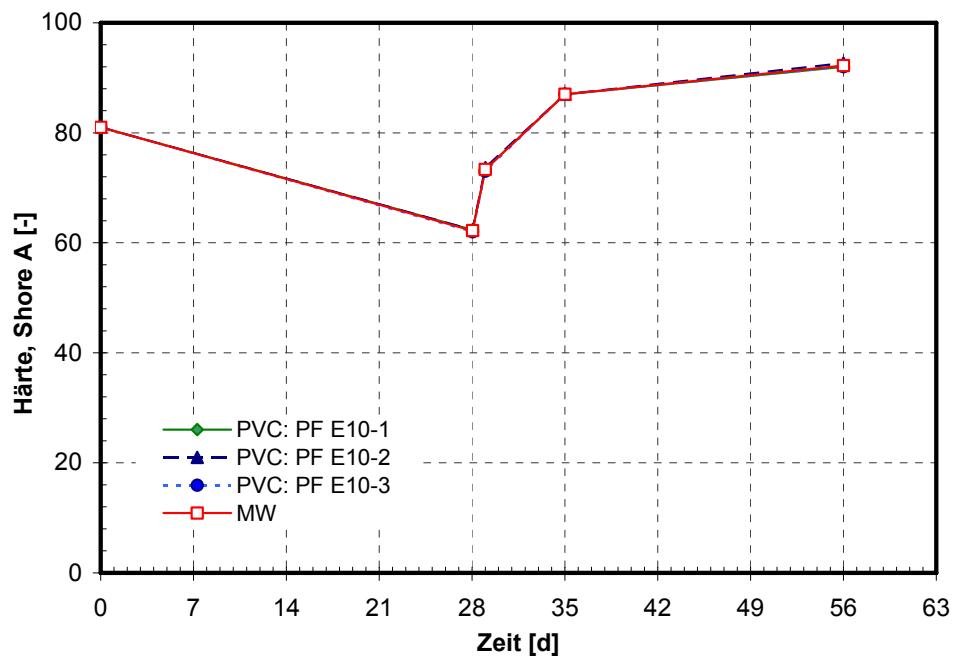


Bild 71: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E10, Härteänderung (Shore-Einheiten)

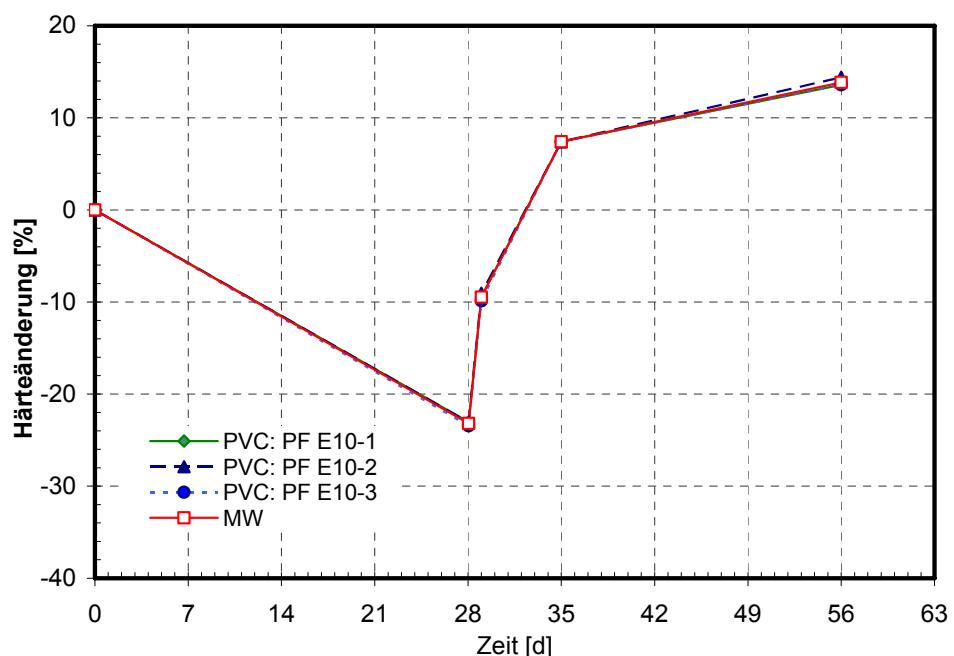


Bild 72: PVC-P Dichtungsbahn, Einlagerung in PF E10, Härteänderung, bezogen auf die bei 23 °C,
50 % r. F. gelagerte Probe