



# **Langzeit-Beständigkeit von Tunnel-Abdichtungssystemen aus Kunststoffen (Best TASK)**

**Long term durability of polymeric waterproofing systems  
for tunneling applications (Best TASK)**

**Stabilité à long terme des systèmes d'étanchéité des  
tunnels en plastique (Best TASK)**

**Empa  
Dr. Hans Kramert  
Beatrice Fischer  
Dr. Christiane Löwe**

**Forschungsprojekt FGU 2004/002 auf Antrag der Arbeitsgruppe  
Tunnelforschung (AGT)**

**Oktober 2014**

**1490**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



# **Langzeit-Beständigkeit von Tunnel-Abdichtungssystemen aus Kunststoffen (Best TASK)**

**Long term durability of polymeric waterproofing systems  
for tunneling applications (Best Task)**

**Stabilité à long terme des systèmes d'étanchéité des  
tunnels en plastique (Best Task)**

**Empa  
Dr. Hans Kramert  
Beatrice Fischer  
Dr. Christiane Löwe**

**Forschungsprojekt FGU 2004/002 auf Antrag der Arbeitsgruppe  
Tunnelforschung (AGT)**

# Impressum

## **Forschungsstelle und Projektteam**

### **Projektleitung**

Dr. Hans Kramert

### **Mitglieder**

Beatrice Fischer

Dr. Christiane Löwe

## **Begleitkommission**

### **Präsident**

Prof. Dr. Georg Anagnostou

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

Ing. Martin Bosshard

## **Antragsteller**

Arbeitsgruppe Tunnelforschung (AGT)

## **Bezugsquelle**

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Impressum</b> .....	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>9</b>
<b>Summary</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>13</b>
<b>2 Untersuchungsmaterial</b> .....	<b>15</b>
2.1 Dichtungsbahnen .....	16
2.1.1 Eingangskontrolle für die Dichtungsbahn 2 (neu) .....	16
2.1.2 Eingangskontrolle für die Dichtungsbahn 3 (neu) .....	17
2.1.3 Eingangskontrolle für die Dichtungsbahn 1702 (Original) .....	17
2.1.4 Eingangskontrolle für die Dichtungsbahn 1712 (Original) .....	17
2.1.5 Eingangskontrolle für die Dichtungsbahn 2369 (optimiert) .....	18
2.1.6 Eingangskontrolle für die Dichtungsbahn 2385 (optimiert) .....	18
2.2 Drainagematerialien .....	19
2.2.1 Eingangskontrolle für das Drainagematerial 1801(Original) .....	19
2.2.2 Eingangskontrolle für das Drainagematerial 2302 (optimiert).....	19
2.2.3 Eingangskontrolle für das Drainagematerial 2304 (nachgebessert).....	19
2.2.4 Eingangskontrolle für das Drainagematerial 2355 (optimiert).....	20
<b>3 Alterung und Folgeprüfungen</b> .....	<b>21</b>
3.1 Alterungsbedingungen .....	21
3.2 Folgeprüfungen .....	22
3.2.1 Visuelle Beurteilung .....	22
3.2.2 Massenänderung .....	25
3.2.3 Zugversuche.....	44
3.2.4 Schlagzugzähigkeit .....	49
3.2.5 Bestimmung der Sauerstoffinduktionszeit mittels DSC (OIT Messung) .....	57
<b>4 Diskussion</b> .....	<b>63</b>
4.1 Dichtungsbahnen .....	65
4.2 Drainagematerialien .....	66
4.3 Allgemeine Feststellungen .....	66
4.3.1 Lebensdauerabschätzung.....	66
4.3.2 Beschleunigte Alterung .....	67
<b>5 Ausblick</b> .....	<b>69</b>
<b>Anhänge</b> .....	<b>71</b>
<b>Glossar</b> .....	<b>75</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>77</b>
<b>Projektabschluss</b> .....	<b>79</b>
<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen</b> .....	<b>83</b>



## Zusammenfassung

*Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung lassen den Schluss zu, dass die in den NEAT Basistunneln eingesetzten Abdichtungssysteme den besonders hohen Anforderungen, die in den Tunneln herrschen, standhalten können und eine Lebensdauer von bis zu 100 Jahren erwarten lassen.*

Die Frage, ob die Abdichtungssysteme der NEAT, den an sie gestellten Anforderungen tatsächlich genügen, lag diesem Projekt zu Grunde. Das zweijährige Evaluationsverfahren, welches vor Baubeginn durchgeführt wurde, ging ebenfalls dieser Frage nach. Die ursprünglich untersuchten Materialien der Abdichtungssysteme zeigten jedoch bereits nach einem Jahr viele Schwachstellen auf. Deshalb wurden verbesserte Produkte in einer Nachbesserungsphase während eines Jahres genauer untersucht, bevor weitere Optimierungen zu den Produkten führten, die für den Einbau in der NEAT zugelassen wurden. Das Langzeitverhalten dieser Produkte konnte vor Baubeginn nicht mehr untersucht werden. Dies sollte in der vorliegenden Studie nachgeholt werden.

Deshalb wurden einerseits die Dichtungsbahnen 1702/2369 (PE/EVA) und die Drainagematerialien 1801/2302 (PE-HD) in originaler Form (Start Evaluationsverfahren)/ sowie in optimierter Form, wie im Abdichtungssystem Gotthard Tunnel eingesetzt, und andererseits die PVC Dichtungsbahnen 1712/2385 (original/optimiert) und die Drainagematerialien 2304/2355 aus PP (original/optimiert), welche als Kombination hauptsächlich im Lötschberg Tunnel zur Anwendung kamen, für die vorliegenden Untersuchungen ausgewählt. Bei den Dichtungsbahnen wurden zudem eine weitere PVC (2) Bahn und eine Dachdichtungsbahn auf PE Basis (3) mituntersucht.

Die Materialien wurden während 3 bis 5 Jahren in Wasser bei 55 und 70°C mit und ohne Lufteinblasen gelagert. Des Weiteren wurden Medienlagerungen in Säure und Lauge während eines Jahres durchgeführt. Im Anschluss an die Lagerungen wurden Proben in definierten Zeitabständen entnommen und deren äusseres Erscheinende beurteilt und die Massenänderungen im nassen und getrockneten Zustand bestimmt. Für die Dichtungsbahnen wurden darüber hinaus mechanische Eigenschaften anhand von Zugversuchen und Schlagzugversuchen bestimmt und diese mit Ergebnissen aus der auf 10 Jahre verlängerten Lagerung des Evaluationsverfahrens verglichen. Vereinzelt wurden zusätzliche Untersuchungen wie Bestimmung von Sauerstoffinduktionszeiten OIT durchgeführt.

Die PE/EVA basierten Dichtungsbahnen zeigten nach 5 Jahren Lagerung nur moderate Massenänderungen als auch wenig veränderte mechanische Eigenschaften auf. Die originale Dichtungsbahn 1702 wies bereits im Evaluationsverfahren ein ungünstiges Verhalten nach Lagerung in Lauge aus. Für die verbesserte Dichtungsbahn 2369 konnte ein günstigeres Verhalten gegenüber Laugenlagerung bestimmt werden. OIT Messungen lassen auf eine wirksamere Stabilisierung bezüglich thermo-oxidativer Prozesse im Vergleich zur Originalbahn 1702 schliessen.

Deutliche Gewichtszunahmen im nassen und teilweise auch im trockenen Zustand konnten für die PVC Bahnen 1712 und 2385 gefunden werden. Die mechanischen Eigenschaften lassen den Schluss zu, dass die optimierte Dichtungsbahn 2385 tatsächlich eine Verbesserung gegenüber der originalen Rezeptur 1712 darstellt. Der Ersatz von Weichmacher durch Wasser wirkt der Versprödung der Dichtungsbahn entgegen.

Für die Noppenbahnen 1801 konnte bereits im Evaluationsverfahren ein sehr gutes Alterungsverhalten bezüglich chemischer, thermischer und mikrobiologischer Belastung gefunden werden. Das sehr ähnliche Verhalten nach Wasserlagerungen für 2302 im Vergleich zu 1801 lässt für die optimierte Form 2302 ein gutes Langzeitverhalten erwarten.

Die Drainagematerialien 2304 und 2355 aus Polypropylen wiesen nach 5 Jahren Lagerung in Wasser Massenänderungen deutlich unter 4 % auf, jedoch deutlich mehr als die polyolefinisch basierten Dichtungsbahnen 1702/2369. Im Evaluationsverfahren wiesen Drainagematerialien aus PP ein sehr ungünstiges Langzeitverhalten auf und zerfielen

teilweise vollständig. Mit der Stabilisierung gegen thermo-oxidativen Abbau ist das Alterungsverhalten für das vorliegende Wirrgelege 2304 und 2355 deutlich verbessert und ein Zerfall sollte wesentlich später einsetzen.

Unter Einbezug der Ergebnisse nach 10 Jahren Alterung aus dem verlängerten Evaluationsverfahren, führt eine Lebensdauerabschätzung der originalen Materialien in der Regel zu einer zu erwartenden Lebensdauer von mindestens 40 bis 50 Jahren, die sich aufgrund der Veränderungen der Rezepturen für optimierte Produkte deutlich verlängert und zwischen 50 und 100 Jahren zu erwarten ist.

## Résumé

*Les résultats de cette étude suggèrent que les systèmes d'étanchéité utilisés dans les tunnels de base de la NLFA résistent aux conditions particulièrement exigeantes qui règnent dans ces tunnels, et on peut s'attendre à une durée de vie allant jusqu'à 100 ans.*

En premier lieu, ce projet a pour but d'élucider si les systèmes d'étanchéité de la NLFA répondent effectivement aux exigences posées. Cette question comprend également le processus d'évaluation de deux ans, qui a été mené avant le début de la construction. Cependant, les matériaux investigués pour les systèmes d'étanchéité au début de l'enquête ont montré de nombreuses défaillances déjà après un an. Par conséquent, des produits améliorés ont été étudiés en détail pendant une année, avant que d'autres optimisations supplémentaires ont permis d'obtenir les produits approuvés pour l'installation dans les tunnels de la NLFA. Le comportement à long terme de ces produits n'a plus pu être étudié avant la construction. La présente étude vise donc à remédier à cette omission.

Par conséquent, le choix des matériaux investigués dans ce projet s'est porté principalement sur ceux installés en combinaison dans le tunnel du Lötschberg. Il s'agit d'une part des géomembranes 1702/2369 (PE / EVA) et des matériaux de drainage 1801/2302 (PE-HD) dans leur forme originale (début du processus d'évaluation), ainsi que sous leur forme optimisée, comme dans le système d'étanchéité du tunnel du Gotthard, et d'autre part, des géomembranes PVC 1712 / 2385 (originales/ optimisées) et les matériaux de drainage en PP 2304/2355 (originaux/ optimisés). En outre, dans le cas des géomembrances, un produit en PVC (2) aussi bien qu'une membrane d'étanchéité de toiture sur la base PE (3) ont également été étudiés.

Les matériaux ont été stockés pendant 3 à 5 ans dans l'eau à 55 et à 70 ° C avec ou sans air de soufflage. En outre, les échantillons ont été entreposés dans des bains acides et alcalins pendant une année. Par la suite, des échantillons ont été prélevés à des intervalles de temps définis et leur apparence extérieure ainsi que les changements de masse à l'état humide et sec ont été déterminés. De plus, des propriétés mécaniques ont été déterminées pour les géomembranes à partir des essais de traction et traction-choc et comparées avec les résultats obtenus sur des échantillons entreposés dans le cadre de la procédure d'évaluation prolongée de 10 ans. Quelques tests supplémentaires tels que la détermination du temps d'induction à l'oxygène OIT ont aussi été réalisés.

Après 5 ans de stockage, les membranes d'étanchéité basées sur PE/EVA ont montré des changements de masse modérés et peu de changements dans les propriétés mécaniques. Déjà lors de l'évaluation, la géomembrane originale 1702 montrait un comportement défavorable après stockage en solution alcaline. Pour la géomembrane améliorée 2369, l'entreposage dans solution alcaline montrait un comportement plus favorable. Les mesures OIT indiquent une stabilisation plus efficace par rapport aux processus de thermo-oxydation comparé à la membrane originale 1702.

Pour les géomembranes en PVC 1712 et 2385, une augmentation significative du poids à l'état mouillé et partiellement aussi à l'état sec a été constatée. Les propriétés mécaniques permettent de conclure que la géomembrane optimisée 2385 représente en fait une amélioration par rapport à la recette originale en 1712. Le remplacement de l'eau par des plastifiants remédie à la friabilité de la géomembrane.

Déjà dans les procédures d'évaluation, un très bon comportement au vieillissement a pu être trouvé sur les nappes à excroissances 1801 en ce qui concerne la charge chimique, thermique et microbiologique. Le comportement très similaire pour le stockage dans l'eau du produit 2302 par rapport au produit 1801 présage un bon comportement à long terme pour la nappe à excroissances optimisée 2302.

Après 5 ans de stockage dans l'eau, les matériaux de drainage 2304 et 2355 à base de polypropylène ont montré un changement de masse bien inférieur à 4%, mais nettement supérieur aux géomembranes à base de polyoléfinés 1702/2369. Lors du processus d'évaluation, les matériaux de drainage en PP ont eu un comportement à long terme très défavorable et, en certains cas, se sont désintégrés complètement. Avec la stabilisation contre la dégradation thermo-oxydante, le comportement au vieillissement des géogrilles 2304 et 2355 est nettement amélioré et une décomposition devrait se manifester nettement plus tard.

En incluant les résultats provenant de l'évaluation prolongée du processus de vieillissement allant jusqu'à 10 ans, une estimation de la durée de vie des matériaux d'au moins 40 à 50 ans peut être anticipée. En raison des changements dans les formulations des produits optimisés la durée de vie de ces derniers se rallonge de manière significative et se situe vraisemblablement entre 50 et 100 ans.

## Summary

The results of this study suggest that the sealing systems used in the NEAT tunnels withstand the particularly high requirements that prevail in the tunnels, and can be expected to last up to 100 years.

The question of whether the sealing systems of NEAT, actually meet the demands placed on them, were asked in this project. The two-year evaluation process, which was conducted prior to construction, also went to this question. Originally investigated materials of sealing systems could, however, not meet the requirements set after one year. Therefore, improved products were investigated in detail in a revision stage during one year. Further optimizations of the products allowed their approval for installation in the NEAT. The long term behavior of these products could not be investigated prior to construction. This gap should be closed in the present study.

Therefore, on the one hand the geomembranes 1702/2369 (PE/EVA) and the drainage materials 1801/2302 (PE-HD) in its original form (at the beginning of the evaluation process)/and in optimized form, as used in the sealing system of Gotthard tunnel, were chosen. On the other hand, the PVC geomembranes 1712/2385 (original / optimized) and the drainage materials made of PP 2304/2355 (original/optimized), which were combined as sealing system in the Lötschberg tunnel, were selected for the present study. Two other geomembranes, a PVC membrane 2 and a PE roof waterproofing membrane 3, were also investigated.

The materials were stored for 3 to 5 years in water at 55 or 70 ° C with or without bubbling air. Furthermore, ageing for one year in acid and alkaline media were carried out. After ageing, samples were taken at defined time intervals and their visual appearance and the mass changes in the wet and dry state were investigated. For geomembranes mechanical properties were determined from tensile and tensile impact tests and compared with results from the extended 10-year storage of the evaluation procedure. Additional tests such as determination of oxygen induction time OIT were performed on selected materials.

The PE/EVA-based waterproofing membranes showed after 5 years of storage only moderate mass changes and little change in mechanical properties. An unfavorable behavior was observed already in the evaluation procedure for the original geomembrane 1702 after storage under alkaline conditions. For the improved sealing sheet 2369 a more favorable attitude after storage in alkaline media could be determined. OIT measurements are indicative of a more effective stabilization with respect to thermo-oxidative processes in comparison to the original membrane 1702.

Significant increases in weight when wet and partially also in the dry state could be found for the PVC membranes 1712 and 2385. The mechanical properties lead to the conclusion that the optimized geomembrane 2385 actually represents an improvement over the original recipe in 1712. The replacement of plasticizers by water counteracts the brittleness of the geomembrane.

A very good aging behavior could be found with respect to chemical, thermal and microbiological load on the dimpled sheet 1801 already in the evaluation procedure. The very similar behavior after immersing in water for 2302 compared to 1801 is expected to lead to a good long-term behavior for the optimized design in 2302.

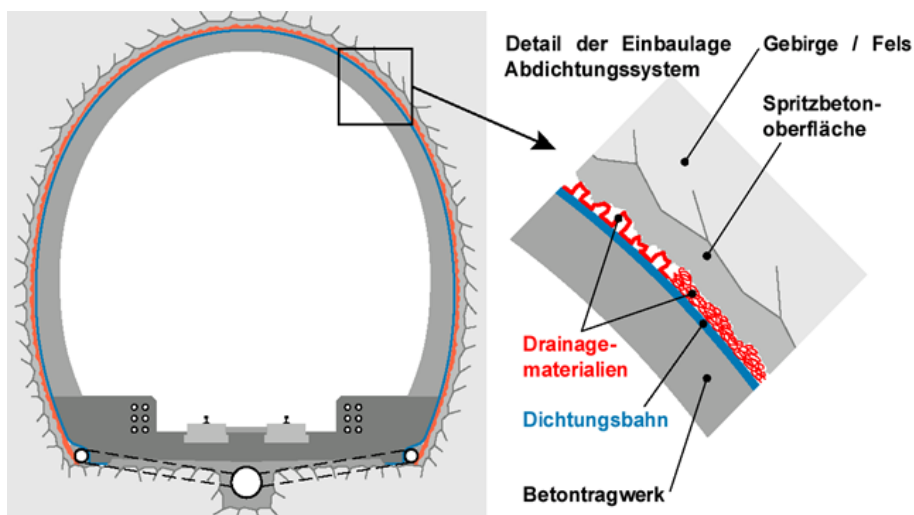
The drainage materials 2304 and 2355 from polypropylene reported after 5 years of storage in water mass changes significantly below 4%, but significantly more than the

polyolefin-based geomembranes 1702/2369 showed. In the evaluation process drainage materials made of PP had a very unfavorable long-term behavior and partially disintegrated completely. Stabilization against thermo-oxidative degradation leads to a significantly improved ageing behavior in 2304 and 2355 and decay should begin much later.

Including the results after 10 years of aging from the extended evaluation process, a lifetime assessment of the original materials usually leads to an expected lifespan of at least 40 to 50 years; this will be prolonged significantly due to the changes in the formulations for optimized products and is expected between 50 and 100 years.

# 1 Einleitung

Zum Schutz des Tragwerkes und der Infrastruktur werden bei Tunnelbauten Abdichtungssysteme zwischen Berg und Tunneltragwerk installiert *Abb.1*. Die Abdichtung soll das Tragwerk und die Infrastruktur vor den teilweise sehr aggressiven Bergwässern schützen. Seit mehreren Jahrzehnten werden solche Abdichtungen auch mit Dichtungsbahnen aus Kunststoffen ausgeführt. Meistens erfolgt eine Kombination mit einem Drainagesystem, das das Wasser ableiten soll und zugleich eine Schutzfunktion vor mechanischen Verletzungen der Dichtungsbahn einnimmt. Da das Abdichtungssystem hinter dem Innenring nicht zugänglich ist, werden hohe Anforderungen an das Systemverhalten, insbesondere an das Alterungsverhalten der Dichtungsbahn aus polymeren Werkstoffen gestellt – soll doch eine Lebensdauer ohne Reparaturen von mindestens 50, besser 100 Jahren erreicht werden.



**Abb.1** Schematische Darstellung eines Tunnelquerschnitts mit Einbaulage des Abdichtungssystems zwischen Spritzbeton und Betontragwerk.

Mit der Planung der Alpen-Basistunnel stiegen die Anforderungen an das Abdichtungssystem nochmals deutlich an. Vor allem die hohen Temperaturen von dauernd bis zu 50°C lassen Kunststoffe rascher altern. Die Höhe des Gebirges über dem Tunnel lässt theoretisch die Bildung eines Wasserdruckes zu, der die Innenröhre des Tunnels eindrücken könnte. Deshalb muss auch das Drainagesystem entsprechend alterungsresistent sein und das drucklose Abfließen des Wassers gewährleisten, auch wenn das Gebirge auf die Tunnelröhre drückt.

Um die Anforderungen bestmöglich abzudecken, wurde für die Alptransit-Basistunnels ein Evaluationsverfahren an den Abdichtungssystemen durchgeführt [1-3]. Dabei standen das Langzeitverhalten und die Lebensdauer der Materialien, die Verlege Eigenschaften der Abdichtungssysteme, bestehend aus Drainagematerial und Kunststoffabdichtung, und deren spezifische Eigenschaften sowie das Verhalten der Systeme im Fokus. Für das Evaluationsverfahren wurden einerseits hauptsächlich auf Beständigkeitsversuche basierend auf Prüfungen der Norm SIA V280 (1996) [4] zurückgegriffen, wobei die Alterungsdauer verlängert, das Spektrum der Einwirkungen erweitert und die Anforderungswerte erhöht wurden. Andererseits wurden neuartige Systemprüfungen eingeführt und die Verlege Eigenschaften der Abdichtungssysteme systematisch untersucht und beurteilt.

Für diese Untersuchungen im Rahmen des Evaluationsverfahrens für die Alpen-Transversalen waren zwei Jahre Prüfdauer vorgesehen. Allerdings zeigte sich bereits

nach einem Jahr, dass keines der untersuchten Systeme alle gestellten Anforderungen erfüllen würde [5, 6]. Deshalb wurde eine Nachbesserungsphase mit einer Prüfdauer von einem Jahr zusätzlich zu den laufenden Untersuchungen an Abdichtungssystemen mit „neuen“ verbesserten Materialien gestartet. Nach Abschluss der beiden Prüfzyklen wiesen verschiedene Materialien immer noch Defizite bezüglich ihrer Langzeitstabilität unter bestimmten Alterungsbedingungen auf. Diese Defizite sollten mit einer weiteren Materialoptimierung in einer Nach-Nachbesserungsphase beseitigt werden. Nochmals wurden Materialien in ihrer Zusammensetzung, Design oder Kombination im System verändert und diese Materialoptimierungen anhand von adaptierten Kurzzeituntersuchungen (max. ein Monat) im Vergleich zum vorhergehenden Material untersucht. Damit sollte sichergestellt werden, dass die vorgenommenen Optimierungen sich auch positiv auswirken.

Diese optimierten Abdichtungssysteme konnten im Rahmen der ursprünglich vorgesehenen Langzeitprüfungen für die Alpenbasis-Tunnel nicht mehr überprüft werden. Ein wesentliches Ziel des vorliegenden Projektes bestand darin, die Beständigkeits- und Alterungseigenschaften der für die NEAT zugelassenen Abdichtungssysteme [7] und insbesondere der tatsächlich eingebauten Materialien zu kontrollieren und zu überprüfen.

Die in der ersten, ursprünglichen Prüfphase untersuchten Dichtungsbahnen und Drainagematerialien wurden darüber hinaus über einen Zeitraum von zehn Jahren in Wasser bei unterschiedlichen Temperaturen und pH Bedingungen gelagert und anschliessend untersucht [8]. Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit den Resultaten der vorliegenden Untersuchung erlaubt direkte Aussagen über die optimierten Materialien und deren mögliches verbessertes Langzeitverhalten.

## 2 Untersuchungsmaterial

Im vorliegenden Projekt wurden für die Untersuchungen Dichtungsbahnen und Drainagematerialien ausgewählt, die in einer ursprünglichen Form (wie im Evaluationsverfahren Prüfphase I und II eingesetzt) und in einer nach-nachgebesserten Variante (wie im Tunnel eingesetzt) vorliegen. Das ursprüngliche Produkt wurde mitgeprüft, weil für dieses Material aus den Prüfungen im Rahmen des Evaluationsverfahrens für die Alpenbasis-Tunnel bis Projektende auch Werte für die Alterung bis zehn Jahren vorliegen [8]. Daneben wurden zwei weitere Materialien eines Anbieters mituntersucht, die nicht für den besonderen Einsatz in den Alpenbasis-Tunneln entwickelt wurden und im Evaluationsverfahren nicht berücksichtigt waren. Damit sollte ein breiteres Feld möglicher Materialverhalten abgedeckt werden.

Bei den Dichtungsbahnen wurde auch darauf geachtet, dass alle wichtigen Grundmaterialien vertreten waren: weichgemachtes Polyvinylchlorid (PVC-P), thermoplastische Polyolefine (TPO) und verwandte Produkte (PE/EVA, Blend Polyethylen/Polyethylvinylacetat).

Folgende Materialien wurden für die Untersuchung eingesetzt:

**Tab. 1** Dichtungsbahnen

Lfd. Nr.	Materialbezeichnung	Materialbasis	Prüfphase	Dicke [mm]
2	Sucoflex 132	PVC	neu	2.0
3	Sucoflex CB	TPO	neu	2.2
1702	Sarnafil MP 915-20 B2	PE/EVA	I	2.2
1712	Sikaplan 14.6 V	PVC-P	I	2.0
2369	Sarnafil MP 916-20 B2	PE/EVA	optimiert	2.2
2385	Sikaplan 14.6 Neat	PVC-P	optimiert	2.0

Als Drainagematerial wurde eine Noppenbahn (Original und optimiert), die hauptsächlich im Gotthardtunnel zum Einsatz kam in das Prüfungssystem aufgenommen. Das Wirtgeleuge mit Vlies wurde vor allem im Lötschberg Basistunnel als Drainagematerial verwendet und wird in modifizierter Form auch im Ceneri Tunnel eingebaut.

**Tab. 2** Drainagematerialien

Lfd. Nr.	Materialbezeichnung	Materialbasis	Prüfphase	Dicke/Höhe [mm]
1801	Dörken Delta AT 800	PE-HD	I	ca. 1, 8.5
2302	Dörken Delta AT 1200	PE-HD	optimiert	ca. , 81
2304	Enkadrain 5020z/2-1s	PP	I	ca. 0.7/ 11
2355	Enkadrain 5020z/2-12/T200P.F.	PP	optimiert	ca. 0.7/ 11

Im Evaluationsverfahren zeigte sich bereits nach dem ersten Jahr, der Prüfphase I, an originalen Materialien, dass polyolefinisch basierte Produkte in der Regel ein günstigeres Alterungsverhalten aufwiesen, insbesondere auch, wenn eine Stabilisierung der Grundmaterialien gegen oxidativen Abbau vorlag. Andere Materialien z. B. aus Polyamid erwiesen sich als nicht beständig [5, 6].

Deshalb wurde im vorliegenden Projekt auf Drainageprodukte, die nicht aus Polyolefinen hergestellt waren, verzichtet.

Drainagematerialien gibt es in grosser Vielfalt im Design und Aufbau, verglichen mit der geringeren Anzahl Varianten der Dichtungsbahnen. Das bei Vliesen und Würrgelegen ungünstigere Verhältnis von Oberfläche zu Volumen im Vergleich mit z.B. Noppenbahnen führt jedoch zu einer grösseren Angriffsfläche für die Alterungsprozesse der Produkte und in der Regel zu schnellerem Abbauverhalten. Weitere andersartig gestaltete Drainagematerialien als die hier untersuchten (Noppenbahn und Würrgelege) wie z.B. Vliese oder Gitter wurden deshalb nicht mituntersucht.

Andererseits weisen die flexiblen Drainagematerialien zumeist bessere Verlege-Eigenschaften auf als die steiferen Noppenbahnen. Welcher Eigenschaft der Vorzug gegeben wird, ist häufig von den geologischen und sonstigen (z.B. hohes Wasservorkommen, hohe Temperaturen) Verhältnissen im Tunnel abhängig. Sind besonders schwierige Bedingungen anzutreffen, werden besondere Massnahmen getroffen und z.B. auf zusätzliche Drainageleistung oder besonders drucksteife Systeme geachtet.

Eine detaillierte Beschreibung der untersuchten Produkte ist in der Eingangskontrolle der Materialien aufgeführt.

## 2.1 Dichtungsbahnen

Es wurden 6 verschiedene Dichtungsbahnen eingesetzt.

### 2.1.1 Eingangskontrolle für die Dichtungsbahn 2 (neu)

\*=Angaben des Lieferanten

Kunststofftyp*	PVC-P
Markenbezeichnung*	Sucoflex-132/2.0
Träger*	Glasvlies
Dicke	2.02 mm (Mittelwert aus 10 Messungen) 1.99 mm, 2.05 mm (min., max. Wert)
Bahnbreite*	2'000 mm
Flächenbezogene Masse	2.58 kg/m <sup>2</sup>
Oberflächenbeschaffenheit	Oberseite: glänzend, glatt Unterseite: glänzend, feine Narbung
Aufbau	zweischichtig Oberseite ca. 0.9 mm Unterseite ca. 1.1 mm
Farbe	Oberseite Hellgrau (ähnlich RAL 7035) Unterseite Dunkelgrau (ähnlich RAL 7024)

### 2.1.2 Eingangskontrolle für die Dichtungsbahn 3 (neu)

\*=Angaben des Lieferanten

Kunststofftyp*	TPO
Markenbezeichnung*	Sucoflex-CB/2.0
Träger*	Glasvlies
Dicke	2.27 mm (Mittelwert aus 10 Messungen) 2.27mm, 2.29 mm (min., max. Wert)
Bahnbreite*	2'000 mm
Flächenbezogene Masse	2.02 kg/m <sup>2</sup>
Oberflächenbeschaffenheit	Oberseite matt, glatt Unterseite matt, Raute als Prägung
Aufbau	zweischichtig Oberseite ca. 1.1 mm Unterseite ca. 1.2 mm
Farbe	Oberseite Hellgrau (ähnlich RAL 7044) Unterseite Schwarzgrau (ähnlich RAL 7021)

### 2.1.3 Eingangskontrolle für die Dichtungsbahn 1702 (Original)

\*=Angaben des Lieferanten

Kunststofftyp*	Polyethylen-Copolymer
Markenbezeichnung*	Sarnafil MP 915-20 B2
Träger*	keiner
Dicke	2.23 (Mittelwert aus 10 Messungen) 2.22, 2.25 (min, max. Wert)
Bahnbreite*	2'000 mm (oder 1'000 mm)
Flächenbezogene Masse	2.07 kg/m <sup>2</sup>
Oberflächenbeschaffenheit	Oberseite glänzend, glatt Unterseite matt, glatt
Aufbau	zweischichtig Oberseite ca. 0.2 mm Unterseite ca. 2.0 mm
Farbe	Oberseite gelbbeige (ähnlich RAL 1002) Unterseite schwarz (ähnlich RAL 7021)

### 2.1.4 Eingangskontrolle für die Dichtungsbahn 1712 (Original)

\*Angaben des Lieferanten

Kunststofftyp*	PVC-P
Markenbezeichnung*	Sikaplan 14.6 V
Träger*	keiner
Dicke	1.97 (Mittelwert aus 10 Messungen) 1.96 mm, 1.99 mm (min., max. Wert)
Bahnbreite*	2'000 mm
Flächenbezogene Masse	2.62 kg/m <sup>2</sup>
Oberflächenbeschaffenheit	Oberseite matt, glatt Unterseite glänzend, rau
Aufbau	zweischichtig Oberseite ca. 0.6 mm Unterseite ca. 1.4 mm

Farbe	Oberseite	gelb (ähnlich RAL 1012)
	Unterseite	schwarz (ähnlich 7021)

### 2.1.5 Eingangskontrolle für die Dichtungsbahn 2369 (optimiert)

\*Angaben des Lieferanten

Kunststofftyp*	Polyethylen-Copolymer	
Markenbezeichnung*	Sarnafil MP 916-20 B2	
Träger*	keiner	
Dicke	2.21 mm (Mittelwert aus 10 Messungen)	
	2.20 mm, 2.22 mm (min., max. Wert)	
Bahnbreite	2'000 mm (oder 1'000 mm)	
Flächenbezogene Masse	2.08 kg/m <sup>2</sup>	
Oberflächenbeschaffenheit	Oberseite	glänzend, matt
	Unterseite	matt, glatt
Aufbau	zweischichtig	Oberseite ca. 0.2 mm
		Unterseite ca. 2.0 mm
Farbe	Oberseite	gelbbeige (ähnlich RAL 1002)
	Unterseite	schwarz (ähnlich RAL 7021)

### 2.1.6 Eingangskontrolle für die Dichtungsbahn 2385 (optimiert)

\*Angaben des Lieferanten

Kunststofftyp*	PVC-P	
Markenbezeichnung*	Sikaplan 14.6 Neat	
Träger*	keiner	
Dicke	2.02 mm (Mittelwert aus 10 Messungen)	
	2.01mm, 2.03 mm (min., max. Wert)	
Bahnbreite*	2'000 mm	
Flächenbezogene Masse	2.48 kg/m <sup>2</sup>	
Oberflächenbeschaffenheit	Oberseite	matt, glatt
	Unterseite	glänzend, rau
Aufbau	zweischichtig	Oberseite ca. 0.7 mm
		Unterseite ca. 1.3 mm
Farbe	Oberseite	gelb (ähnlich RAL 1012)
	Unterseite	schwarz (ähnlich RAL 7021)

## 2.2 Drainagematerialien

Es wurden vier Drainagematerialien eingelagert.

### 2.2.1 Eingangskontrolle für das Drainagematerial 1801(Original)

\*Angaben des Lieferanten

Kunststofftyp*	PE-HD
Markenbezeichnung*	Dörken Delta AT 800
Bahnbreite*	2'000 mm
Flächenbezogene Masse	0.80 kg/m <sup>2</sup>
Oberflächenbeschaffenheit	Oberseite glänzend, glatt, genoppt Unterseite glänzend, glatt, genoppt
Aufbau, Dicke	einschichtig mit Noppen Bahn ca. 1mm Noppenhöhe ca. 8.5 mm
Farbe	Oberseite braun (ähnlich RAL 8016) Unterseite braun (ähnlich RAL 8016)

### 2.2.2 Eingangskontrolle für das Drainagematerial 2302 (optimiert)

\*Angaben des Lieferanten

Kunststofftyp*	PE-HD
Markenbezeichnung*	Dörken Delta AT 1200
Flächenbezogene Masse	1.13 kg/m <sup>2</sup>
Oberflächenbeschaffenheit	Oberseite glänzend, glatt, genoppt Unterseite glänzend, glatt, genoppt
Aufbau, Dicke	einschichtig mit Noppen Bahn ca. 1 mm Noppenhöhe ca. 8 mm
Farbe	Oberseite braun (ähnlich RAL 8016) Unterseite braun (ähnlich RAL 8016)

### 2.2.3 Eingangskontrolle für das Drainagematerial 2304 (nachgebessert)

\*Angaben des Lieferanten

Kunststofftyp*	Polypropylen
Markenbezeichnung	Enkadrain 5020Z
Flächenbezogene Masse	1.03 kg/m <sup>2</sup>
Oberflächenbeschaffenheit	Oberseite Drainkomposit, glänzend, glatt Unterseite Vlies, matt
Aufbau, Dicke	zweischichtig ca. 11 mm Drainkomposit (weisse, verschweisste, orientierungslose Kunststoffschnüre) ca. 2.6 mm Vlies

	Drainage und Vlies sind punktuell miteinander verschweisst	
Farbe	Oberseite	Drainkomposit weiss
	Unterseite	Vlies weiss (ähnlich RAL 9003)

## 2.2.4 Eingangskontrolle für das Drainagematerial 2355 (optimiert)

\* = Angaben des Lieferanten

Kunststofftyp*	Polypropylen	
Markenbezeichnung*	Enkdrain 5020 Z	
Flächenbezogene Masse	1.03 kg/m <sup>2</sup>	
Oberflächenbeschaffenheit	Oberseite	Drainkomposit, glänzend, glatt
	Unterseite	Vlies, matt
Aufbau, Dicke	zweischichtig	
	ca. 11 mm Drainkomposit (weisse verschweisste orientierungslose Schnüre)	
	ca. 2.6 mm Vlies	
	Drainage und Vlies sind punktuell miteinander verschweisst	
Farbe	Oberseite	Drainkomposit weiss
	Unterseite	Vlies weiss (ähnlich RAL 9003)

### 3 Alterung und Folgeprüfungen

Im Rahmen des Evaluationsverfahrens für Abdichtungssysteme für die Alpen-Transversalen wurden die Materialien in Wasser bei 23°C, 45°C und in heissem Wasser bei 70°C während 2 Jahren gelagert. Die Lagerung bei verschiedenen Wassertemperaturen, sollte eine Extrapolation der Beständigkeitseigenschaften nach Arrhenius ermöglichen [9]. Bei einer Temperatur von 45°C bewegt man sich dabei gerade in dem Temperaturbereich, der maximal insbesondere im Gotthardtunnel erwartet wird. Mit der Erhöhung der Wassertemperatur auf 70°C, kann grob eine Beschleunigung der Alterung um den Faktor 4-5 bewerkstelligt werden.

Ausser der Temperatur spielt Sauerstoff eine bedeutende Rolle bei den Alterungsprozessen von polyolefinisch basierten Materialien. Deshalb wurden die Materialien in einem Druckbehälter bei 70°C und 3 bar Luftdruck bei erhöhten Temperaturen mit gleichzeitig erhöhter Sauerstoffkonzentration belastet. Nicht stabilisierte oder wenig stabilisierte Produkte zersetzten sich bei diesen Bedingungen teilweise bereits nach wenigen Monaten vollständig [5,6].

Um stark alkalisches Betonwasser zu simulieren wurden die Materialien in einer gesättigten Calciumhydroxid-Lösung gelagert. Saures Bergwasser wurde mithilfe einer 0.5 %-igen wässrigen Schwefelsäure simuliert. Die alkalischen und sauren Bedingungen stellen besonders für weichgemachte PVC Materialien eine Hürde dar, da die typischerweise eingesetzten monomeren Weichmacher nicht nur durch Extraktion sondern auch durch saure und alkalische Hydrolyse Prozesse vermindert werden können.

#### 3.1 Alterungsbedingungen

Basierend auf den Erfahrungen der Beständigkeitsversuche des Evaluationsverfahrens der Alpentransversalen, wurden für das hier beschriebene Projekt, die in Tabelle 3 zusammengefassten Bedingungen für die Alterungsversuche festgelegt.

**Tab 3** Lagerbedingungen und Probenahme unter verschiedenen Alterungsbedingungen

Medium	Temperatur	Dauer/Probenahme in Monaten	Bemerkung
Wasser	55°C	36 / 18, 36	max. angetroffene Temperatur im Gotthard-Basistunnel, (nur 45°C im Evaluationsverfahren.)
Wasser	70°C	36 / 18, 36	wie im Evaluationsverfahren
Wasser	55°C	60 / 9, 18, 36, 60	mit Lufteinblasen*
Wasser	70°C	60 / 9, 18, 36, 60	mit Lufteinblasen*
Lauge	50°C	12 / 12	wie im Evaluationsverfahren
Säure	50°C	12 / 12	wie im Evaluationsverfahren

\* Normalerweise gast der Sauerstoff aus heissem Wasser aus und die Prüfbedingungen von oxidationsempfindlichen Materialien werden abgeschwächt. Mit einblasen von Luft in das Wasserbad soll die Sauerstoffkonzentration gegenüber der Wasserlagerung ohne Lufteintrag erhöht werden.

Die Temperaturen, Lagerdauer und Probenentnahme richtete sich auch nach den bereits vorhandenen Resultaten, die aus dem Evaluationsverfahren für die Abdichtungssysteme für die Alpentransversalen gewonnen wurden.

Die prognostizierte maximale Temperatur im Gotthard Basistunnel von 45 °C wurde an einigen Stellen übertroffen. Deshalb wurden Wasserlagerungen bei 55°C (entsprechend den maximalen möglichen Temperaturen) mit und ohne Einblasen von Luft (erhöhen Sauerstoffanteil) durchgeführt. Andererseits sollte durch die Beibehaltung der Bedingungen bei der Säure- und Laugenlagerung sowie bei der Wasserlagerung bei 70°C ein direkter Vergleich nach Alterung mit dem ursprünglichen Material ermöglicht werden. Zusätzlich wurden die Materialien bei 70°C in Wasser mit Einblasen von Luft (Erhöhen des Sauerstoffanteils) gelagert.

Eine Übersicht über die Probenbezeichnungen der einzelnen Proben ist im Anhang 1 beigefügt.

## 3.2 Folgeprüfungen

### 3.2.1 Visuelle Beurteilung

Nach Entnahme der Proben nach der vorgesehenen Lagerdauer wurden die Proben jeweils getrocknet und anschliessend mit einer Probe im Originalzustand verglichen. Die Ergebnisse der visuellen Beurteilung sind im Anhang II tabellarisch für alle untersuchten Proben zusammengefasst. Zudem sind die Veränderungen in Tabelle 4 für die Dichtungsbahnen und Tabelle 5 für die Drainageprodukte aufgelistet.

#### ***Dichtungsbahnen***

Bei den Dichtungsbahnen wurde jeweils die Vorder- und Rückseite betrachtet und Veränderungen zum Material im Originalzustand beschrieben.

Nach drei Jahren Lagerung in Wasser bei 55 bzw. 70°C mit und ohne Einblasen von Luft traten bei Produkten aus PVC in der Regel Verfärbungen auf. So wurden beim Material 2 gelbe bis braune Verfärbungen auf der Vorderseite beobachtet, ähnlich wie bei den PVC Produkten 1712 und 2385, die jeweils eine braune Verfärbung der Vorderseite aufwiesen.

Teilweise bildeten sich nach Lagerung in Wasser bei 70°C zerklüftete Oberflächen der Vorderseite. Die jeweilige Rückseite der Produkte zeigte kaum Änderungen.

Ein ähnliches Bild ergab sich nach 36 Monaten Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C mit und ohne Einblasen von Luft für die Dichtungsbahnen auf der Basis von Polyolefinen. Während Material 1702 sich nach Lagerung bei 55°C tendenziell eher aufhellte, zeigte sich nach Lagerung bei 70°C eine dunkle Veränderung. Die optimierte Version 2369 von 1702 wurde immer dunkler bzw. braun. Für die Dichtungsbahn 3 konnte bei erhöhter Temperatur (70°C) zusätzliche die Bildung von Blasen an den Oberflächen beobachtet werden.

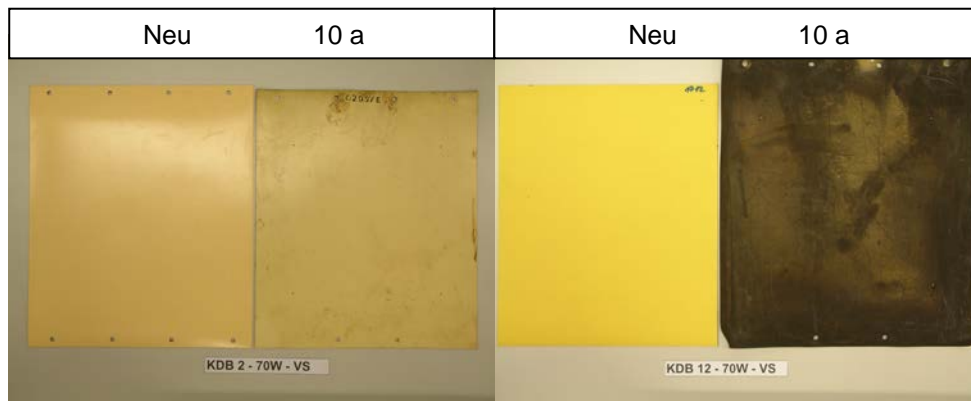
Vergleicht man jeweils die optimierten Produkte mit dem zugehörigen ursprünglichen Material, dann sind nach Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C mit und ohne Einblasen von Luft die Veränderungen im Aussehen sehr ähnlich sowohl für die Vorder- als auch Rückseite der Produkte.

Die Wasserlagerungen mit Einblasen von Luft wurden bis 5 Jahre Lagerzeit fortgesetzt. Die nach 5 Jahren beobachteten Veränderungen sind vergleichbar mit denjenigen nach 36 Monaten Lagerung. Es konnten kein signifikant anderes Verhalten beobachtet werden. Nach Beanspruchung in Säure und Lauge bei 50 °C konnte nach 12 Monaten Lagerdauer vergleichbare Farbänderungen wie bereits nach Lagerung in Wasser festgestellt werden. Ebenso sind die Unterschiede der optimierten und originalen Materialien nicht stark ausgeprägt.

**Tab 4** Visuelle Beurteilung der Dichtungsbahnen

Mat.Nr.	55°C Wasser, 36 M	55°C Wasser+ Luft, 60 M	70°C Wasser, 36 M	70°C Wasser + Luft, 60 M	Säure 12 M	Lauge 12 M
2	VS: gelblich, braune Verfärbung RS: dunkler	VS: gelblich RS: dunkler	VS: gelblich, schwarz- braune Verfärbung RS: dunkler, matt	VS: gelblich, braune Verfärbung RS: dunkler	VS: dunkler RS: k. V.	VS: leicht gelblich RS: k. V.
3	VS: gelb RS: dunkler, glänzend	VS: gelblicher RS: dunkler	VS: leicht gelblich RS: dunkler, glänzend, Blasen	Fehlt	VS: leicht dunkler RS: k. V.	VS: gelblich RS: dunkler
1702	VS: heller RS: k. V.	VS: heller RS: k. V.	VS: braun RS: dunkler	VS: braune Verfärbung RS: matt, Ablagerung	VS: k. V. RS: k. V.	VS: leicht heller RS: dünner weisser Belag
2369	VS: dunkler, braunrote Verfärbung RS: matt	VS: dunkler RS: k. V.	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: matt	VS: dunkler, braunen Verfärbung RS: matt	VS: leicht heller RS: k. V.	VS: dunkler, rötlich RS: k. V.
1712	VS: braun RS: matt, Ablagerung	VS: leicht dunkler RS: k.V.	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: k. V.	VS: braune Verfärbung RS matt, Ablagerung	VS: keine Veränderung RS: k. V.	VS: dunkler RS: k. V.
2385	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: dunkler	VS: leicht dunkler RS: k. V.	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: matt, Ablagerung	VS: braune Verfärbung RS: matt, Ablagerung	VS: leicht dunkler RS: k. V.	VS: leicht dunkler RS: matt

VS= Vorderseite; RS= Rückseite; k.V. = keine Veränderung;



**Abb. 2** Dichtungsbahn 1702 neu und nach 10 Jahren in Wasser bei 70°C (links), Dichtungsbahn 1712 neu und nach 10 Jahren im Wasser bei 70°C (rechts).

In Abbildung 2 sind jeweils die Dichtungsbahnen 1702 und 1712 im Neuzustand und nach 10 Jahren Lagerung in Wasser bei 70°C im Vergleich gezeigt. Während die Polyolefin Dichtungsbahn 1702 nach 10 Jahren in heissem Wasser geschrumpft ist, konnte für die Dichtungsbahn aus PVC eine deutliche Zunahme in Längs- und Querrichtung beobachtet werden. Die Veränderungen auf der Oberfläche sind wiederum deutlich ausgeprägter für die PVC Dichtungsbahn (1712) im Vergleich zu 1702. Die Bildung dunkelbraunen Flecken bzw. einer dunklen Verfärbung der Dichtungsbahnen aus PVC bei der Lagerung in heissem Wasser wurde bereits im Evaluationsverfahren beobachtet. Untersuchungen der Oberfläche ergaben, dass die schwarzen Flecken und Beläge hauptsächlich durch Metallionen verursacht werden, die beim wöchentlichen/monatlichen Wasserwechsel in die Bäder eingetragen werden [6].

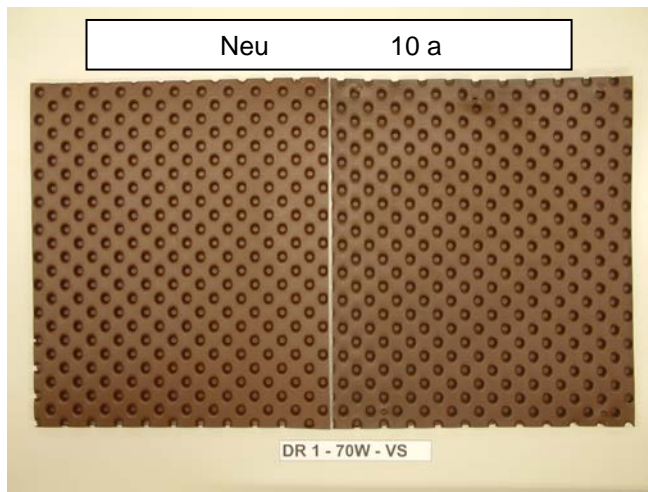
### **Drainagematerialien**

Bei den Drainagematerialien findet man bei der braunen Noppenbahn nach 3 Jahren Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C mit und ohne Einblasen von Luft kaum Veränderungen in der Farbe, jedoch die Bildung von schwarzen Flecken bei beiden Ausführungen des Produktes.

Hingegen beobachtet man bei der Drainagematte 2304 (Original) und 2355 (optimierte Version) vergleichbares Verhalten von Vergilben und der Bildung von schwarzen Flecken.

**Tab 5** Visuelle Beurteilung der Drainagematerialien

Mat.Nr.	55°C Wasser, 36 M	55°C Wasser+ Luft, 36 M	70°C Wasser, 36 M	70°C Wasser + Luft, 36 M	Säure 12 M	Lauge 12 M
1801	k. V.	schwarze Ablagerung	schwarze Ablagerung	schwarze Ablagerung	k.V.	k.V, weisser Belag
2302	k. V.	schwarze Ablagerung	heller	dunkler, schwarze Ablagerung	leicht dunkler	k.V. weisser Belag
2304	grau	gelb, schwarze Ablag.	gelbbraun, schwarzer Rand	gelb, matt, schwarze Ablagerung	leicht dunkler	gelb
2355	fehlt	gelb, schwarze Ablag.	gelbgrau, schwarzer Rand	gelb, schwarze Ablagerung	dunkler	gelb



**Abb. 3** Noppenbahn 1801 neu und nach 10 Jahren Lagerung in Wasser bei 70°C

Für die Noppenbahn 1801 konnten nach 10 Jahren Lagerung in Wasser bei 70°C nur kleinere Änderungen im Aussehen gefunden werden, wie in Abbildung 3 dokumentiert.

### 3.2.2 Massenänderung

Das Gewicht der einzelnen Proben wurde vor Beginn der Lagerungen nach Konditionierung im Normklima und nach 24 h Trocknung im Ofen bei 50 °C bestimmt. Im Anschluss an die Lagerungen wurden nach Probenentnahme die Masse im nassen Zustand und anschließend nach Trocknung während 7 Tagen im Ofen bei 50 °C gemessen. Somit kann die durch die Medienlagerung verursachte Wasseraufnahme als auch die Massenänderung nach Trocknung inkl. Prozesse wie Polymerabbau oder Weichmacherverlust usw. bestimmt werden. Die Ergebnisse der Massenänderungen nass und trocken sind im Anhang II für alle untersuchten Proben tabellarisch zusammengefasst.

#### **Dichtungsbahnen**

Polyolefine: Für die Dichtungsbahnen 1702 und 2369, die auf PE/EVA aufgebaut sind, findet man nach 5 Jahren Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C relativ geringe Massenänderungen sowohl im nassen Zustand als auch nach 7 Tagen Trocknung im Ofen bei 50°C. Nach Lagerung im Wasser bei 55°C mit und ohne Luft kann im nassen Zustand eine Gewichtszunahme bis zu 0.35 % gefunden werden. Im heißen Wasser bei 70°C beobachtet man im nassen Zustand bereits einen geringen Gewichtsverlust von bis zu ca. 0.5 %.

Die Massenänderungen nach Trocknung sind nach 36 Monaten deutlich signifikanter und man beobachtet sowohl nach Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C mit und ohne Luft einblasen Gewichtsverluste um ca. 5 %. Typischerweise wird bei PE/EVA Copolymeren zunächst Essigsäure aus den Vinylacetateinheiten abgespalten [7] bevor weitere Alterungsprozesse wie Oxidation und Polymerabbau stattfinden. Niedermolekulare Anteile im Polymer können ausgewaschen und gegebenenfalls Wasser eingelagert werden. Durch oxidative Prozesse kann eine Gewichtszunahme stattfinden und die Einlagerung von Wasser begünstigt werden. Dies kann den beobachteten geringeren Gewichtsverlust nach 5 Jahren Lagerung in Wasser im Vergleich zu 3 Jahren Alterung in Wasser erklären.

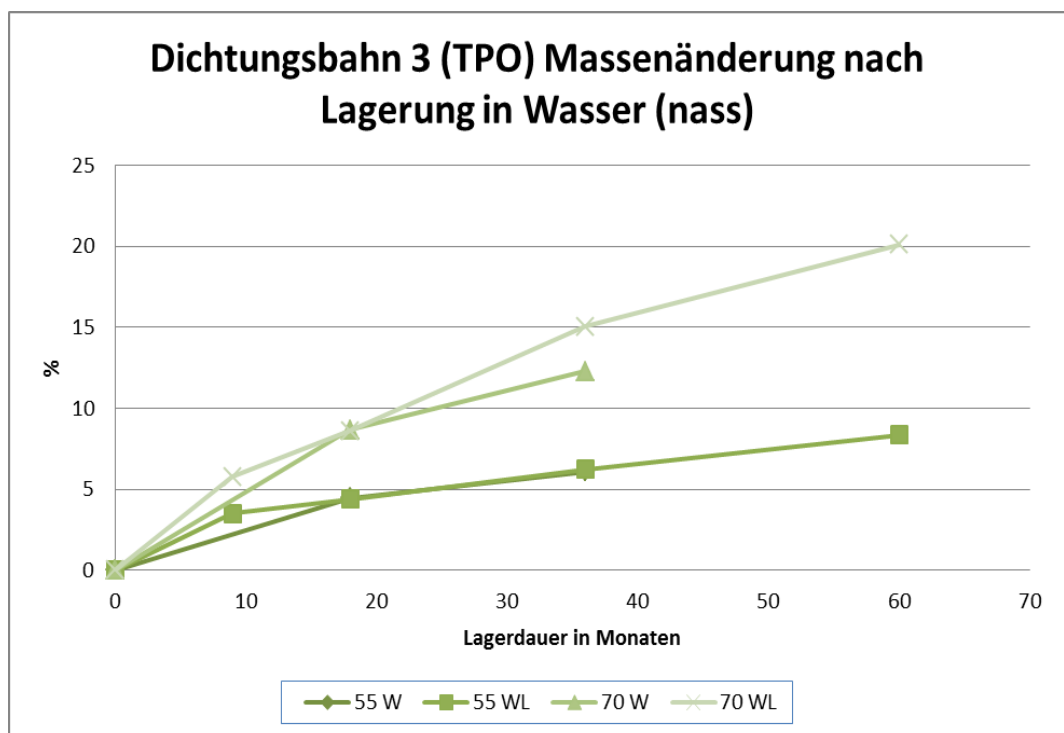
Die polyolefinische Dichtungsbahn 3, welche zu Vergleichszwecken mit eingelagert wurde, zeigt im getrockneten Zustand ein ähnliches Verhalten wie die Dichtungsbahnen 1702 und 2369. Bis auf die Massenänderung nach 36 Monaten in Wasser bei 70°C und Luft einblasen konnte nach Lagerung in warmem Wasser ein Gewichtsverlust von bis zu

3.8 % beobachtet werden. Hingegen liessen sich nach 5 Jahren Lagerung im getrockneten Zustand nur noch deutliche Gewichtszunahmen von bis zu fast 8 % beobachten. Im nassen Zustand findet man bei dieser Dichtungsbahn bereits drastische Gewichtszunahmen von bis zu 20 %. Das eingelagerte Wasser kann nicht mehr vollständig durch Trocknen entfernt werden.

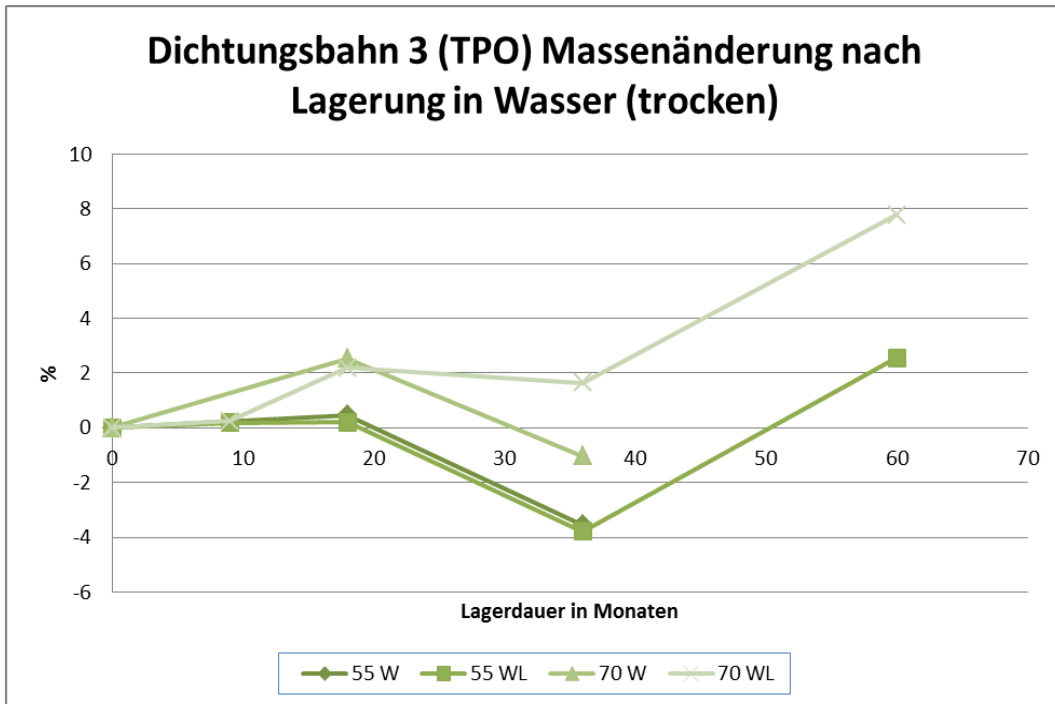
Mit IR-spektroskopischen und thermoanalytischen Untersuchungen [7] konnte gezeigt werden, dass sowohl die oxidativen Prozesse als auch Einlagerung von Wasser die beobachteten Massenänderungen erklären können.

Einblasen von Luft zeigte bei den Massenänderungen keine drastische Verschärfung der Bedingungen.

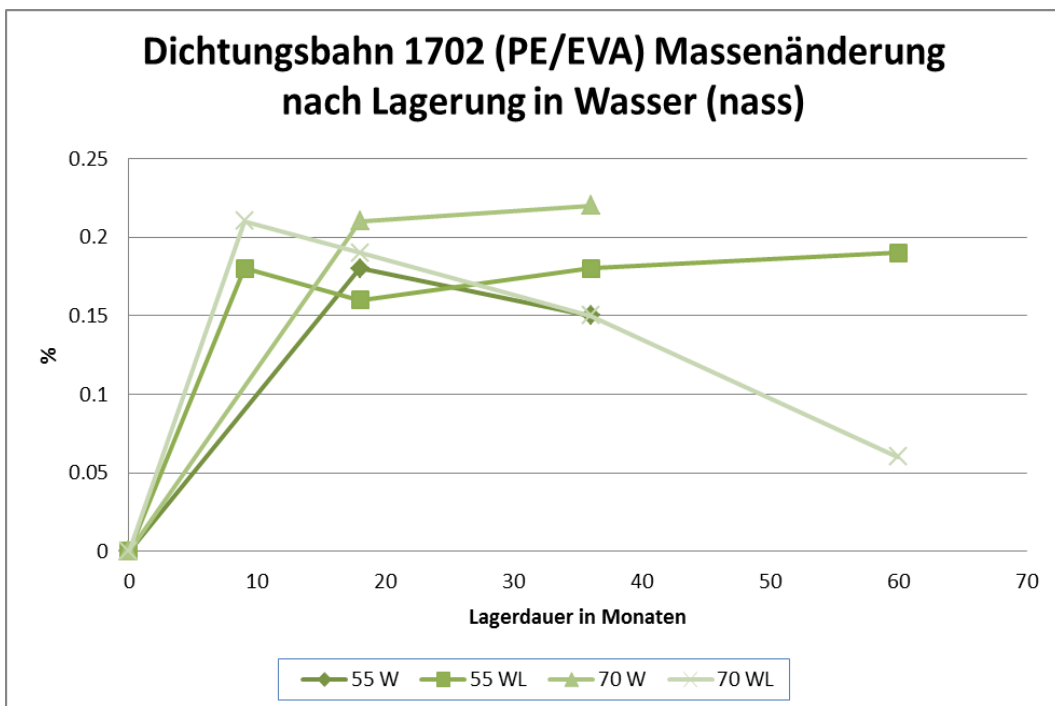
Die Massenänderungen nach Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C in Wasser mit und ohne Lufteinblasen sowie im nassen und getrockneten Zustand sind in den nachfolgenden Diagrammen für die Dichtungsbahnen basierend auf Polyolefinen zusammengefasst:



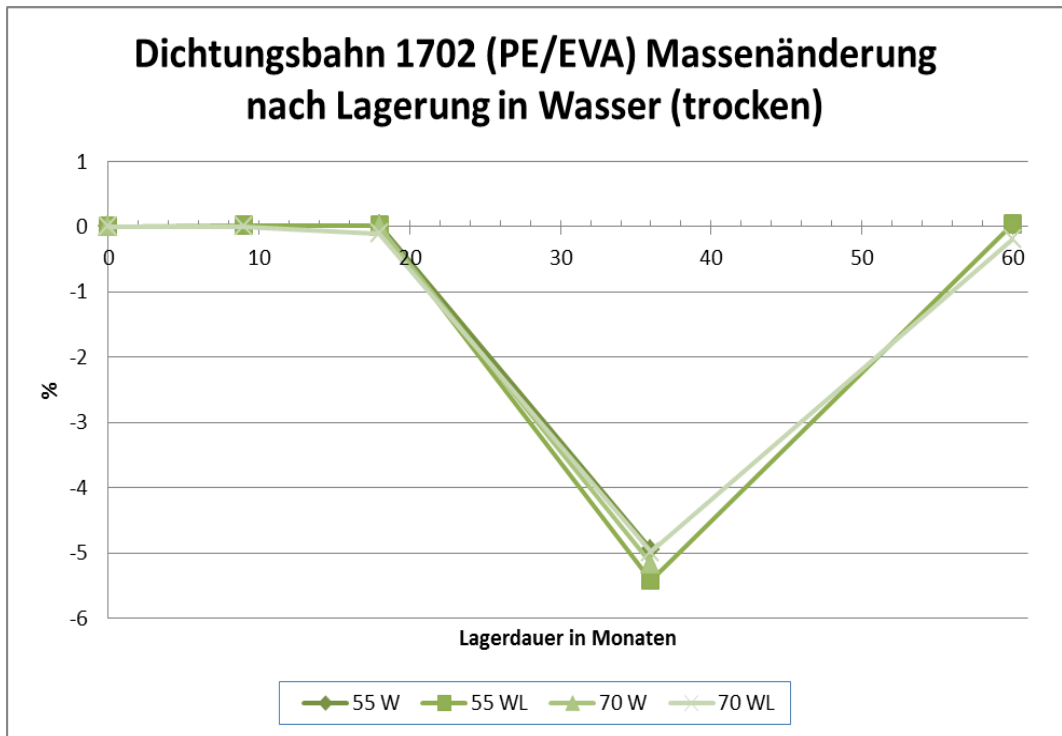
**Abb. 3** Massenänderung für Dichtungsbahn 3 im nassen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



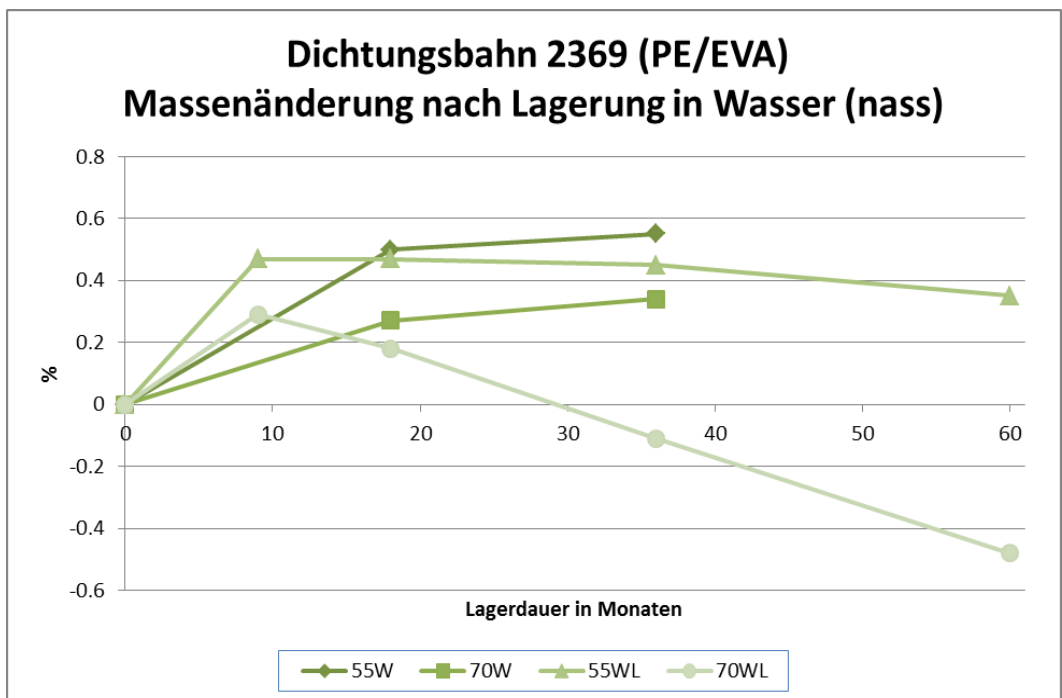
**Abb. 4** Massenänderung für Dichtungsbahn 3 im trockenen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



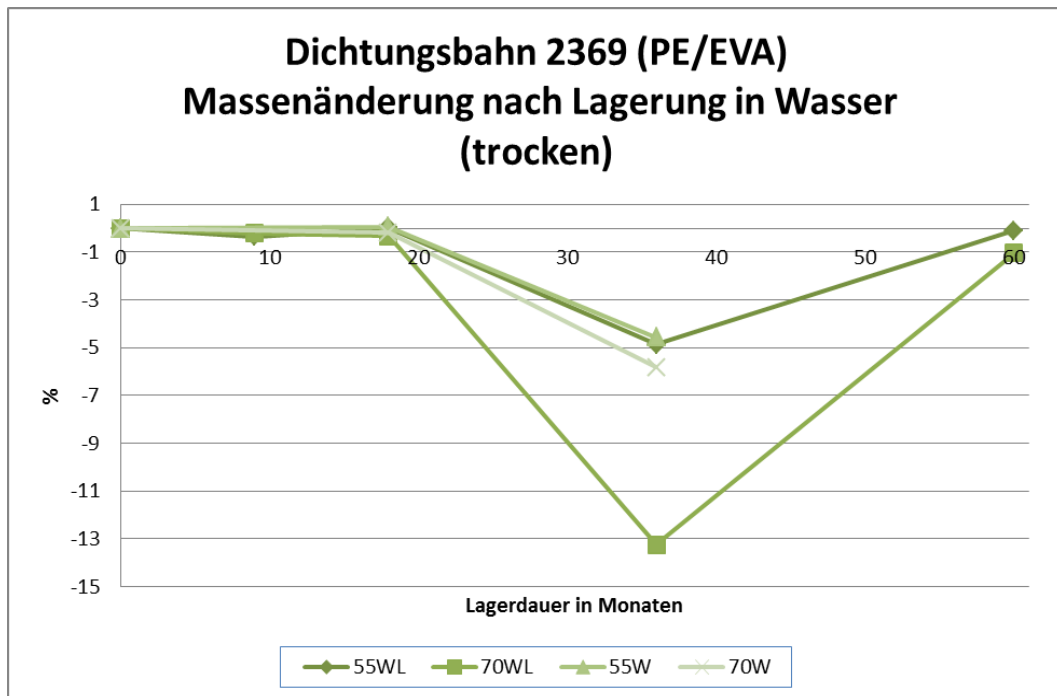
**Abb. 5** Massenänderung für Dichtungsbahn 1702 im nassen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



**Abb. 6** Massenänderung für Dichtungsbahn 1702 im trockenen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



**Abb. 7** Massenänderung für Dichtungsbahn 2369 im nassen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.

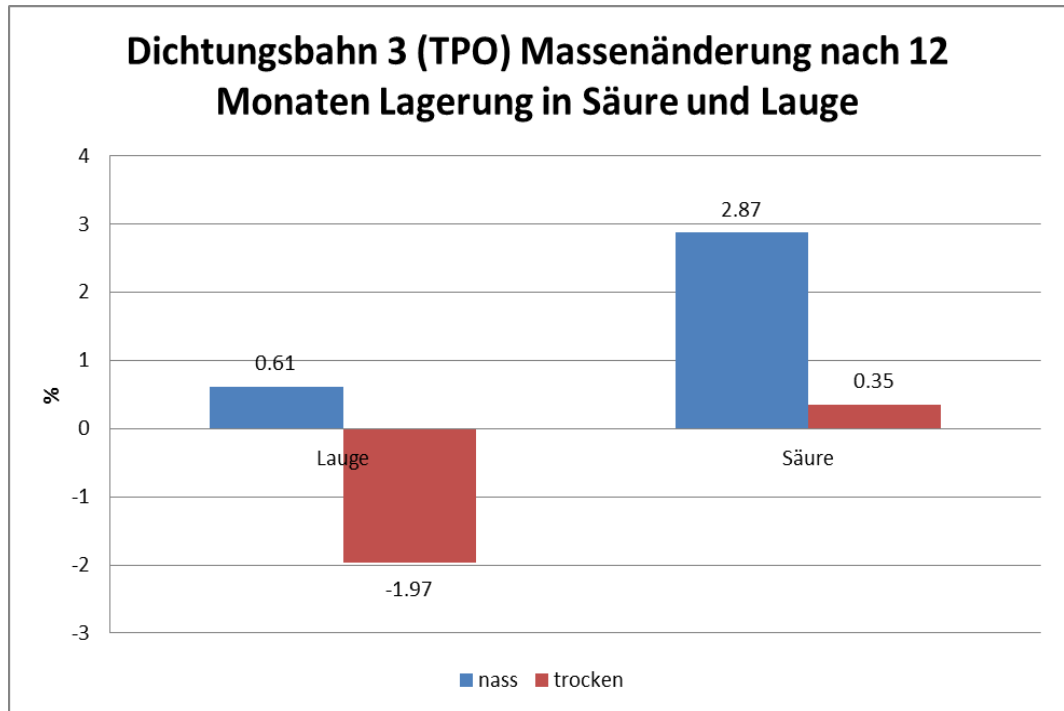


**Abb. 8** Massenänderung für Dichtungsbahn 2369 im trockenen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.

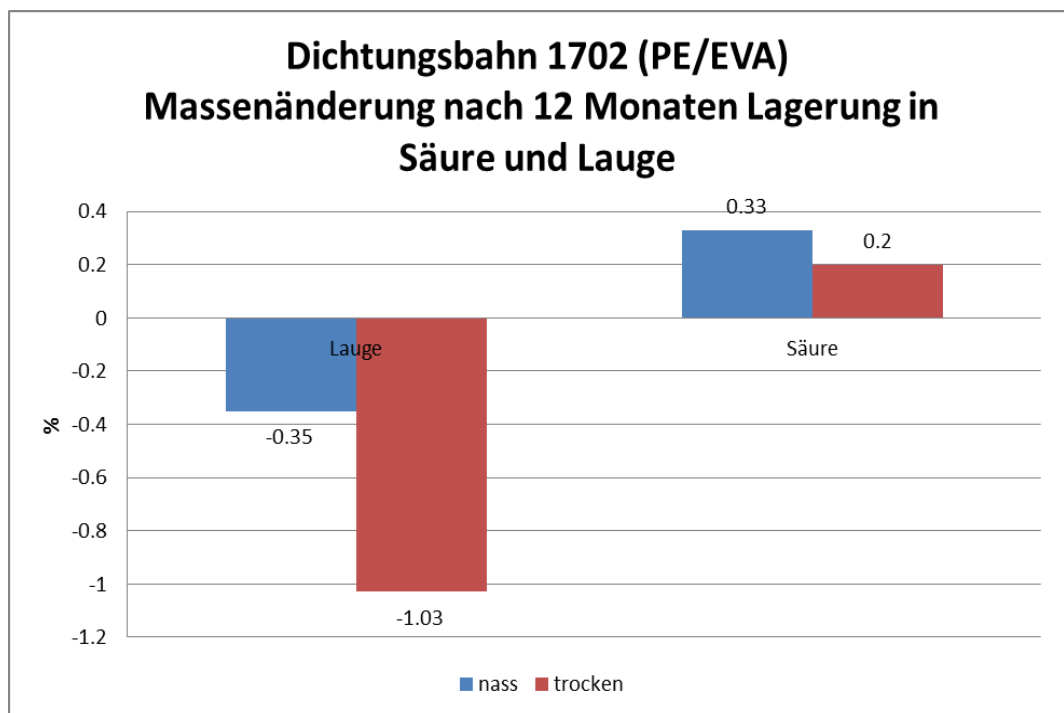
Die Dichtungsbahn 1702 zeigte bereits im Evaluationsverfahren eine gewisse Anfälligkeit gegenüber alkalischen Medien. Obwohl die Massenänderungen nicht sehr gravierend waren, konnten bereits signifikante Änderungen bei den mechanischen Eigenschaften gefunden werden [5,6]. Deshalb war der Vergleich der ursprünglichen Dichtungsbahn 1702 mit der nachgebesserten Form 2369 interessant. Nach 12 Monaten Lagerung in Lauge konnte für die Dichtungsbahn 1702 sowohl im nassen als auch trockenen Zustand ein Gewichtsverlust bis zu 1 % gefunden werden. Die optimierte Dichtungsbahn 2369 wies nach 1 Jahr Alterung in Lauge hingegen im getrockneten Zustand mit -0.57 % einen deutlich niedrigeren Wert für die Massenänderung aus.

Nach Lagerung in Säure konnte für alle 3 Dichtungsbahnen auf Polyolefinbasis sowohl im nassen wie trockenen Zustand Gewichts Zunahmen beobachtet werden.

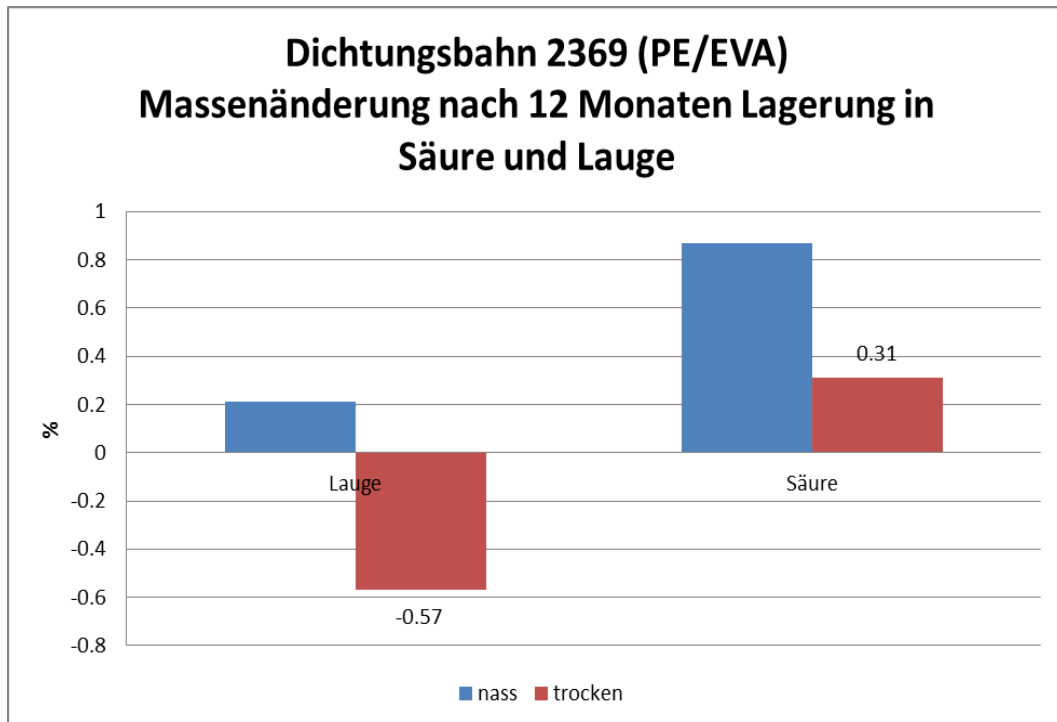
In den nachfolgenden Diagrammen 9-11 sind diese Ergebnisse zusammengefasst:



**Abb. 9** Massenänderung für Dichtungsbahn 3 nach Lagerung in Säure und Lauge bei 50°C während 12 Monaten im nassen und trockenen Zustand.



**Abb. 10** Massenänderung für Dichtungsbahn 1702 nach Lagerung bei 50°C in Säure und Lauge während 12 Monaten im nassen und trockenen Zustand.



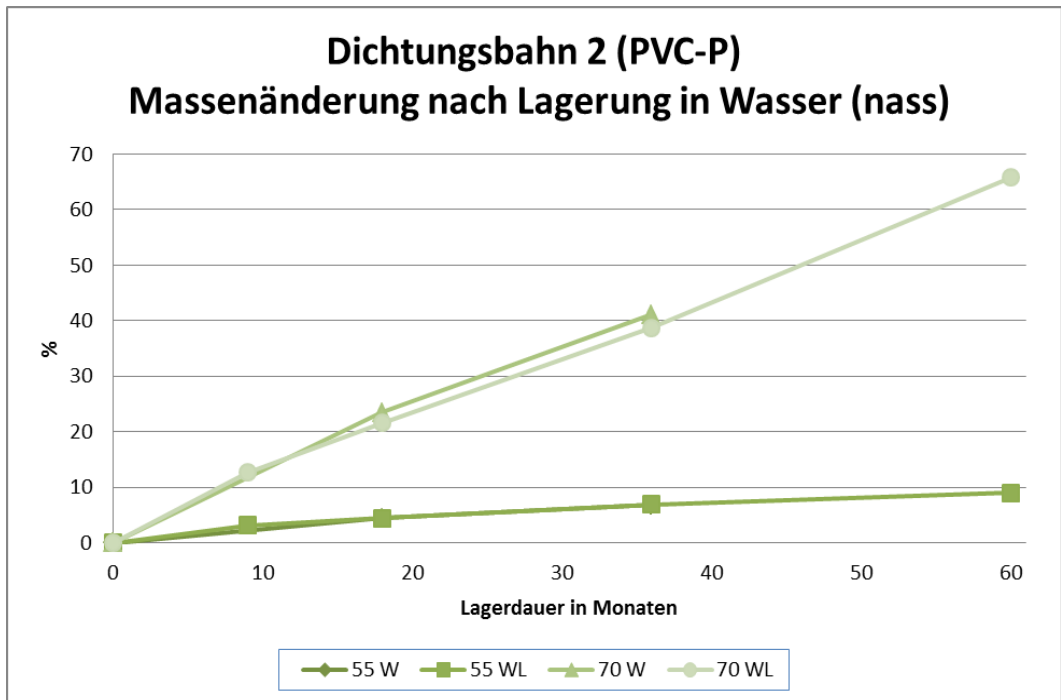
**Abb.11** Massenänderung für Dichtungsbahn 2369 nach Lagerung bei 50°C in Säure und Lauge während 12 Monaten im nassen und trockenen Zustand.

**PVC:** Für Dichtungsbahnen, welche aus weichgemachtem PVC bestehen, konnten ebenfalls Massenänderungen im nassen und getrockneten Zustand im Vergleich zu Originalproben bestimmt werden. Typischerweise sind Weichmacherverluste durch Extraktion und Auswaschen als auch Weichmacherwanderungsprozesse die typischen Alterungsprozesse in Medienlagerung. Darüber hinaus können hydrolytische Abbauprozesse des Weichmachers unter alkalischen oder sauren Bedingungen zum Tragen kommen.

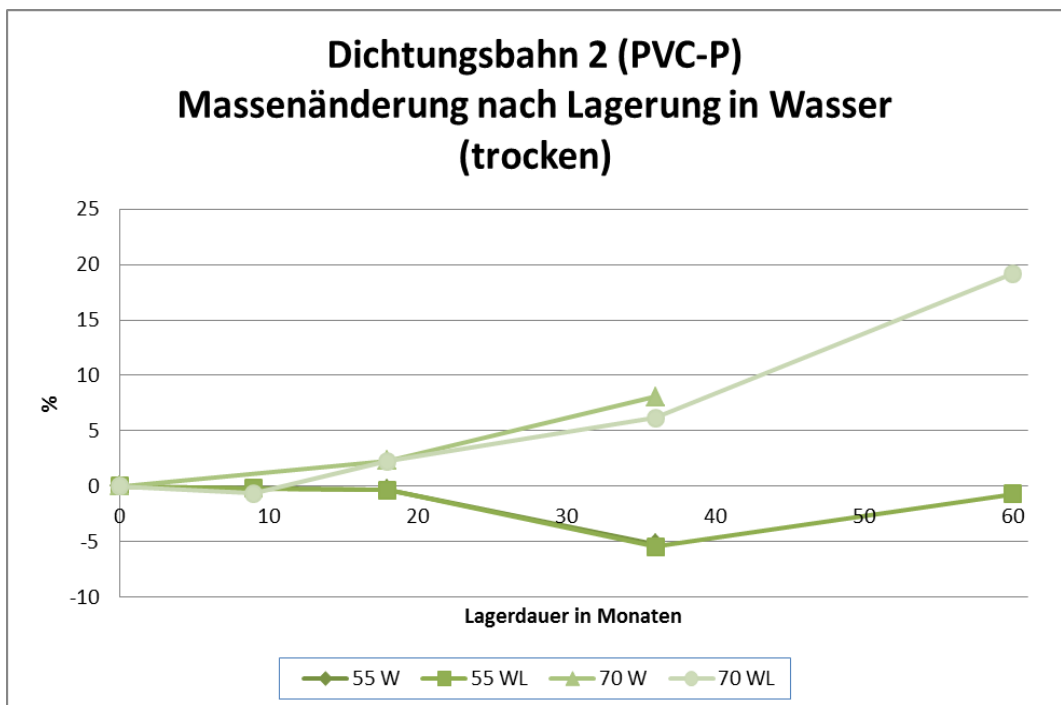
Ausser der originalen Dichtungsbahn 1712 und der optimierten Form 2385 wurde eine PVC Dachdichtungsbahn 2, d.h. optimiert für die Verwendung als Abdichtung auf dem Flachdach, untersucht.

Nach Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C mit und ohne Luft konnte für alle drei Dichtungsbahnen Gewichtszunahmen im nassen Zustand gefunden werden. Dabei nahmen diese mit der Lagerdauer sowie der Höhe der Wassertemperatur zu. Für die Dichtungsbahn 2 und 1712 wurden dabei massive Gewichtszunahmen nach 5 Jahren Lagerung in Wasser bei 70 °C gefunden. Die Zunahmen betragen ca. 66 bzw. 77%. Hingegen betrug die maximale Gewichtszunahme (Wasseraufnahme) bei der optimierten Dichtungsbahn 2385 nach 5 Jahren im Wasser bei 70°C noch 14.5% und fiel somit deutlich tiefer aus. Während das Wasser zu einem grossen Teil nach Lagerung in Wasser bei 55°C durch Trocknen im Ofen eliminiert werden konnte und Gewichtsverluste gemessen werden konnten, war das eingelagerte Wasser in den Proben aus der Wasserlagerung bei 70°C zu einem gewissen Teil nicht mehr durch Trocknen zu entfernen. Es ist zu vermuten, dass ein Teil des Weichmacherverlustes durch Einlagern von Wasser aufgewogen wird. Bestimmung des Weichmacheranteils in getrockneten Proben [8] zeigten typischerweise einen Verlust von ca. 20 % für PVC Materialien nach 10 Jahren im heissen Wasser, die mit Dioctylphthalat (DOP) weichgemacht wurden. Hingegen konnte für die vorliegende Dichtungsbahn 1712 ein deutlich niedrigerer Verlust von gut 13 % an Weichmacher gefunden werden. Die Dichtungsbahn 1712 wurde mit einem Di-iso-nonylphthalat (DINP) und nicht mit dem klassisch verwendeten DOP weichgemacht, um das bessere Extraktions- bzw. Hydrolyseverhalten von DINP gegenüber von DOP auszunutzen.

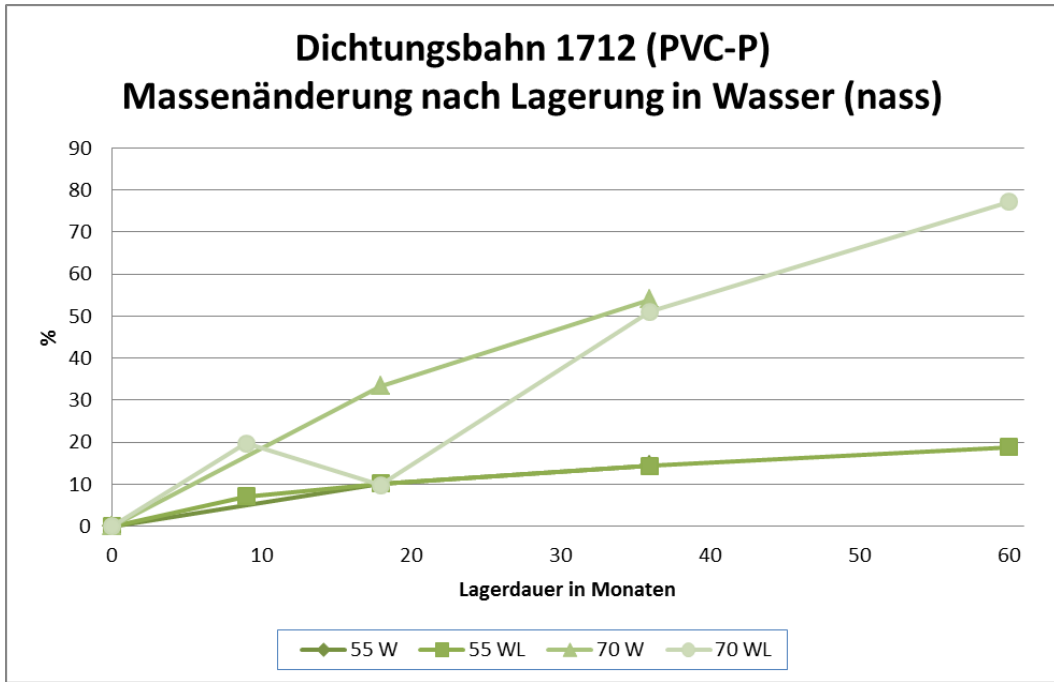
Die Diagramme mit den Massenänderungen für die Dichtungsbahnen 2, 1712 und 2385 nach Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C sowie mit und ohne Lufteinblasen sind im folgenden dargestellt.



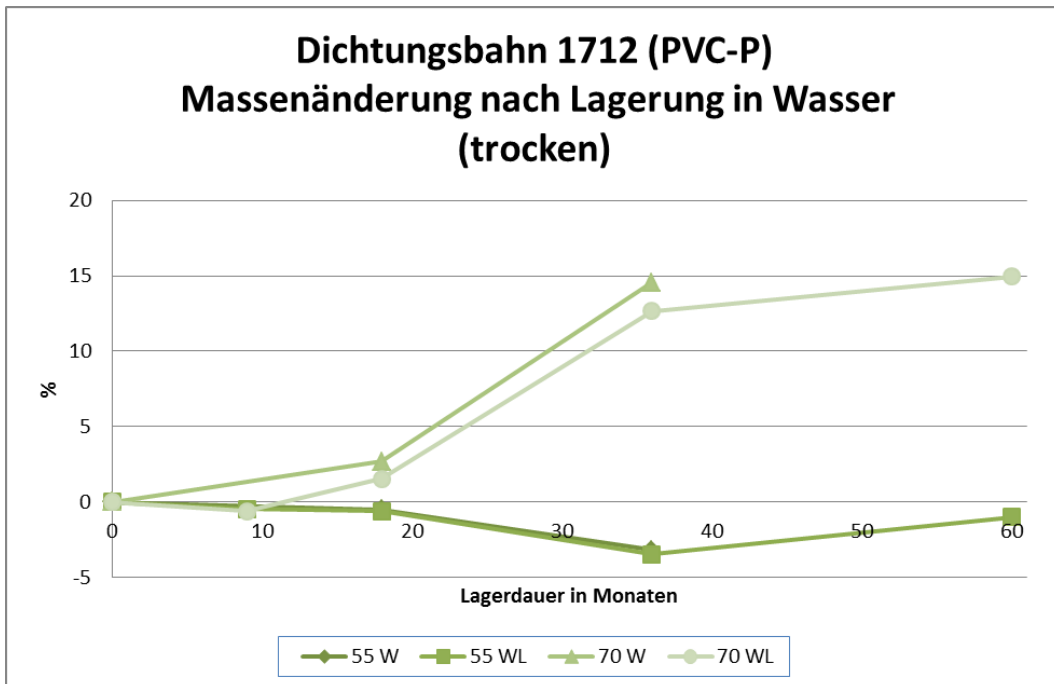
**Abb. 12** Massenänderung für Dichtungsbahn 2 im nassen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



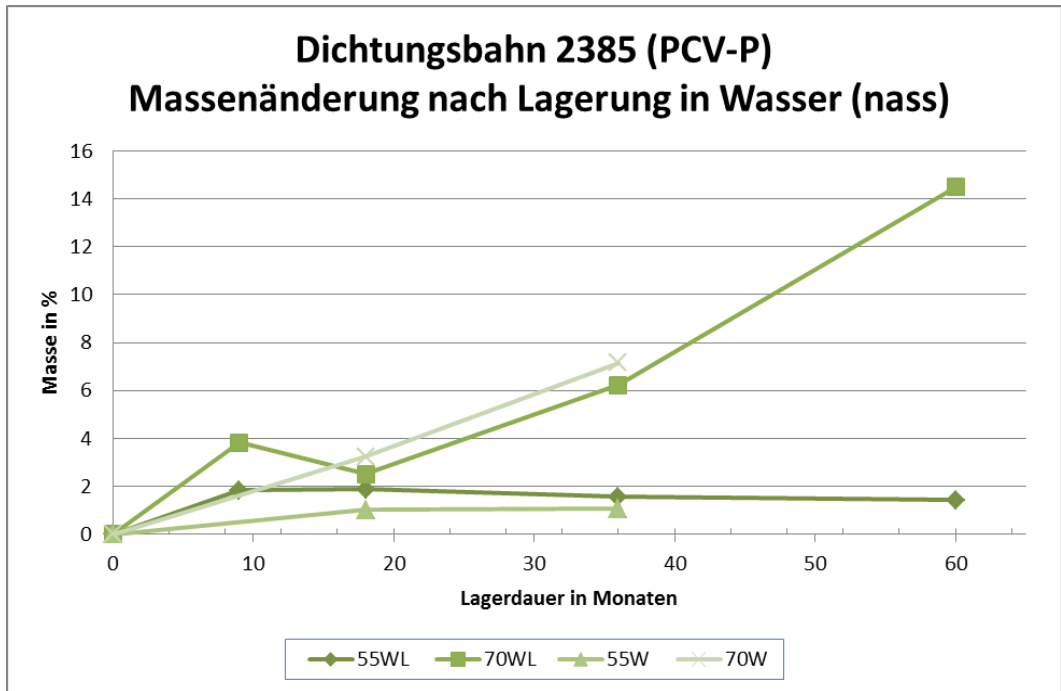
**Abb.13** Massenänderung für Dichtungsbahn 2 im trockenen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser und Luft (WL) bei 55 und 70°C.



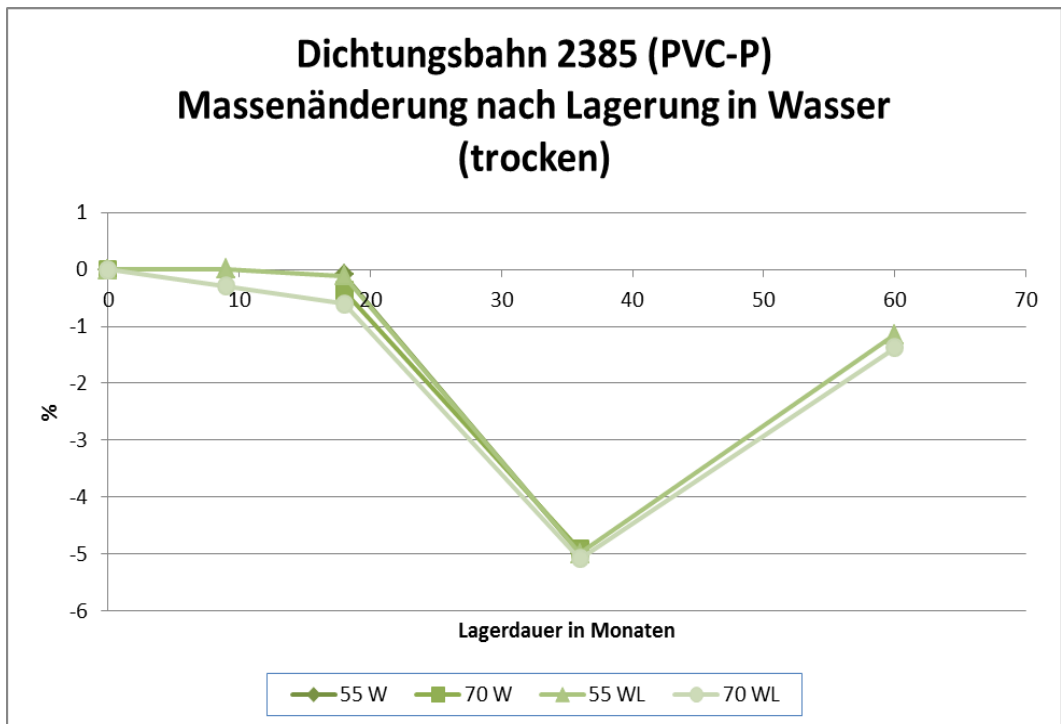
**Abb. 14** Massenänderung für Dichtungsbahn 1712 im nassen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft bei 55 und 70°C.



**Abb. 15** Massenänderung für Dichtungsbahn 1712 im trockenen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



**Abb. 16** Massenänderung für Dichtungsbahn 2385 im nassen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



**Abb. 17** Massenänderung für Dichtungsbahn 2385 im trockenen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.

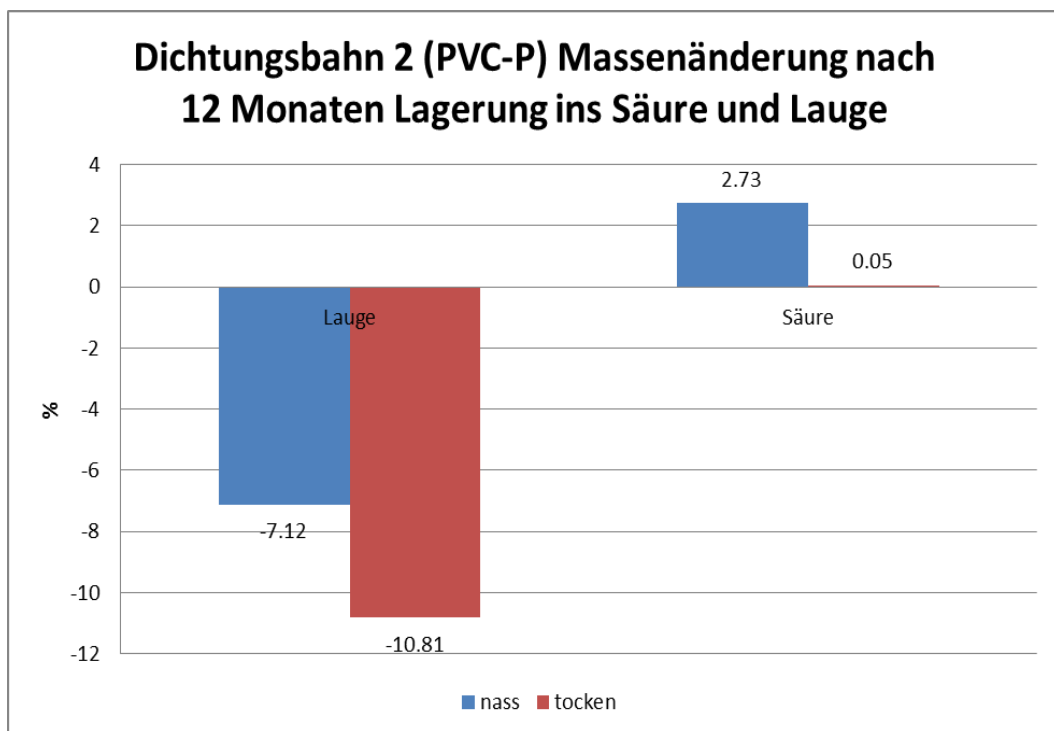
Ob die Optimierungen der originalen Dichtungsbahn bei Lagerbedingungen in Säure und Lauge tatsächlich eine Verbesserung darstellen ist aus den Massenänderungen nicht zu schliessen. Die Änderungen nach Lagerung in Säure und Lauge während 12 Monaten fallen absolut gesehen bei der optimierten Bahn höher aus als bei der ursprünglichen Re-

zeptur. Es wird mehr Wasser aufgenommen und dieses kann durch Trocknen auch nicht mehr vollständig entfernt werden.

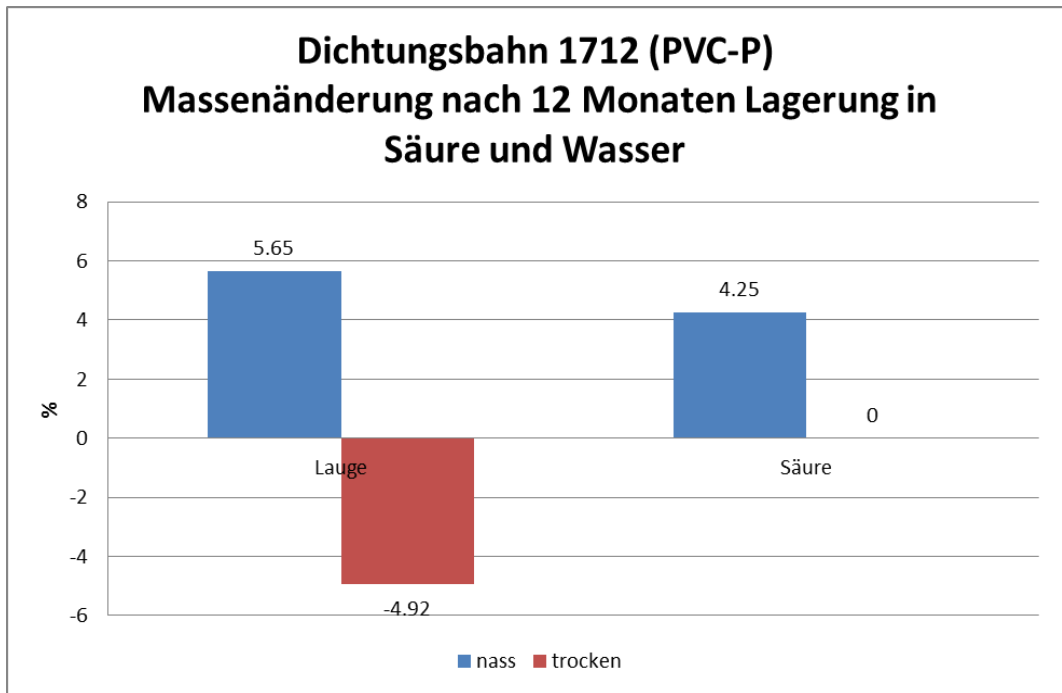
In wieweit das Langzeitverhalten dadurch negativ beeinflusst wird, ist schwer abzuschätzen. Offensichtlich übernimmt das Wasser die Rolle des Weichmachers und die Dichtungsbahn versprödet nicht in dem Masse, dass Undichtheiten entstehen oder starke mechanische Kräfte zu Rissen führen.

Die mituntersuchte Dachdichtungsbahn zeigt ebenfalls einen deutlichen Masseverlust von 7 und über 10 % im nassen wie trockenen Zustand. Hingegen ist die Massenänderung nach Lagerung in Säure vor allem im trockenen Zustand nach 1 Jahr Lagerung in Säure mit 0.05 % marginal.

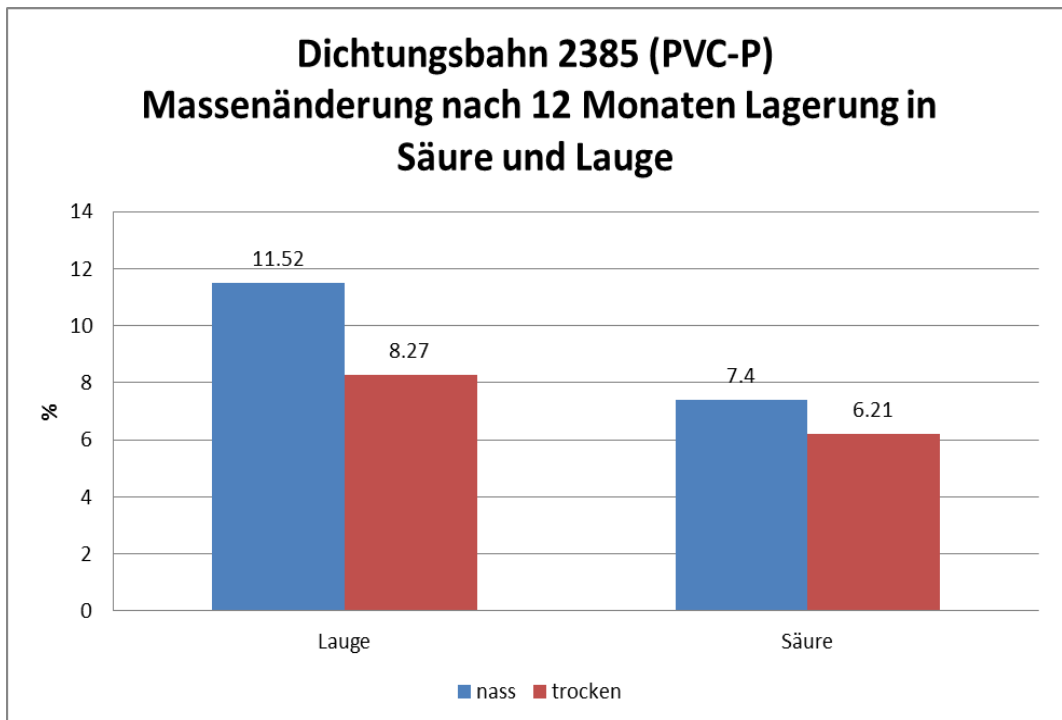
Die Diagramme mit den Massenänderungen nach Lagerung in Säure und Lauge während einem Jahr und im nassen und trockenen Zustand, sind nachfolgend zusammengefasst dargestellt.



**Abb. 18** Massenänderung für Dichtungsbahn 2 nach Lagerung bei 50°C in Säure und Lauge während 12 Monaten im nassen und trockenen Zustand.



**Abb. 19** Massenänderung für Dichtungsbahn 1712 nach Lagerung bei 50°C in Säure und Lauge während 12 Monaten im nassen und trockenen Zustand.

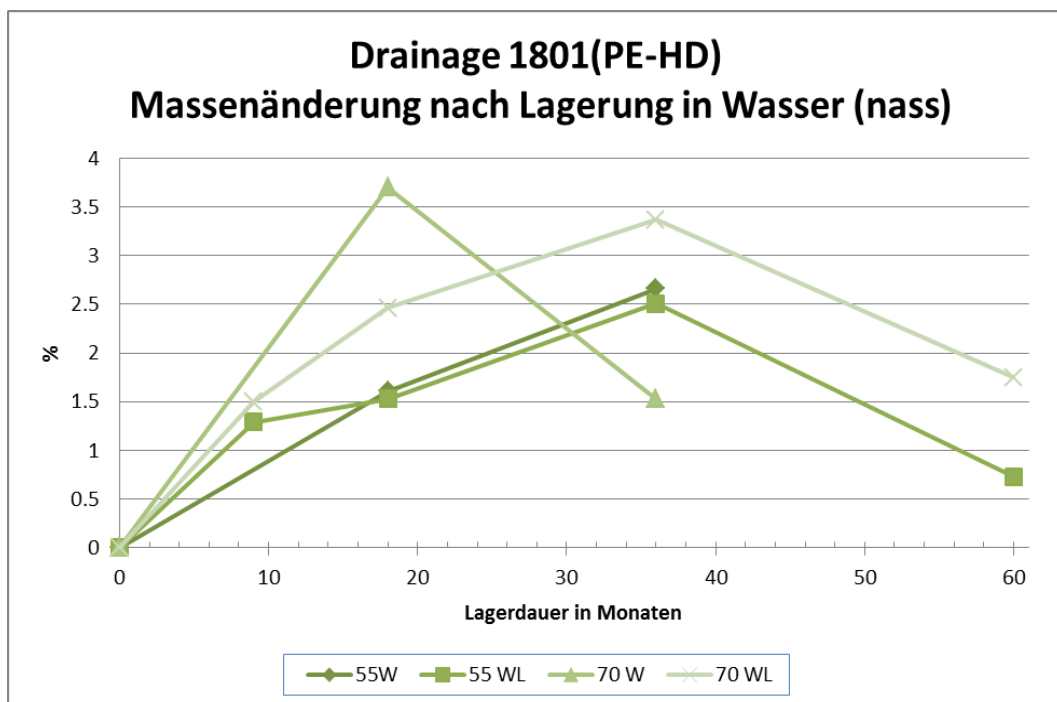


**Abb.20** Massenänderung für Dichtungsbahn 2385 nach Lagerung bei 50°C in Säure und Lauge während 12 Monaten im nassen und trockenen Zustand.

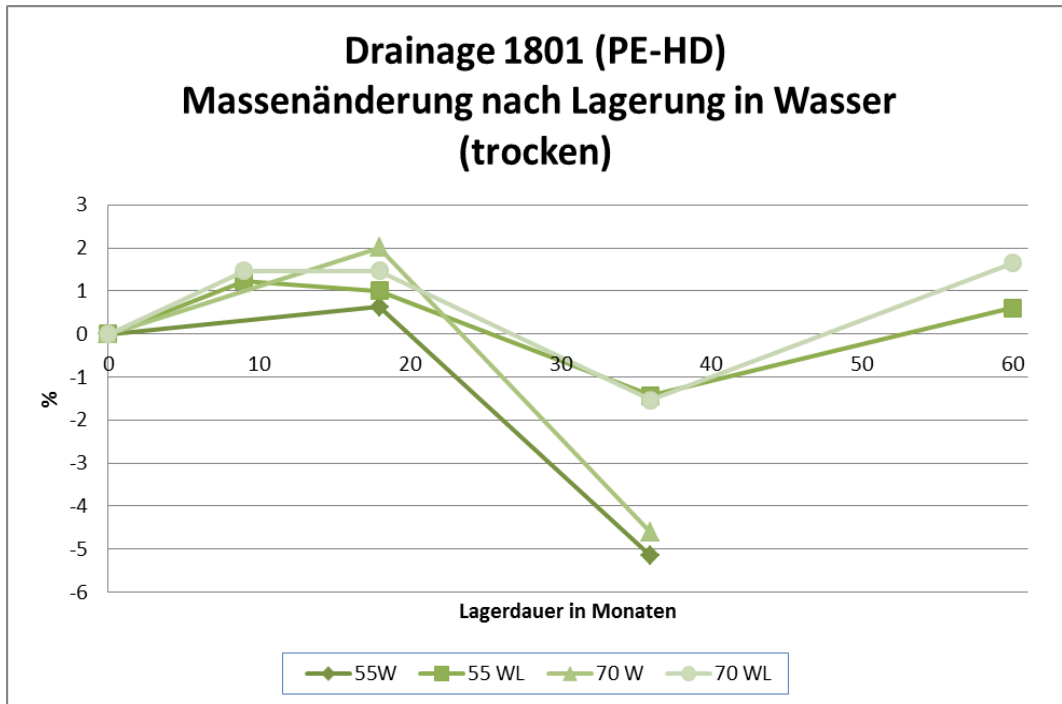
### Drainagematerial

Die Noppenbahnen Original 1801 und optimiert 2302 bestehend aus PE-HD zeigen nach Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C mit Luft sowohl im trockenen als auch nassen Zustand nach 5 Jahren Massenänderungen im Bereich von 0.6 bis 1.7 %. Obwohl diese als moderat zu bezeichnen sind, wurde wie bereits auch bei den polyolefinisch basierten Dichtungsbahnen nach 36 Monaten Lagerung deutlich höhere Massenänderungen gefunden und insbesondere nach Lagerung in Wasser ohne Luftzufuhr ein Gewichtsverlust von ca. 5 % gefunden. Der Abbau von Polymeren sowie die Extraktion von niedermolekularen Anteilen scheinen bis zu diesem Zeitraum zu dominieren. Später werden oxidative Prozesse mit Gewichtszunahme und mögliche Einlagerung von Wasser bedeutender. Verlängert man die Lagerdauer für 1801 auf 10 Jahre konnte eine Gewichtszunahme bis nahezu 7 % nach Lagerung in Wasser bei 70 °C beobachtet werden [7].

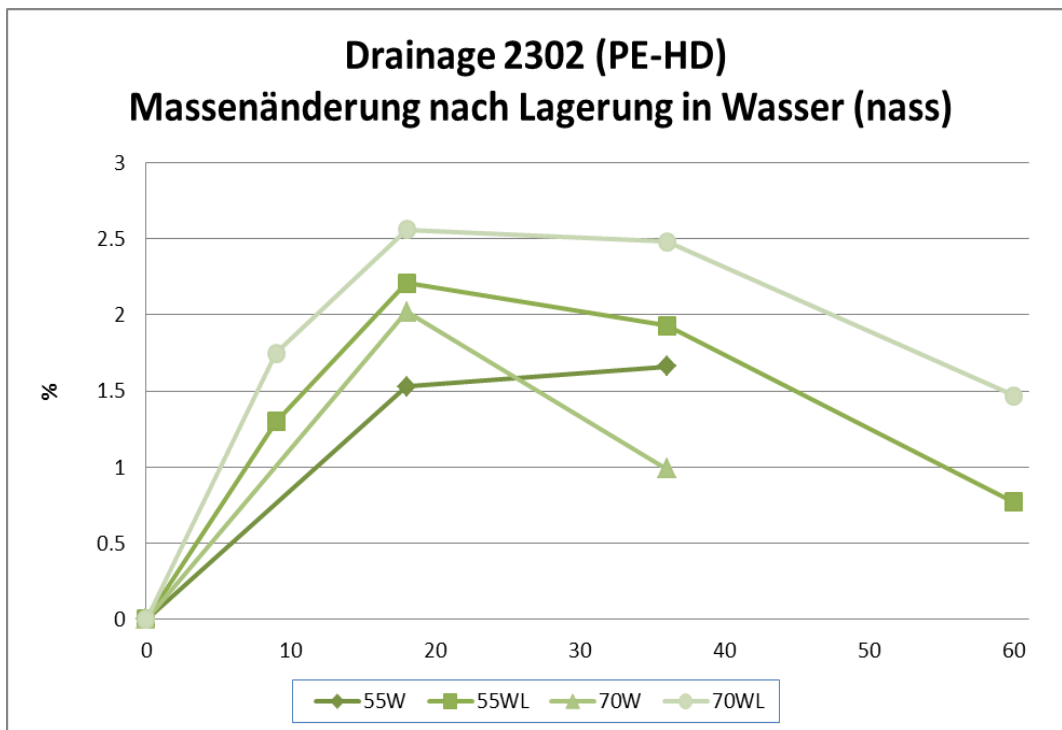
Das Wirrgele 2304 und 2355 basierend auf Polypropylen zeigt ein ähnliches Verhalten. Nach 5 Jahren in Wasser bei 55 und 70°C können relativ moderate Massenänderungen zwischen 1 und 6 % beobachtet werden. Hingegen sind insbesondere die Massenverluste im trockenen Zustand nach 3 Jahren mit über 5 bis 8.6 % ein Hinweis auf den Abbau von niedermolekularen Anteilen und Polymerabbau bevor dann oxidative Prozesse und Wassereinlagerung den Trend bei der Gewichtsabnahme umkehren. Drainagematerialien aus Polypropylen waren im ursprünglichen Evaluationsverfahren nicht sehr stabil und starke Massenverluste (bis zu 40 %) oder vollständige Zersetzung konnte bei mehreren Produkten gefunden werden [5,6]. Die beobachtete frühe starke Degradation der PP basierten Drainagematerialien war auf keine oder sehr geringe Stabilisierung mit Additiven zur Verbesserung des thermo-oxidativen Abbaus zurückzuführen. Die Drainagematerialien 2304 als auch 2355 waren bereits mit Stabilisatoren ausgerüstet, so dass ein massiver Abbau wie bei den nicht stabilisierten Produkten beobachtet, hier noch nicht einsetzte. Mit einer vollständigen Zersetzung der Drainagewirrgele ist zu einem deutlich späteren Zeitpunkt zu rechnen.



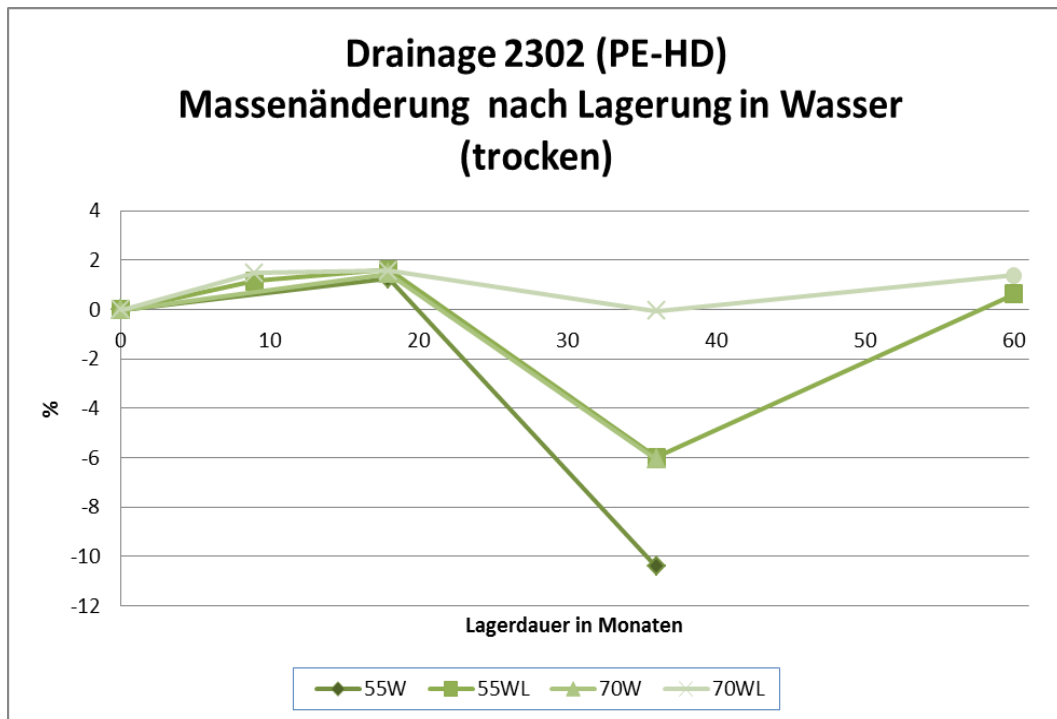
**Abb. 21** Massenänderung für Drainagematerial 1801 im nassen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



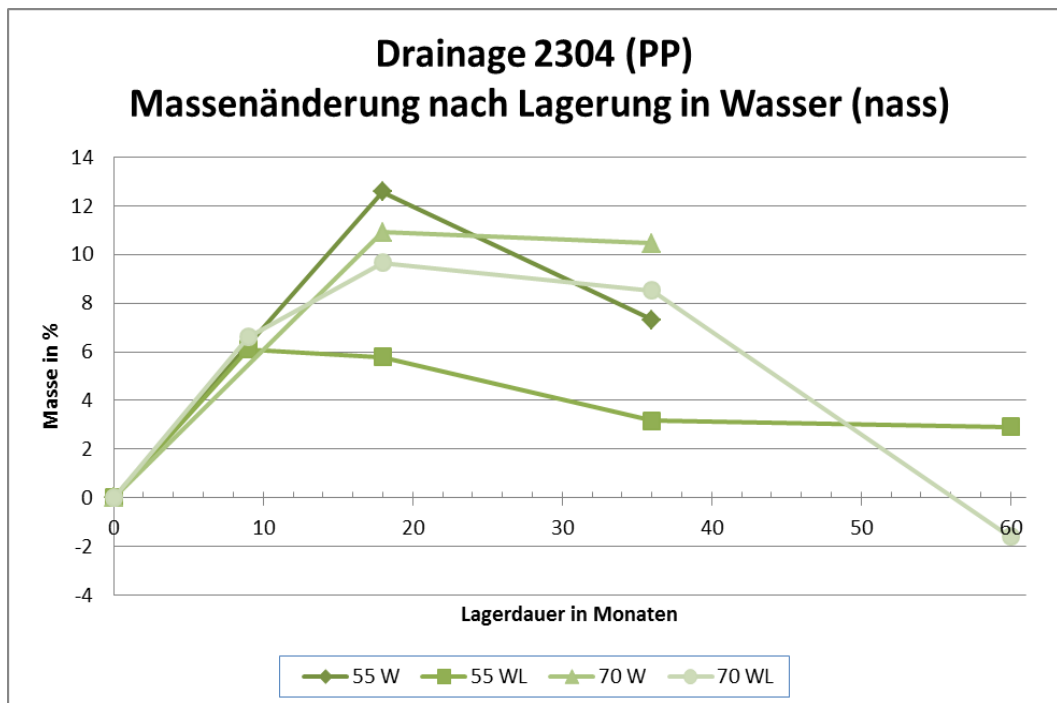
**Abb. 22** Massenänderung für Drainagematerial 1801 im trockenen Zustand nach Lagerung in Wasser



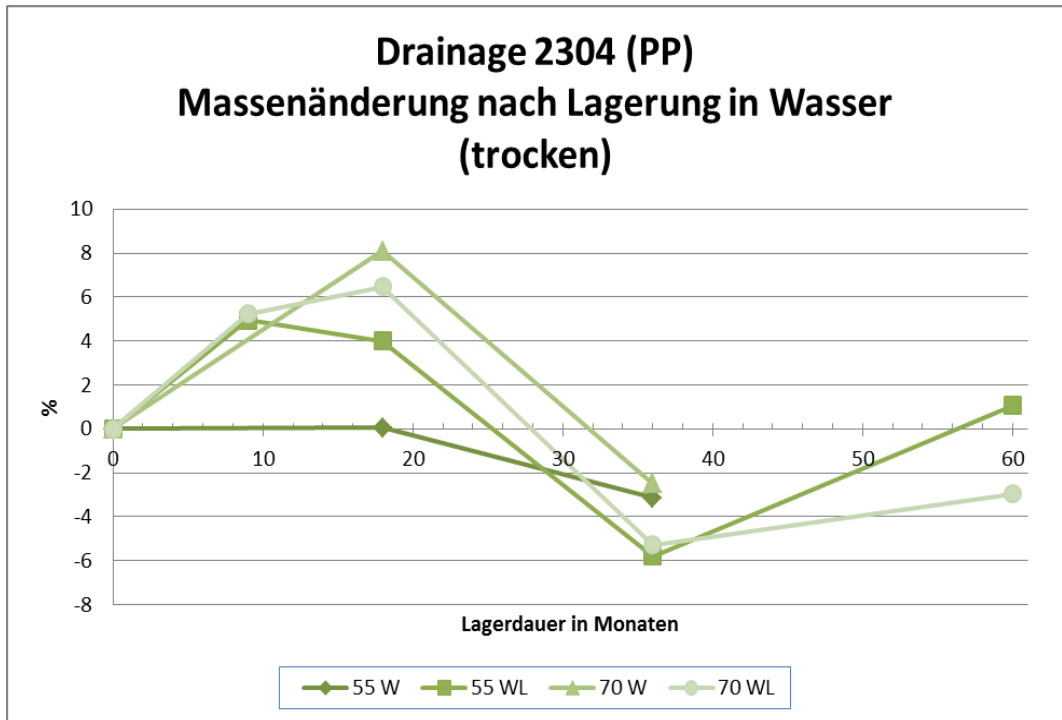
**Abb. 23** Massenänderung für Drainagematerial 2302 im nassen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



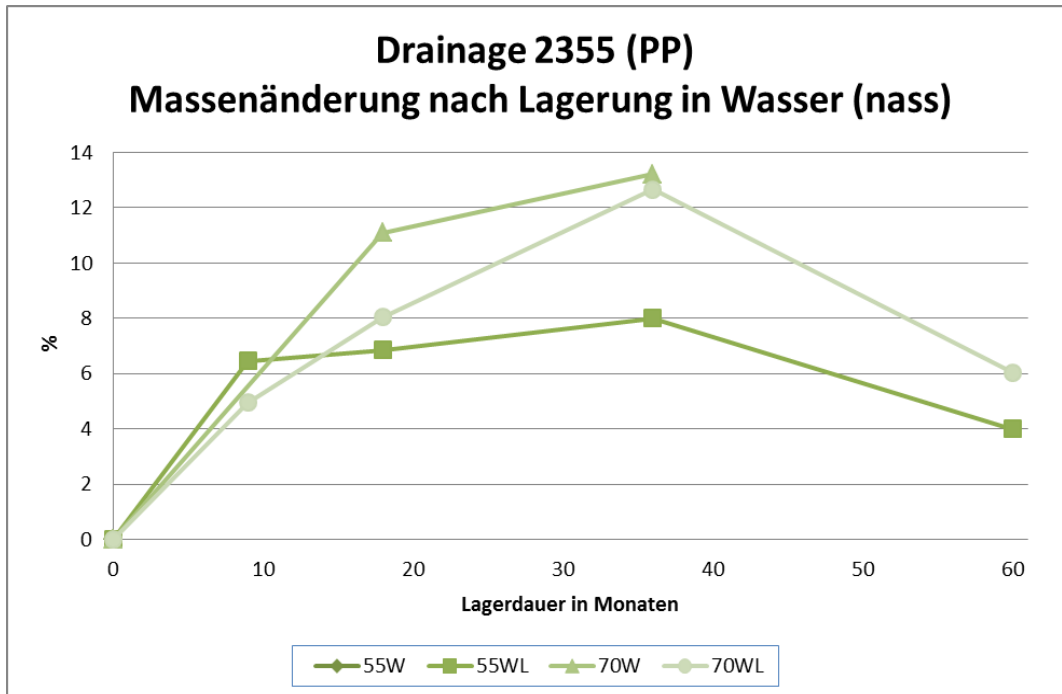
**Abb. 24** Massenänderung für Drainagematerial 2302 im trockenen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



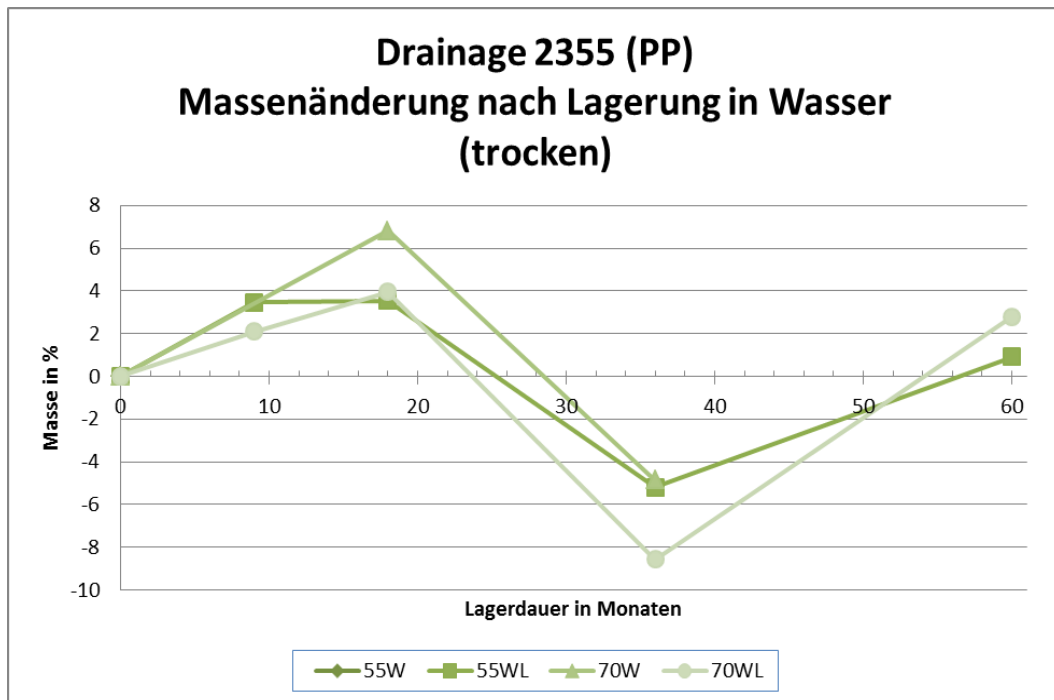
**Abb. 25** Massenänderung für Drainagematerial 2304 im nassen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



**Abb. 26** Massenänderung für Drainagematerial 2304 im trockenen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



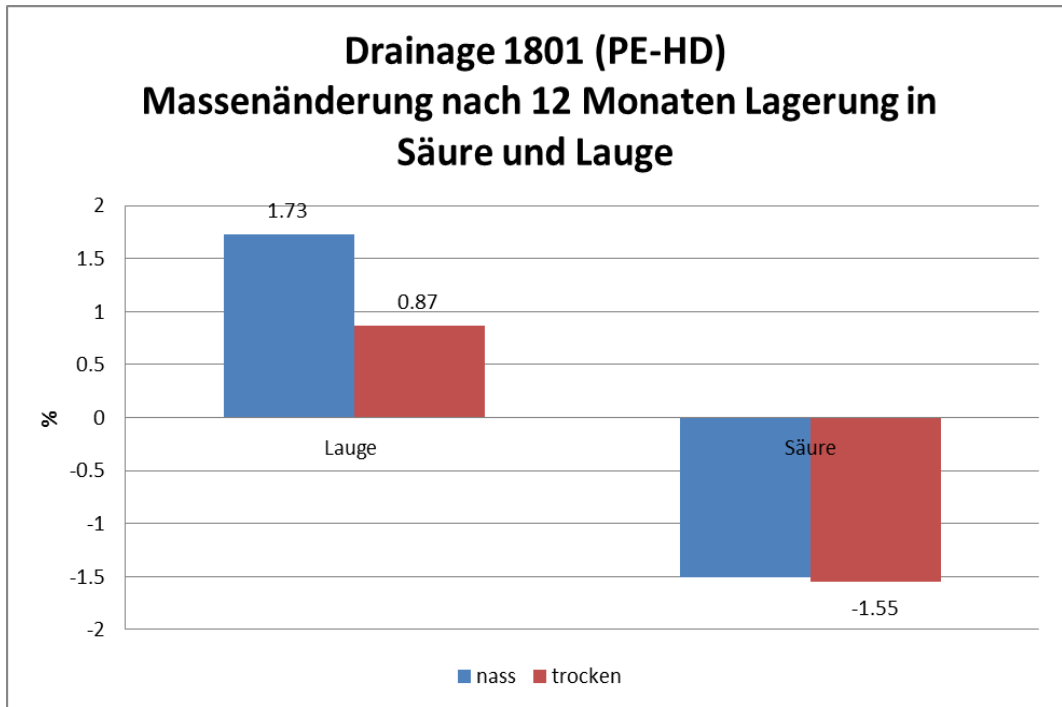
**Abb. 27** Massenänderung für Drainagematerial 2355 im nassen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



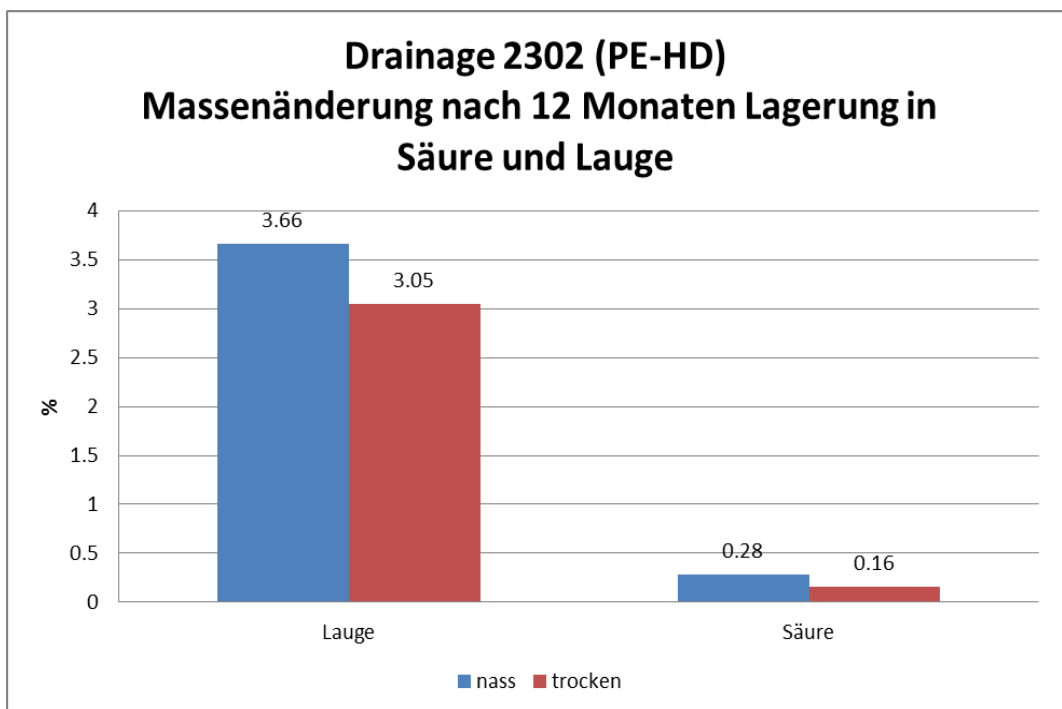
**Abb. 28** Massenänderung für Drainagematerial 2355 im trockenen Zustand nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.

Die Massenänderungen der Drainagematerialien nach Lagerung in Säure und Lauge während 12 Monaten ist ebenfalls in den nachfolgenden Diagrammen zusammengefasst. Die Gewichtszunahme im nassen Zustand ist für die Lagerung in Lauge jeweils höher als nach Lagerung in Säure. Für 1801 konnte im nassen Zustand nach Lagerung in Säure bereits ein Gewichtsverlust gemessen werden. Alle übrigen Proben zeigten Zunahmen. Im trockenen Zustand wurde nach Lagerung in Lauge für alle Proben eine Gewichtszunahme gefunden. Nach Lagerung in Säure zeigte nicht nur 1801 einen Massenverlust sondern auch 2304 und 2355. Vergleicht man die Noppenbahn 1801 (ursprünglich) mit der optimierten Bahn 2302 scheint die Optimierung eher bei der Lagerung in Säure einen positiven Einfluss zu haben, da nur geringe Gewichtsänderungen unter 0.3 % gefunden werden. Hingegen sind die Gewichtszunahmen nach Lagerung in Lauge für die optimierte Form 2302 mit über 3 % deutlich höher als bei 1801 (zwischen ca. 0.9 und 1.7 %).

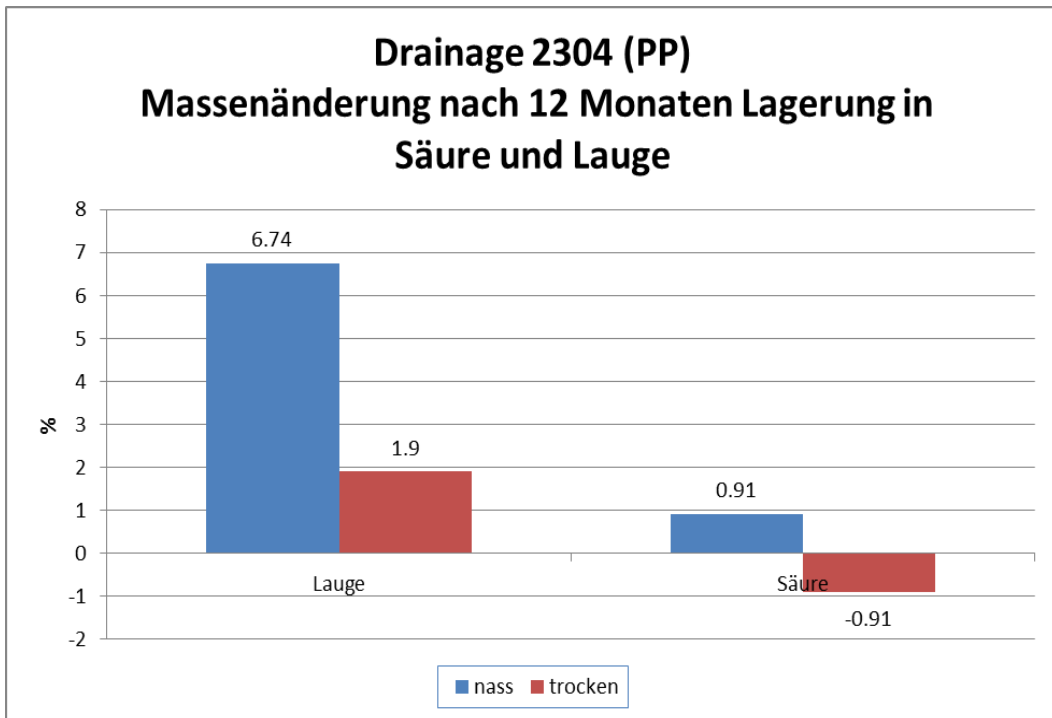
Für das Wirrgelege 2304 (Original) und 2355 (optimiert) zeigt sich ein ähnliches Verhalten. In Lauge findet man höhere Massenänderungen für die optimierte Form als für das Original. Hingegen sind die Änderungen nach Lagerung in Säure für beide Formen ähnlich.



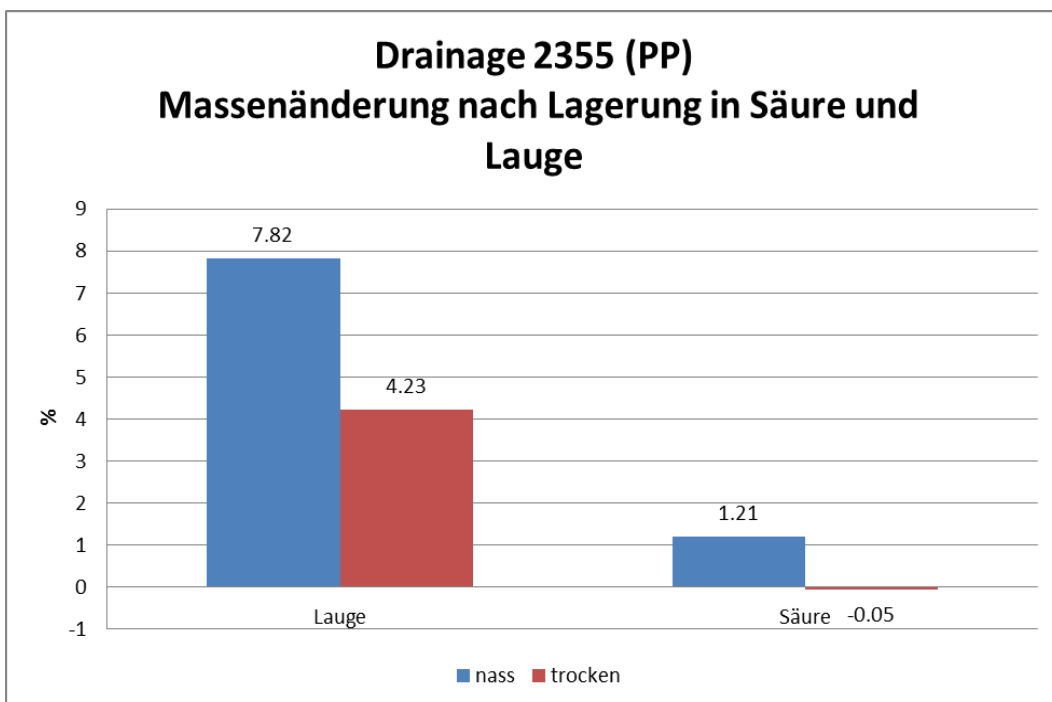
**Abb. 29** Massenänderung für Drainagematerial 1801 nach Lagerung bei 50°C in Säure und Lauge während 12 Monaten im nassen und trockenen Zustand.



**Abb. 30** Massenänderung für Drainagematerial 2302 nach Lagerung in Säure und Lauge während 12 Monaten im nassen und trockenen Zustand.



**Abb. 31** Massenänderung für Drainagematerial 2304 nach Lagerung bei 50°C in Säure und Lauge während 12 Monaten im nassen und trockenen Zustand.



**Abb. 32** Massenänderung für Drainagematerial 2355 nach Lagerung bei 50°C in Säure und Lauge während 12 Monaten im nassen und trockenen Zustand.

### 3.2.3 Zugversuche

Um den Einfluss der Alterung auf die mechanischen Eigenschaften zu erfassen sowie das Fortschreiten der Alterung zu beschreiben, wurden die mechanischen Eigenschaften der gealterten Proben der Dichtungsbahnen untersucht. Häufig wird dafür ein einachsiger Zugversuch durchgeführt. Über den Zugversuch werden die physikalischen Belastungsgrenzen eines Werkstoffes als Zugfestigkeit und Reissdehnung gewonnen, der häufig zusätzlich angegebene Modul besitzt eine Aussagekraft für die Verformungsspannung für eine vorgegebene Dehnung (häufig 100%).

Die Prüfungen wurden gemäss SIA V 280 (1996) durchgeführt. Es wurde die Zugfestigkeit und Reissdehnung bestimmt. Darüber hinaus wurde der E-Modul als auch der Modul bei 100 % Dehnung ausgewertet (vgl. Anhang II tabellarische Zusammenfassung).

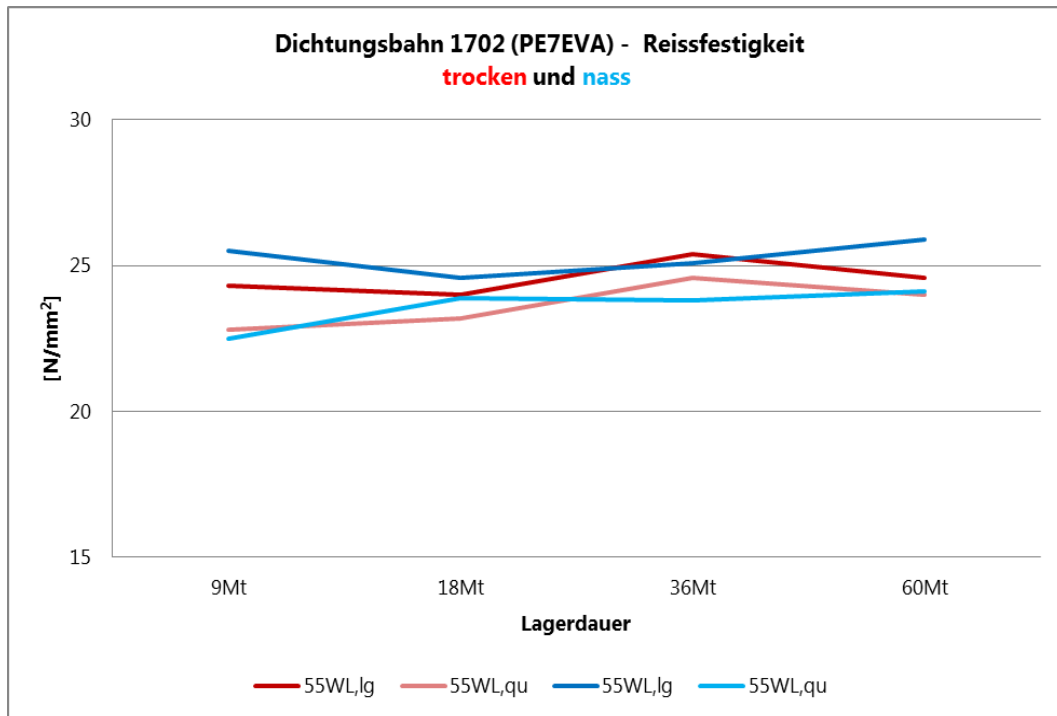
Die Reissfestigkeit wird für Proben im trockenen und nassen Zustand sowie in Längs- und Querrichtung der Bahn vergleichend nach 9, 18, 36 und 60 Monaten Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C (mit Luft) dargestellt und diskutiert.

#### ***Dichtungsbahnen 1702 und 2369 im Vergleich***

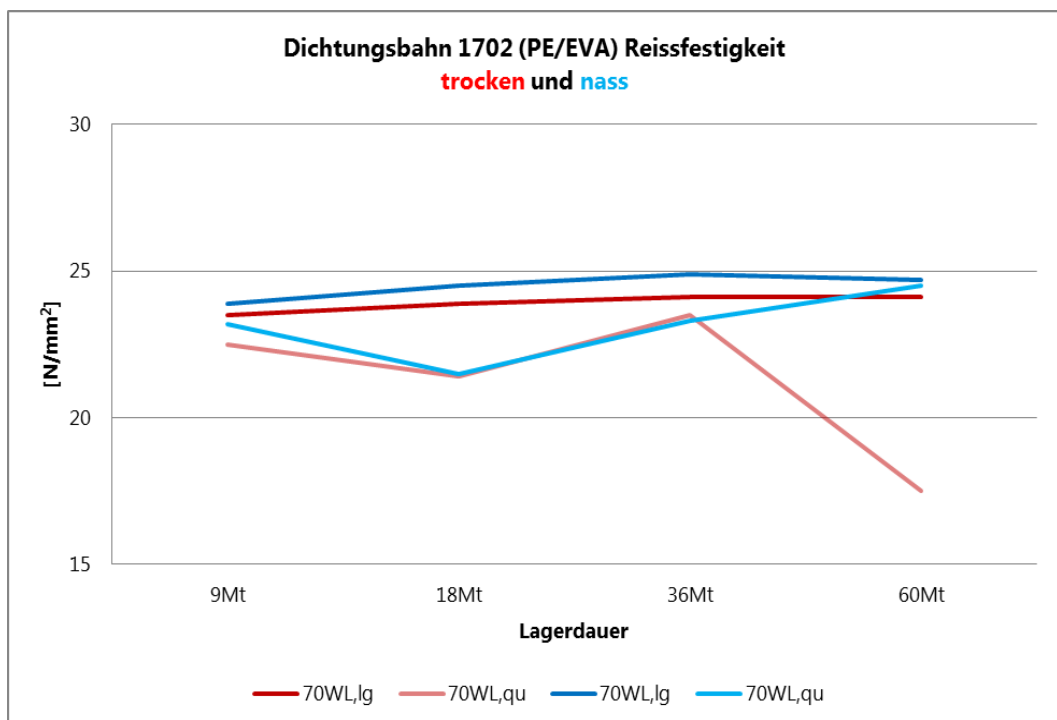
Betrachtet man die Reissfestigkeit für die beiden Dichtungsbahnen 1702 und 2369, wobei 2369 die optimierte Form von 1702 darstellt, so erkennt man schnell, dass die Festigkeiten nach Lagerung in Wasser bei 55°C mit Luft sowohl für den nassen als auch trockenen Zustand nur geringfügig schwanken. Die Schwankungen liegen im Bereich der Messunsicherheit für Zugversuche, die auf etwa 10 % abzuschätzen ist. Es kann keine signifikante Veränderung der Reissfestigkeit nach 5 Jahren Lagerung in Wasser gefunden werden. Bei höherer Wassertemperatur (70°C) sind die Änderungen immer noch relativ klein und eine deutliche Veränderung der Festigkeit kann nicht gefunden werden. Lediglich für die Festigkeit der Dichtungsbahn 1702 in Querrichtung findet man in getrockneten Zustand eine deutliche Abnahme von 22.5 N/mm<sup>2</sup> (nach 9 Monaten Lagerung) auf 17.5 N/mm<sup>2</sup>.

Für die Dichtungsbahn 1702 wird im Nullzustand trocken eine Reissdehnung von 732 % (längs) und 762 % (quer) [11] bestimmt. Die beobachteten Werte (768 % l, 808 % q 55°C WL und 783 % l, 767 % q 70°C WL) nach 5 Jahren Alterung in Wasser für die Reissdehnung sind ebenfalls nahezu unverändert bzw. weisen eine leicht höhere Dehnung auf als im Originalzustand. Dies ist vermutlich auf Wasser zurückzuführen, welches nicht mehr vollständig entfernt werden kann und als Weichmacher dient. Die optimierte Form 2369 zeigt im Vergleich zur Dichtungsbahn 1702 (Originalrezeptur) leicht höhere Werte (um ca. 800 %) an. Es sind kaum Einflüsse auf die mechanischen Eigenschaften der Dichtungsbahnen aus Polyolefinen oder Copolymeren durch die Alterung in Wasser bei 55 und 70°C mit Lufteinblasen zu finden.

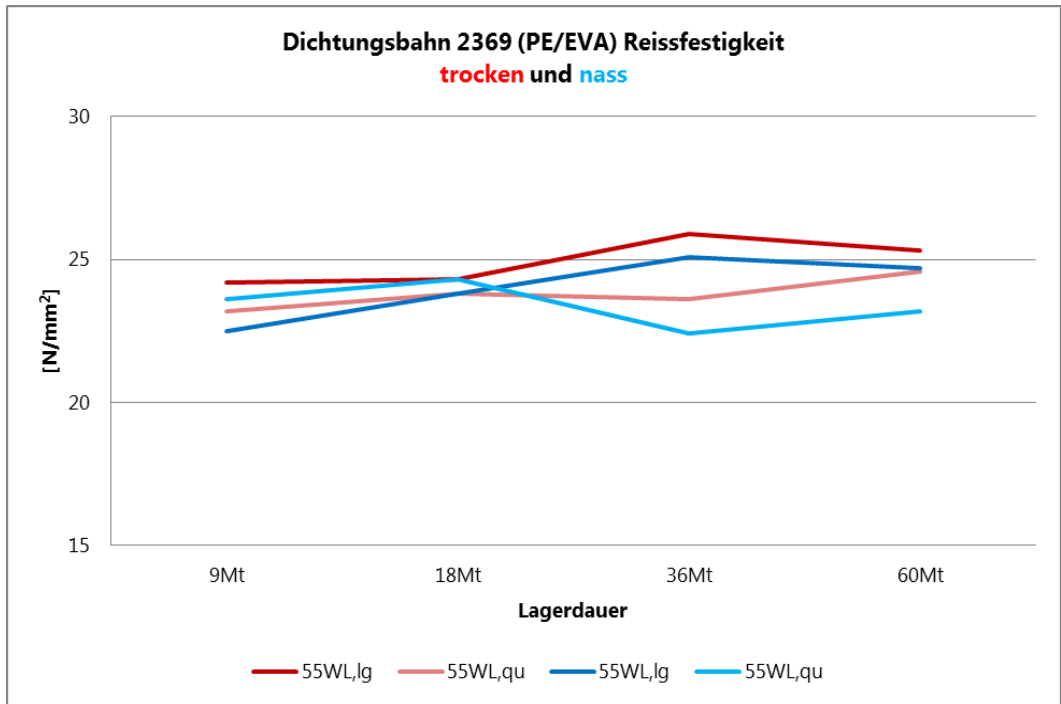
Die Reissfestigkeit ist für 1702 und 2369 in den nachfolgenden Diagrammen zusammengefasst.



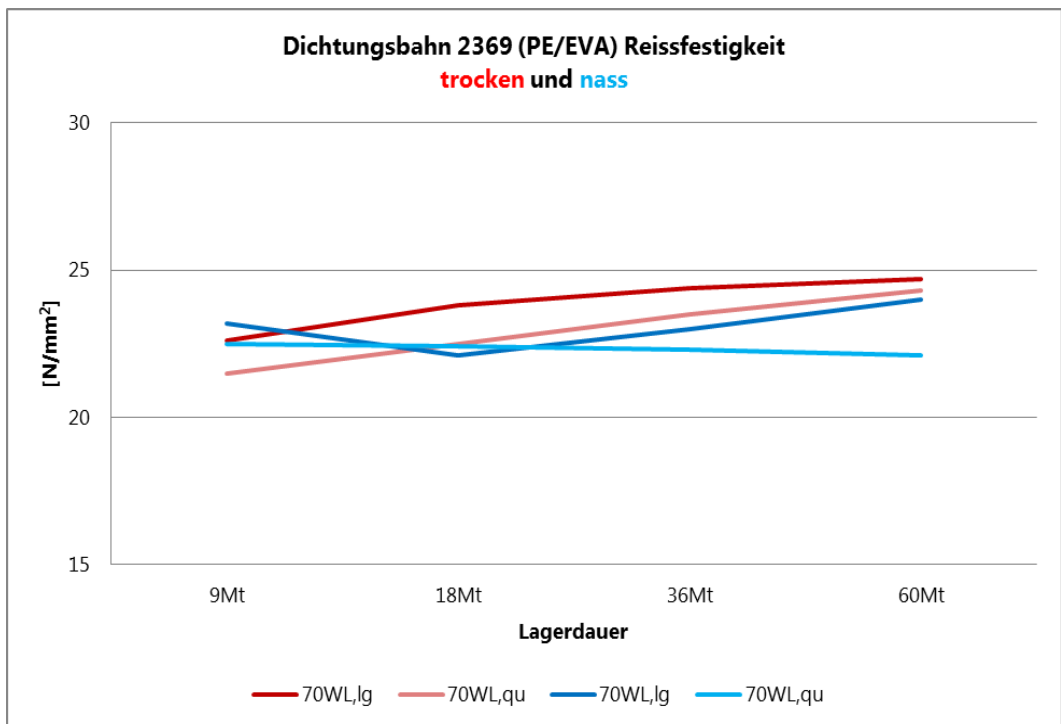
**Abb. 33** Reissfestigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 1702 im Vergleich nach Lagerung bei 55°C in Wasser und Luft (WL).



**Abb. 34** Reissfestigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 1702 im Vergleich nach Lagerung bei 70°C in Wasser und Luft (WL).



**Abb. 35** Reissfestigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 2369 im Vergleich nach Lagerung bei 55°C in Wasser und Luft (WL).

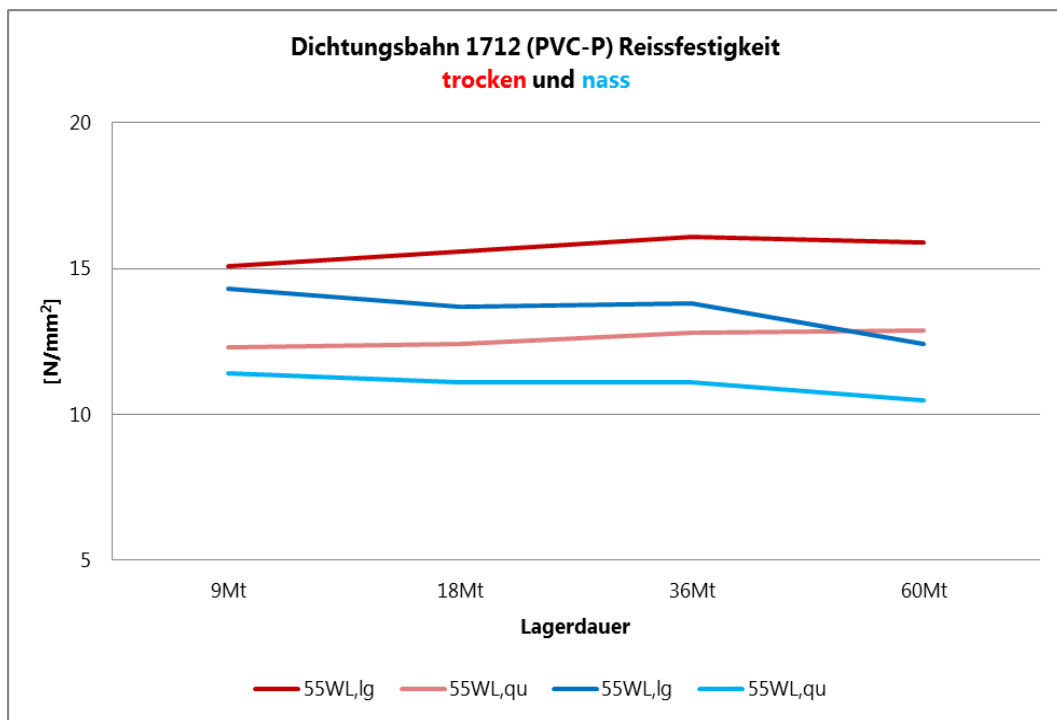


**Abb. 36** Reissfestigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für 2369 im Vergleich nach Lagerung bei 70°C in Wasser und Luft (WL).

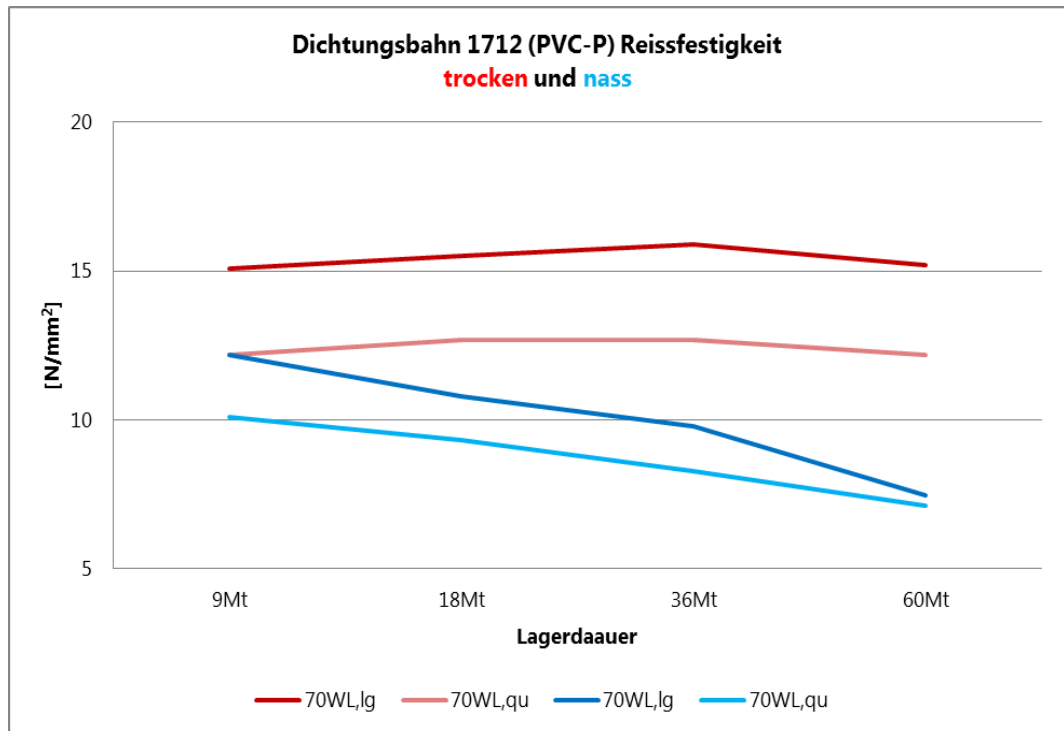
Für die Dichtungsbahnen aus PVC ergab sich für die Reissfestigkeit nach 5 Jahren Lagerung in Wasser bei 55 und 70 °C mit Einblasen von Luft das folgende Bild. Im nassen

Zustand ist die Reißfestigkeit für die beiden PVC Bahnen in der Regel etwas niedriger als im getrockneten Zustand. Nach Lagerung in Wasser bei 55°C sind die Veränderungen ähnlich wie bei den PO basierten Dichtungsbahnen moderat und in einem ähnlichen Bereich wie die Unterschiede zwischen den Proben längs und quer. Nach 5 Jahren Lagerung in Wasser bei 70°C mit Luft zeigt sich insbesondere für den nassen Zustand eine signifikante Abnahme der Reißfestigkeit, was auf die Wasseraufnahme bzw. den Austausch von Weichmacher mit Wasser zurückzuführen ist. Sind die Proben getrocknet, ergeben sich nahezu die gleichen Werte für die Reißfestigkeit wie nach 9 Monaten Alterung. Eine deutliche Alterung der Proben mit eingeschränkten mechanischen Eigenschaften konnte nicht beobachtet werden. Die an der Dichtungsbahn 2385 vorgenommenen Optimierungen im Vergleich zur Ausgangsrezeptur in 1712 wirken moderat positiv, zeigen auf keinen Fall eine Verschlechterung bezüglich Alterungsverhalten im warmen Wasser auf.

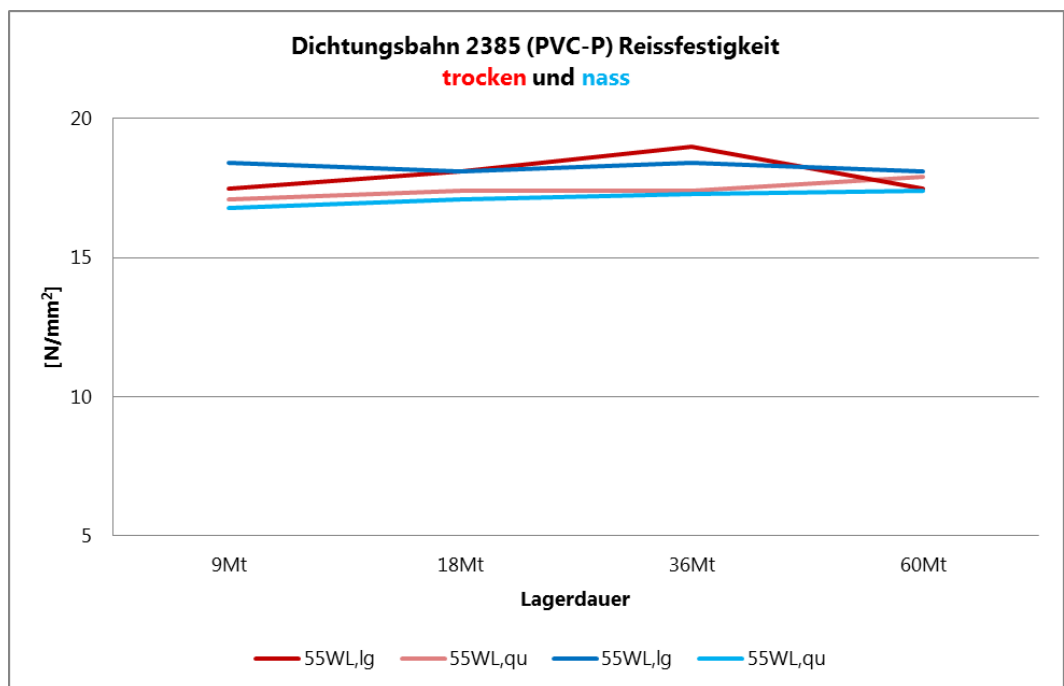
Nachfolgend sind die Ergebnisse für die Reißfestigkeit für die PVC Dichtungsbahnen 1712 und 2385 nach 5 Jahren Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C mit Einblasen von Luft in den Diagrammen Abb. 37 bis 40 zusammengefasst.



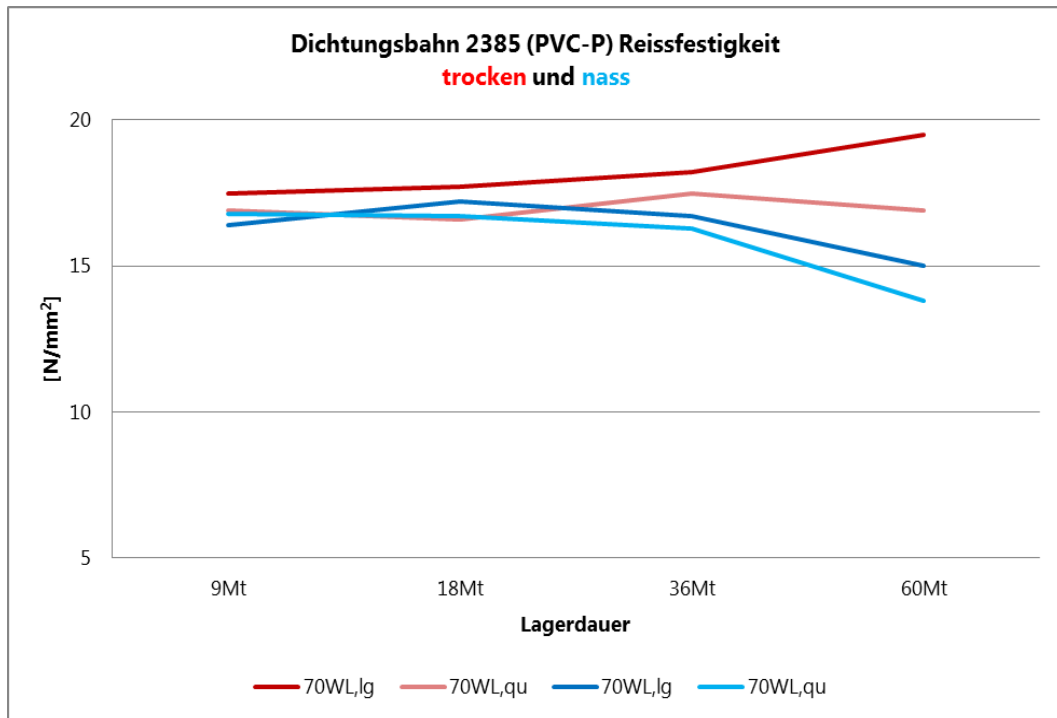
**Abb. 37** Reißfestigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 1712 im Vergleich nach Lagerung bei 55°C in Wasser und Luft (WL).



**Abb. 38** Reissfestigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 1712 im Vergleich nach Lagerung bei 70°C in Wasser und Luft (WL).



**Abb. 39** Reissfestigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 2385 im Vergleich nach Lagerung bei 55°C in Wasser und Luft (WL).



**Abb. 40** Reissfestigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 2385 im Vergleich nach Lagerung bei 70°C in Wasser und Luft (WL).

### 3.2.4 Schlagzugzähigkeit

Quasi statische Bestimmung der mechanischen Eigenschaften an gealterten Proben erfassen die durch die Alterung verursachten Änderungen oft nicht sehr genau. Daher werden dynamische Messungen wie z. B. Bestimmung des Schubmoduls über Torsionsschwingversuche oder wie im vorliegenden Fall die Bestimmung der Schlagzugzähigkeit durchgeführt, um das Verhalten von Materialien bei Bewitterung, thermischer Alterung oder Medienlagerung zu beschreiben. Zudem können die Eigenschaften unter den entsprechenden Einsatzbedingungen bewertet werden.

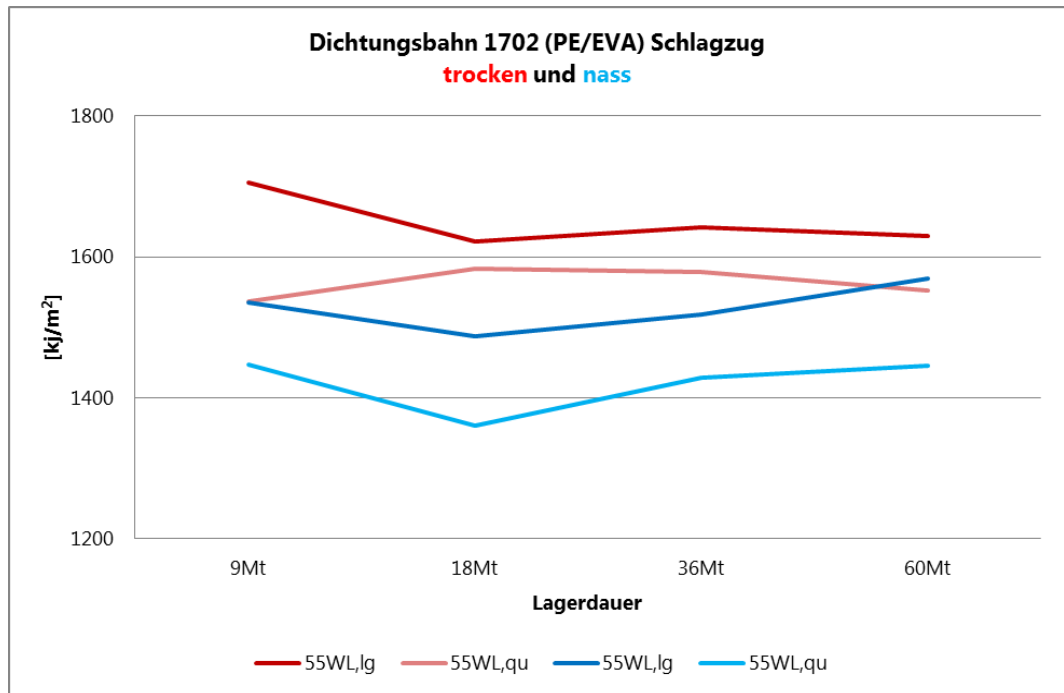
Die Bestimmung der Schlagzugzähigkeit erfolgte gemäss der Norm EN ISO 8256 (Verfahren A) [10]. Es wurde die korrigierte Schlagarbeit in  $\text{kJ/m}^2$  an nicht gekerbten Proben bestimmt. Im Anhang II sind die Werte für den Schlagzugversuch tabellarisch zusammengefasst.

Im Zugversuch konnten für die beiden Dichtungsbahnpaare 1702 und 2369 bzw. 1712 und 2385 tendenziell leicht verbesserte Eigenschaften des Alterungsverhaltens für die optimierten Formen gefunden werden. Jedoch ist der Zugversuch häufig nicht sehr empfindlich und zeigt die durch die Alterung verursachten Änderungen nur bedingt auf.

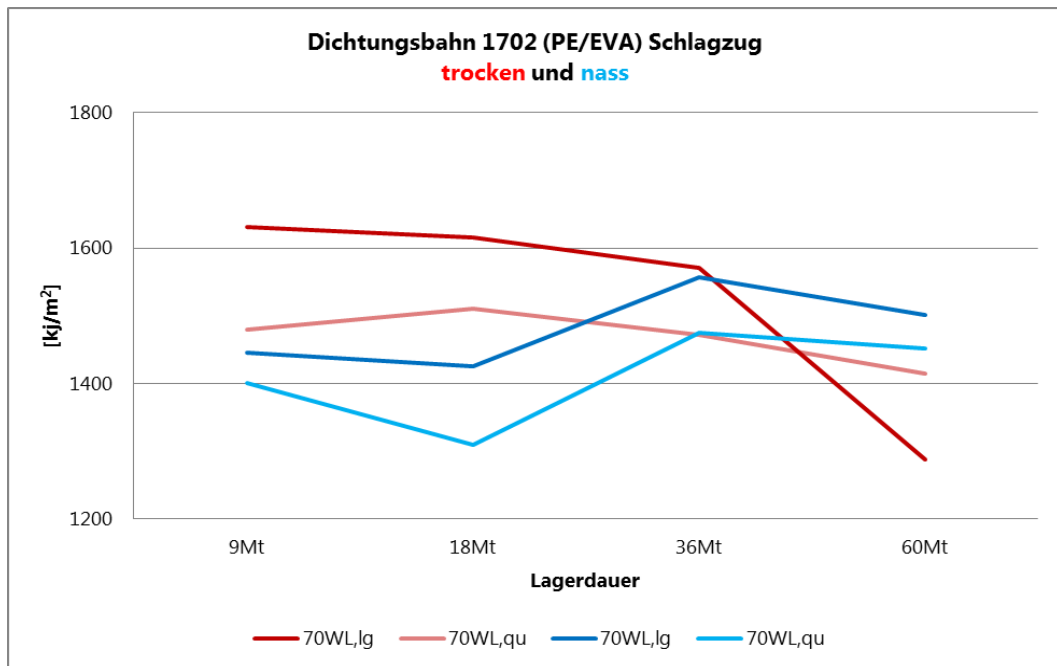
Nach Lagerung in Wasser bei 55°C mit Lufteinblasen zeigt sich nach 5 Jahren Alterung für den Schlagzugversuch ein ähnliches Bild wie beim Zugversuch. Die Dichtungsbahn 1702 weist nach 5 Jahren Lagerung in Wasser bei 55°C mit Luft sehr ähnliche Werte für die Schlagzugzähigkeit auf wie nach 9 Monaten Alterung, sowohl im nassen wie trockenen Zustand als auch in beide Bahnrichtungen längs und quer. Hingegen findet man für 1702 nach Lagerung in Wasser bei 70°C eine Zunahme für die Schlagzugzähigkeit im nassen Zustand, und im getrockneten deutliche eine Abnahme (ca. 20%) jeweils beim Vergleich der Werte nach 9 und 60 Monaten Lagerung. Die Schlagzugzähigkeit zeigt differenzierter die Unterschiede nach Lagerung in Wasser auf. Für die optimierte Form 2369 der Dichtungsbahn 1702 findet man tendenziell nach 5 Jahren

Lagerung in Wasser bei 55°C erniedrigte Werte im trockenen Zustand und schwach erhöhte Werte im nassen Zustand.

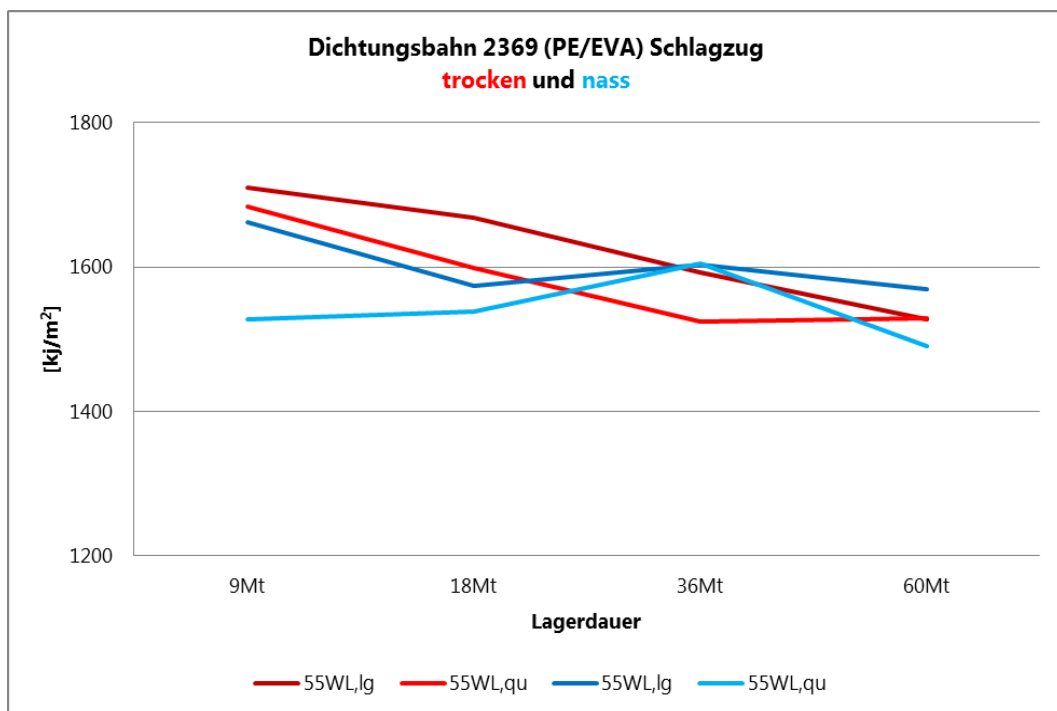
Für das Dichtungsbahnpaar 1712 und 2385 (PVC) kann nach Lagerung in Wasser bei 55°C mit Luft kaum ein Einfluss auf die Schlagzugzähigkeit beobachtet werden, insbesondere im trockenen Zustand. Nach Lagerung in Wasser bei 70 °C ist tendenziell eine Abnahme für die Schlagzugzähigkeit besonders im nassen Zustand zu beobachten. Diese fallen für die ursprüngliche Bahn 1712 höher aus als für das optimierte Material 2385.



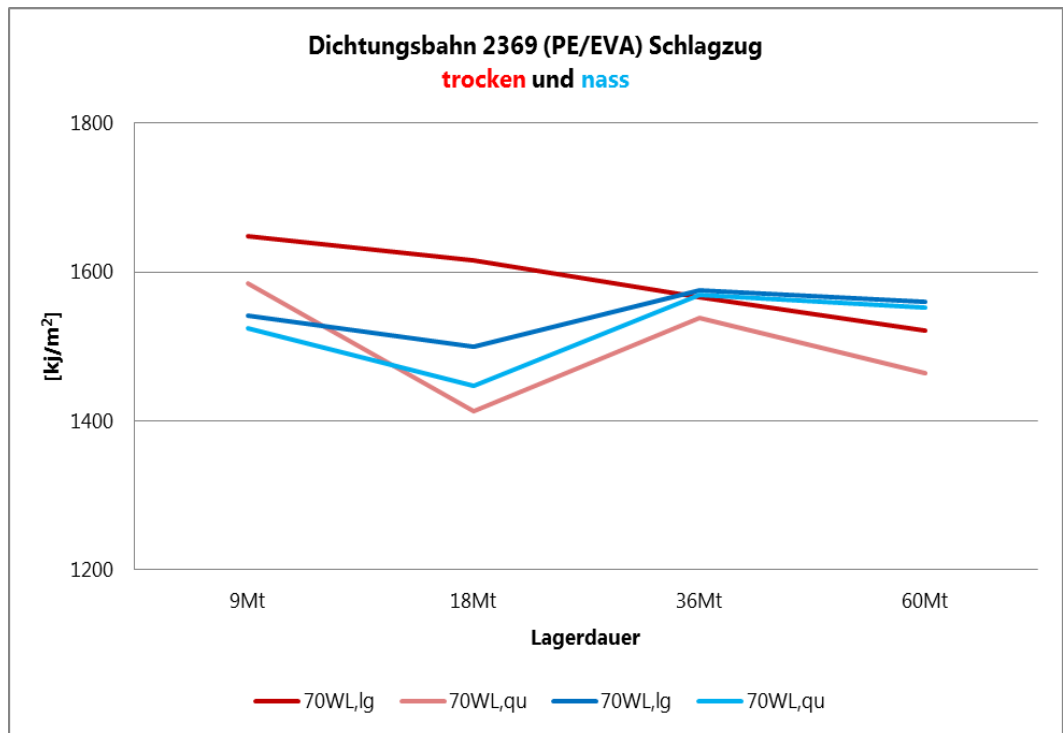
**Abb. 41** Schlagzugzähigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 1702 im Vergleich nach Lagerung bei 55°C in Wasser und Luft (WL).



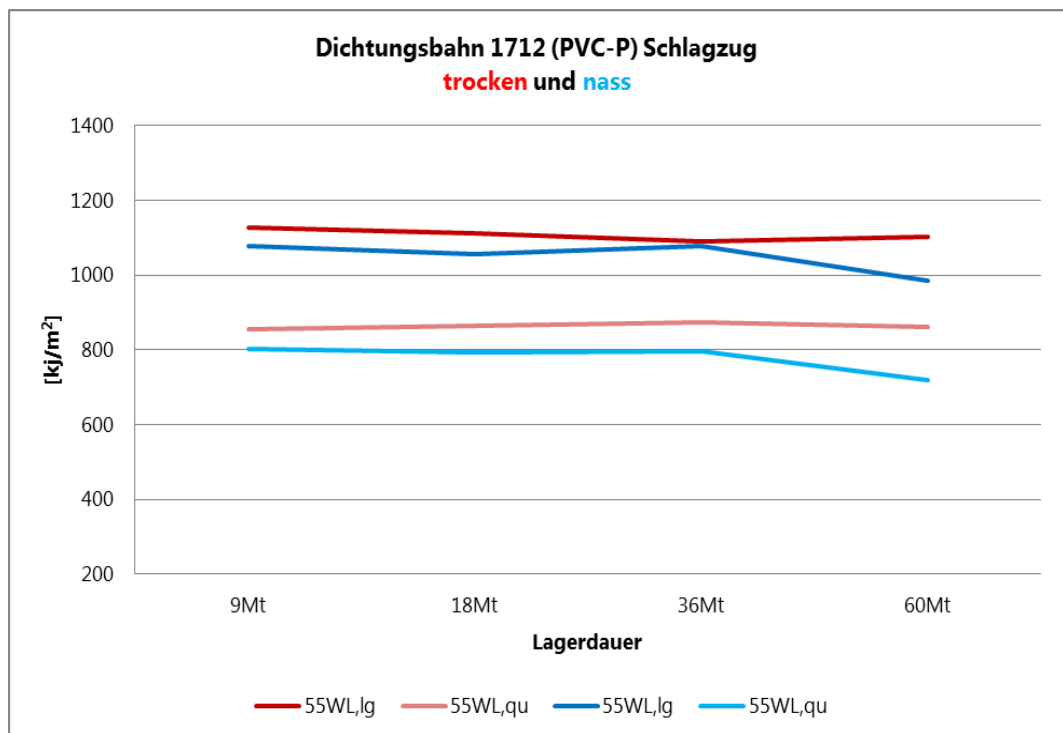
**Abb. 42** Schlagzugzähigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 1702 im Vergleich nach Lagerung bei 70°C in Wasser und Luft (WL).



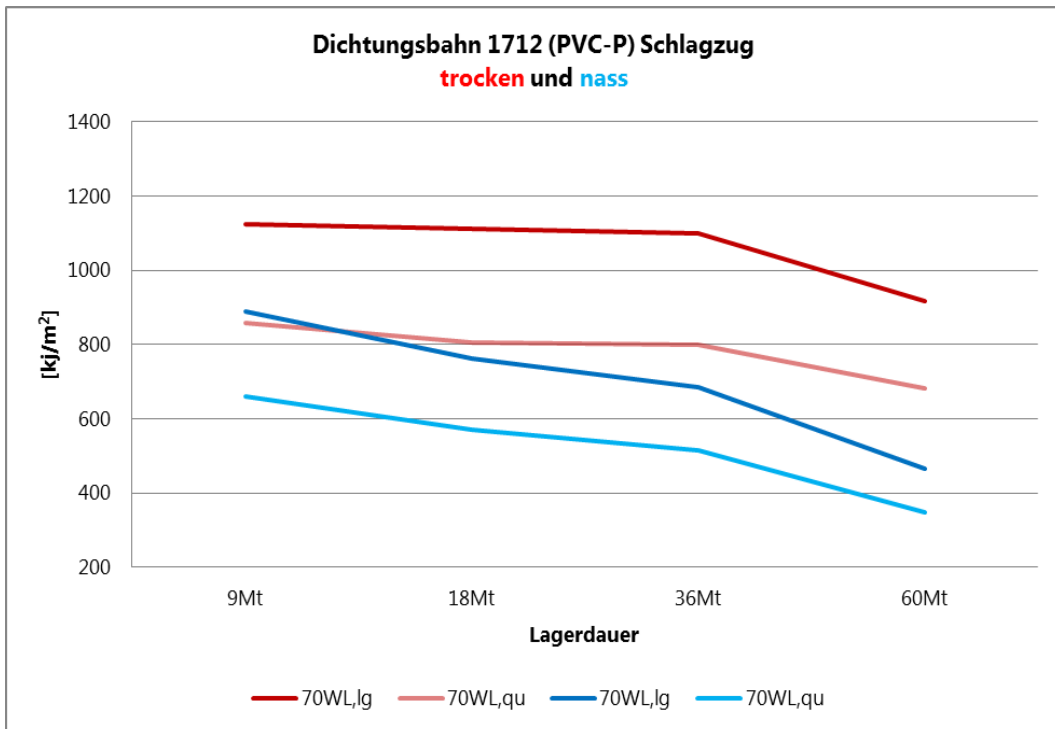
**Abb. 43** Schlagzugzähigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 2369 im Vergleich nach Lagerung bei 55°C in Wasser und Luft (WL).



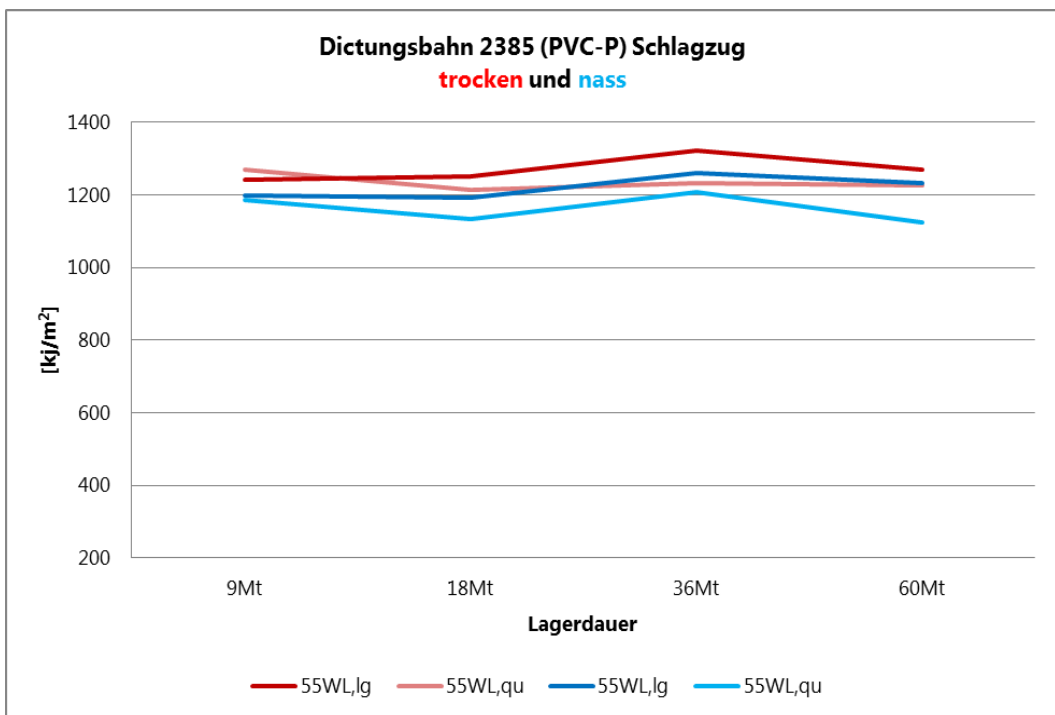
**Abb. 44** Schlagzugzähigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 2369 im Vergleich nach Lagerung bei 70°C in Wasser und Luft (WL).



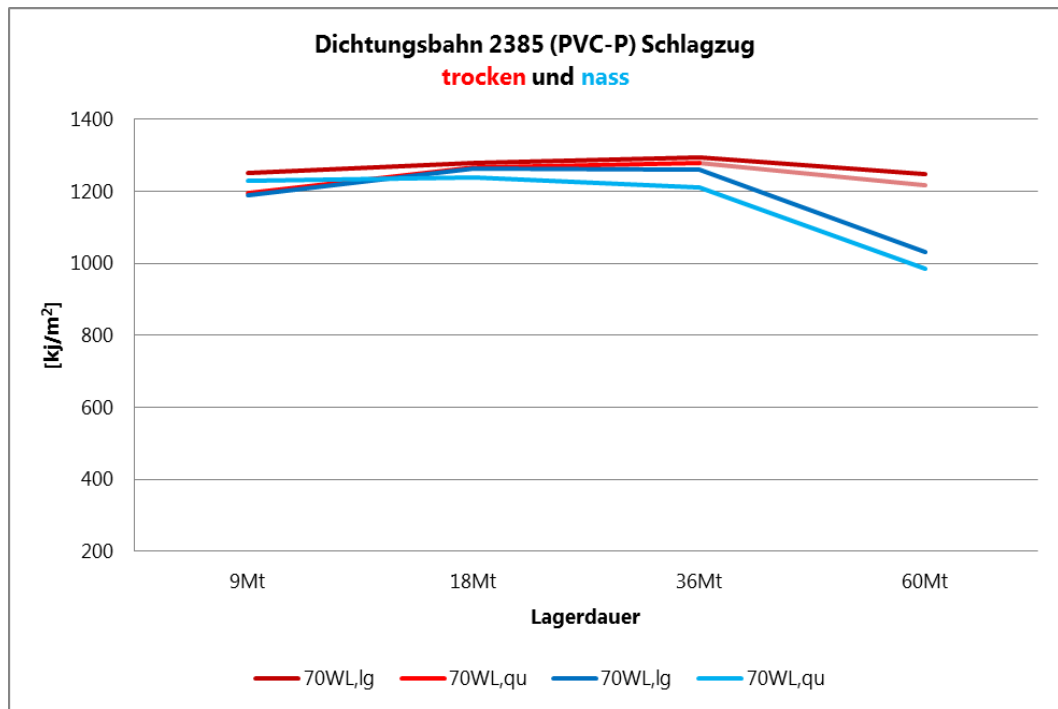
**Abb. 45** Schlagzugzähigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 1712 im Vergleich nach Lagerung bei 55°C in Wasser und Luft (WL).



**Abb. 46** Schlagzugzähigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 1712 im Vergleich nach Lagerung bei 70°C in Wasser und Luft (WL).



**Abb. 47** Schlagzugzähigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 2385 im Vergleich nach Lagerung bei 55°C in Wasser und Luft (WL).



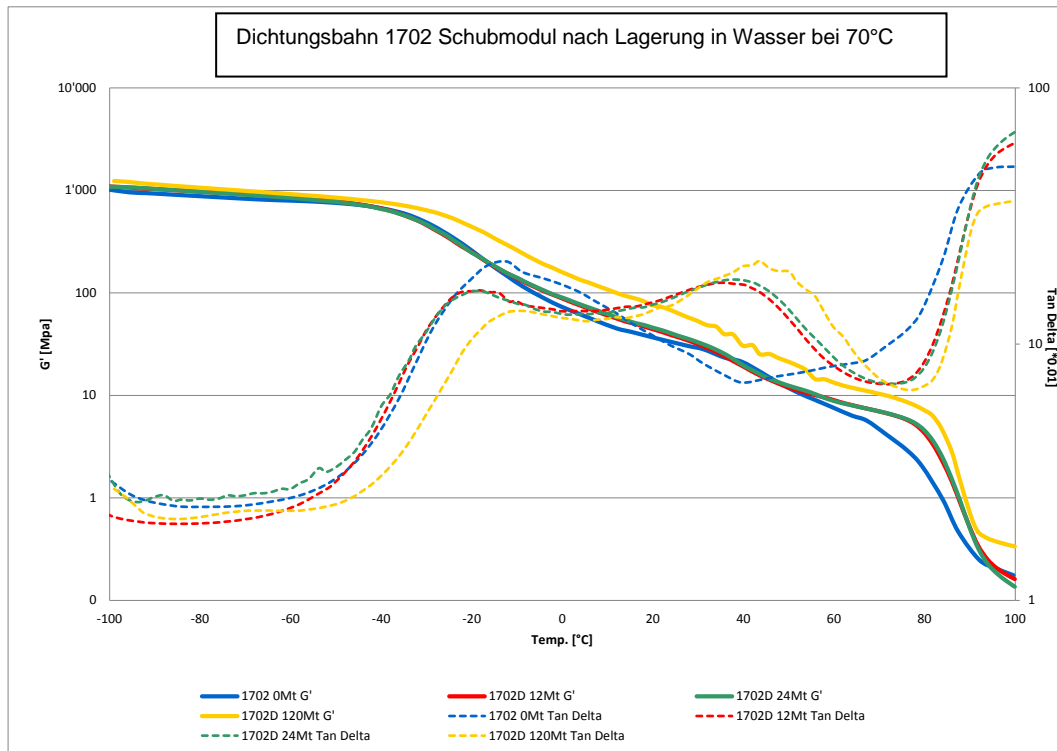
**Abb. 48** Schlagzugfähigkeit in Längs- (lg) und Querrichtung (qu) für Dichtungsbahn 2385 im Vergleich nach Lagerung bei 70°C in Wasser und Luft (WL).

### Ergänzende Untersuchungen

Für die Dichtungsbahn 1702, die in optimierter Form (2369) im Gotthard-Basistunnel eingesetzt wird, waren Daten nach 10 Jahren Alterung vorhanden [8], die genauere Einsicht in das Alterungsverhalten der Dichtungsbahn geben sollten.

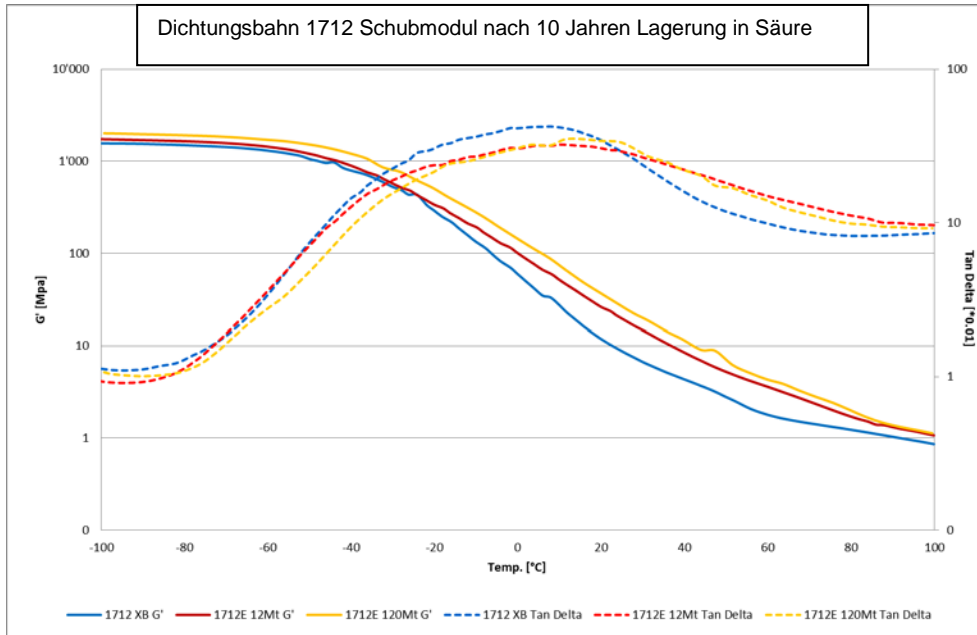
Wie bereits diskutiert, ist der Einfluss der Alterung auf die mechanischen Eigenschaften von Interesse. Ergänzend zu bereits vorgestellten Ergebnissen für mechanische Eigenschaften (Zugversuch und Schlagzugfähigkeit) werden die Resultate des Torsionschwingversuches ebenfalls aufgeführt. Mit der Bestimmung des Schubmoduls  $G$  und dem mechanischen Verlust  $\tan \delta$ , die Materialkonstanten darstellen, können die Veränderungen der mechanischen Eigenschaften nach Lagerung in Medien basierend auf dieser dynamisch-mechanischen Methode erfasst werden. In der Regel ist die Bestimmung des Schubmoduls dabei empfindlicher als die Bestimmung des E-Moduls der z.B. üblicherweise in einem quasi statischen Zugversuch bestimmt werden kann. Insbesondere die Dämpfung ( $\tan \delta$ ) zeigt Veränderungen im Bereich von Übergängen wie z.B. Glastemperaturen gut auf.

Leichte Versteifungen und Versprödung konnte für diese Bahn bereits nach 1 bis 2 Jahren Alterung festgestellt werden. Unter den für diese Dichtungsbahn strengsten Bedingungen, die Lagerung in Wasser bei 70°C, wurde ein Anstieg für den Schubmodul im Temperaturbereich 20 bis 40°C (wahrscheinlichster Anwendungsbereich) gefunden, d.h. eine Versteifung. Die beobachtete Übergangstemperatur bei ca. -15°C in der Originalprobe ist nach Alterung in heissem Wasser während 10 Jahren zu leicht höheren Temperaturen verschoben, wie im nachfolgenden Diagramm für den Schubmodul und den mechanischen Verlust beobachtet werden kann.

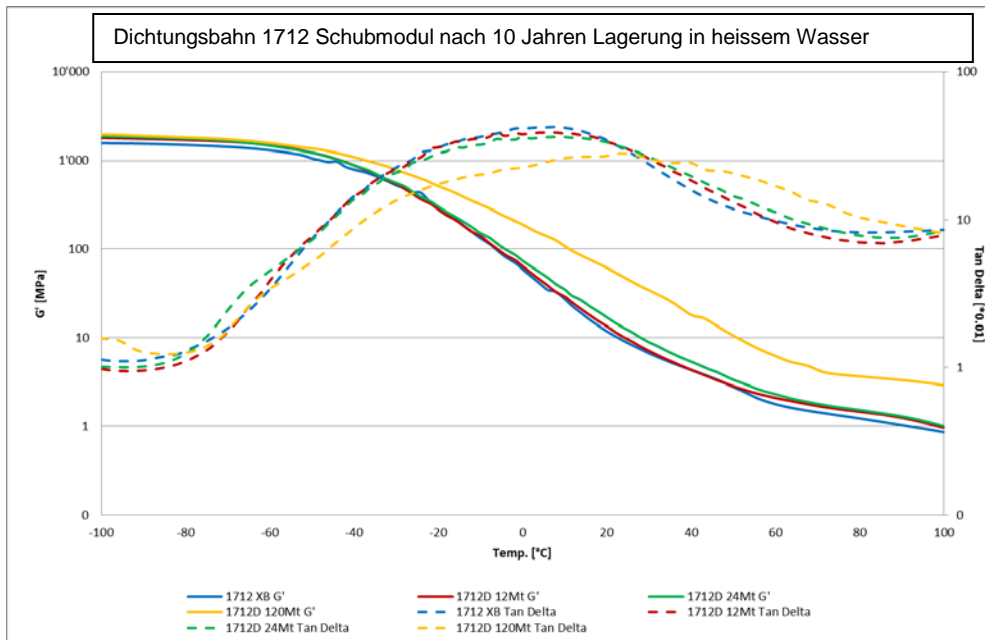


**Abb. 49** Schubmodul ( $G'$ ) und Dämpfung ( $\tan \delta$ ) für die Dichtungsbahn 1702 im Nullzustand (blau), nach 1 Jahr (rot), 2 Jahren (grün) und 10 Jahren (gelb) Alterung in Wasser bei 70°C.

Ebenso sind die mechanischen Eigenschaften nach 10 Jahren Lagerung in Wasser bei 70°C und in Säure bei 50°C für die originale Dichtungsbahn 1712 interessant. Man beobachtet für den Schubmodul und die Dämpfung deutliche Änderungen. Insbesondere die Glasübergangstemperatur sollte durch die Einlagerung von Wasser und dem Verlust von Weichmacher beeinflusst werden. So verschiebt sich  $T_g$  von ca. 8°C nach Lagerung in Säure auf ca. 16°C. Der Modul nimmt nach der Alterung im Anwendungsbereich 20 bis 40°C zu. Die Zunahme ist bei höherer Temperatur (70°C in Wasser) noch ausgeprägter, ebenso wie die Verschiebung der Glasübergangstemperatur. Die mechanischen Eigenschaften sind im getrockneten Zustand durchaus stark beeinträchtigt und ein Versteifen und Verspröden der Dichtungsbahn ist zu erwarten. Solange jedoch Wasser als Weichmacher in den nassen Proben zugegen ist, wirkt dies der Versprödung entgegen.



**Abb. 50** Schubmodul ( $G'$ ) und Dämpfung ( $\tan \delta$ ) für die Dichtungsbahn 1712 im Nullzustand (blau), nach 1 Jahr (rot), 2 Jahren (grün) und 10 Jahren (gelb) Alterung in Säure bei 50°C.



**Abb. 51** Schubmodul ( $G'$ ) und Dämpfung ( $\tan \delta$ ) für die Dichtungsbahn 1712 im Nullzustand (blau), nach 1 Jahr (rot), 2 Jahren (grün) und 10 Jahren (gelb) Alterung in Wasser bei 70°C.

### 3.2.5 Bestimmung der Sauerstoffinduktionszeit mittels DSC (OIT Messung)

Das Alterungsverhalten der Materialien aus Polyolefinen ist im wesentlichen durch thermooxidative Prozesse bestimmt. Diese wiederum können durch geeignete Zugabe von Additiven und Stabilisatoren stark beeinflusst bzw. behindert werden und der oxidative Abbau von Pololefinen verlangsamt werden. Alle PO basierten Produkte, die untersucht wurden, waren bereits mit einer Stabilisierung versehen. In wie weit diese Stabilisatoren bei der Alterung in Wasser nach 5 Jahren bereits verbraucht wurden, kann durch die Messung der Oxidationsinduktionszeit (statische OIT Messung) bzw. –temperatur (dynamische OIT Messung) indirekt bestimmt werden.

Dabei wird die Probe auf eine bestimmte Temperatur (170°C) unter Inertatmosphäre aufgeheizt. Anschliessend wird Sauerstoff zugeführt, so dass der Verbrauch der Stabilisatoren bzw. die oxidativen Abbauprozesse beginnen können. Man misst die Zeit bis der oxidative Abbau des Polymers einsetzt.

Im ursprünglichen Zustand wiesen die Dichtungsbahnen 3 (1083 min), 1702 (347 min) und 2369 (3887 min) sehr hohe OIT Zeiten auf. Dies vermutlich wegen synergistischer Effekte von sogenannten sterisch gehinderten Phenolen (hochmolekulare Stabilisatoren) und HALS (gehinderte Amine, die als UV-Lichtschutz dienen) mit den klassischen Phosphit oder Phosphonit basierten Antioxidantien (für die Verarbeitung). Bereits nach 18 Monaten Lagerung vermindert sich die OIT Zeit jedoch deutlich. Dabei werden für Proben, die bei 55°C gealtert wurden, höhere Werte bestimmt als nach Lagerung bei 70°C. Da sich die Reaktionszeit bei einer Erhöhung um 10 °C in etwa verdoppelt, erwartet man genau diesen Effekt, dass bei höheren Temperaturen mehr Stabilisator verbraucht wird und niedrigere OIT Zeiten resultieren. Andererseits kann natürlich auch durch Extraktion oder chemische Reaktion mit Abbauprodukten weiterer Additive eine Verminderung der Antioxidantien verursacht werden.

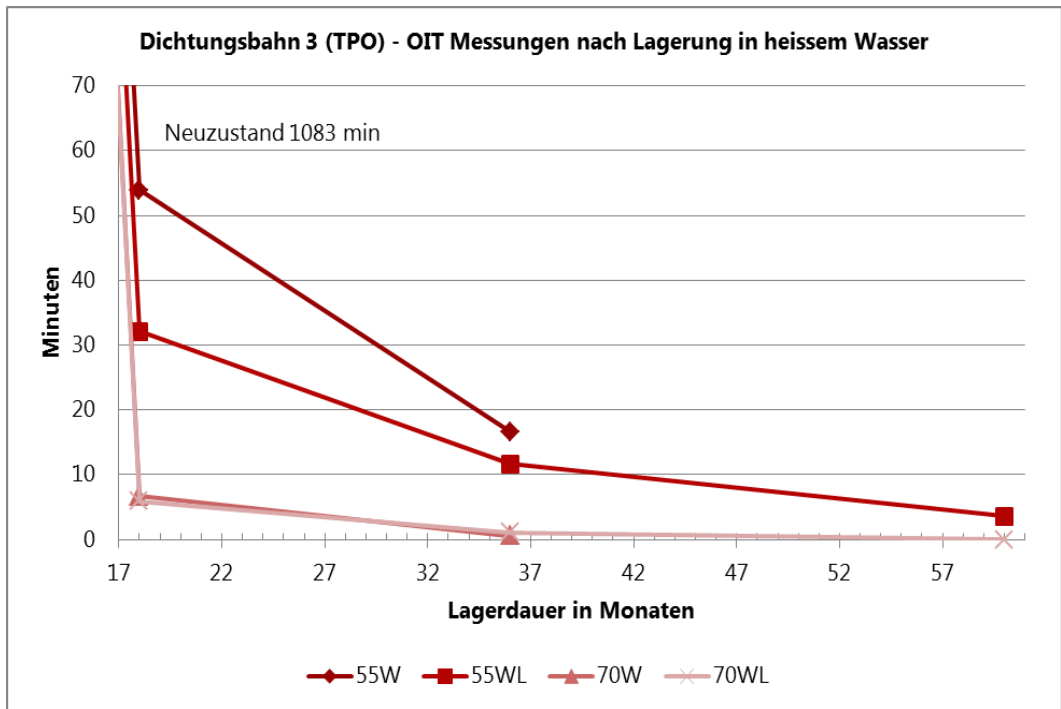
Der Einfluss durch das Einblasen von Luft kann anhand der OIT Werte aufgezeigt werden.

In der Regel sind die OIT Werte nach Lagerung in Wasser ohne Lufteinblasen höher als nach Lagerung mit Luft. Hier kann der Effekt beobachtet werden, dass durch Lufteinblasen mehr Sauerstoff zur Verfügung steht, der den Verbrauch der Antioxidantien beschleunigt.

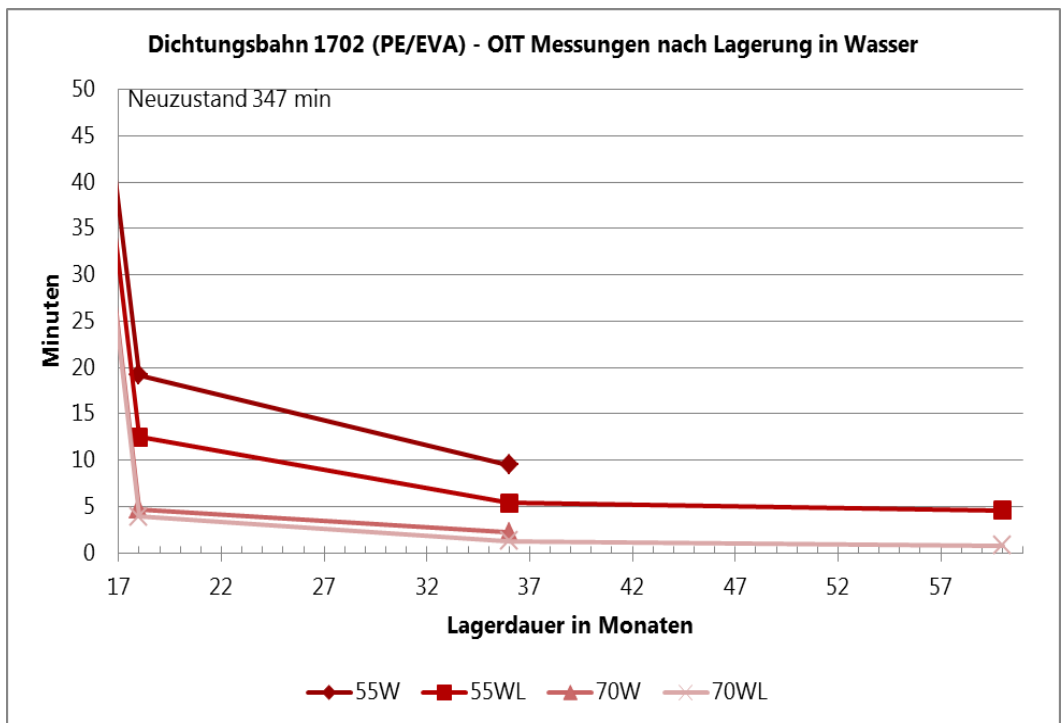
Obwohl nach 5 Jahren Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C mit Luft teilweise nur noch Zeiten unter 1 Minute bestimmt wurden, sind die Stabilisatoren nach 5 Jahren Alterung vermutlich noch schwach aktiv.

Die Messungen erfolgten nach SN EN 728 Bestimmung der Oxidationsinduktionszeit.

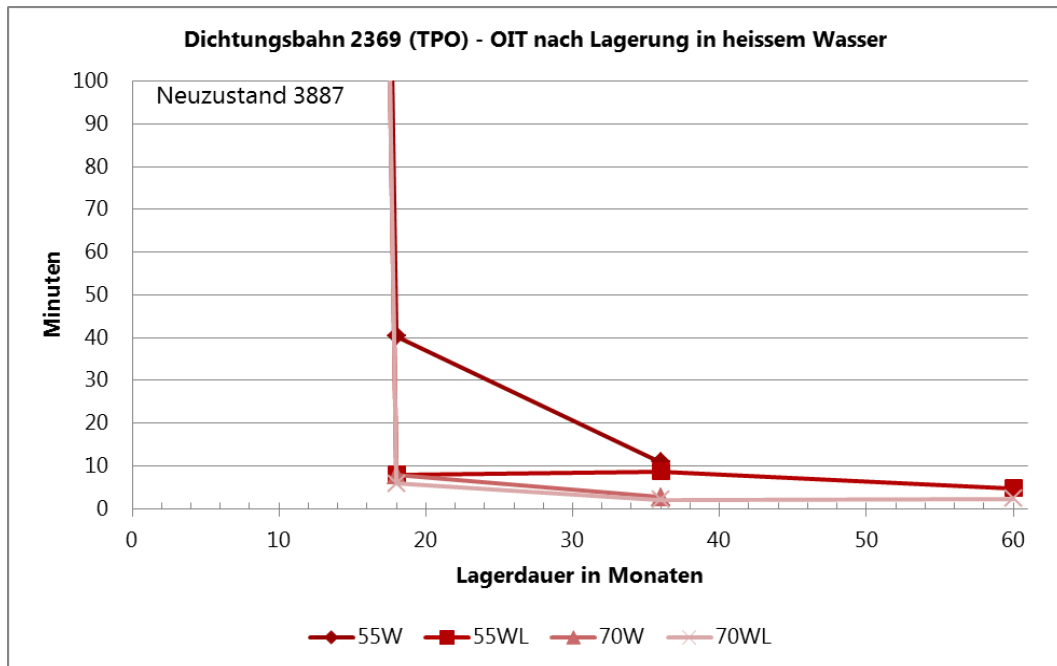
Die nachfolgenden Diagramme zeigen die gemessenen OIT Werte in Minuten nach Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C mit und ohne Lufteinblasen.



**Abb. 52** OIT Zeiten in Minuten für Dichtungsbahn 3 nach Lagerung in Wasser mit und ohne Lufteinblasen



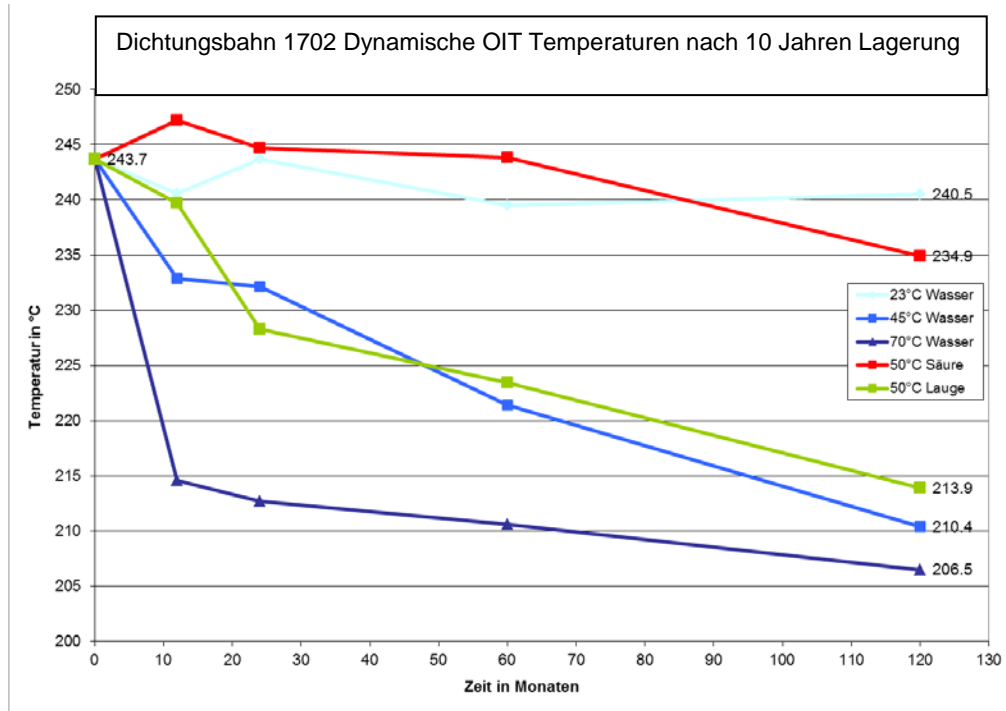
**Abb. 53** OIT Zeiten in Minuten für Dichtungsbahn 1702 nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.



**Abb. 54** OIT Zeiten in Minuten für Dichtungsbahn 2369 nach Lagerung in Wasser (W) und Wasser mit Luft (WL) bei 55 und 70°C.

Ein Vergleich der ursprünglichen Dichtungsbahn 1702 mit der optimierten Form 2369 lässt erwarten, dass die optimierte Form, die entweder vergleichbare OIT – Werte bzw. verbesserte Werte nach Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C aufzeigt, tatsächlich bezüglich oxidativen Abbaus etwas besser ausgerüstet ist. Auf das Langzeitverhalten der Dichtungsbahnen kann jedoch aufgrund von OIT Messungen nicht wirklich geschlossen werden, da die unterschiedlichen Verbindungsklassen (Phenole, Hals, Phosphite usw.) in unterschiedlichen Temperaturbereichen aktiv sind. Die OIT Messungen finden in der Schmelze also bei höheren Temperaturen statt und nicht, wie in den Tunneln der Alpentransversalen vorgesehen, bei 30 bis 50°C. Eine qualitative Abschätzung ist jedoch möglich.

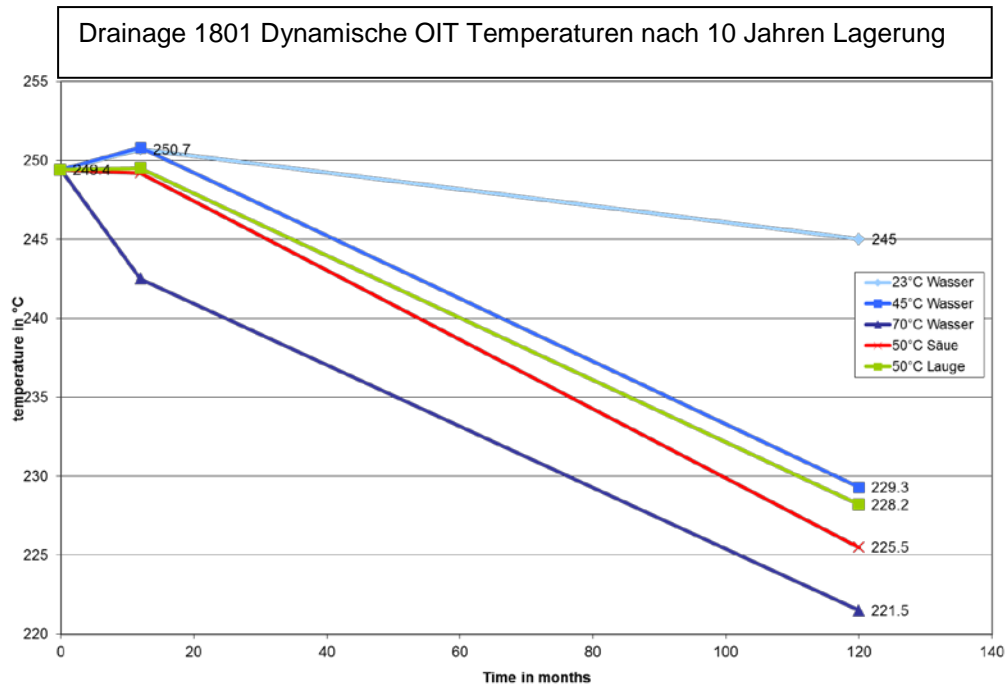
Um nach 10 Jahren Lagerung in Wasser noch eine Aussage über die Wirkung der Antioxidantien machen zu können wurde für 1702 die dynamische Sauerstoffinduktionstemperatur bestimmt. Nach 10 Jahren Alterung in Wasser bei 23°C nahm die OIT Temperatur nur sehr moderat von ca. 244 auf 240°C ab. Unter alkalischen Bedingungen und bei erhöhten Lagertemperaturen nahm der Wert für die dynamische OIT Temperatur um 30 bis 40°C ab. Hingegen konnten nur kleine Änderungen nach Alterung in Säure gefunden werden.



**Abb. 55** OIT Messungen nach 10 Jahren Lagerung in verschiedenen Medien für die Dichtungsbahn 1702.

Für das Drainagematerial 1801 lagen ebenfalls 10 Jahres Werte für OIT Messungen vor, die hier nochmals kurz vorgestellt und diskutiert werden. Die dynamischen Oxidationsinduktionstemperaturen führten für 1801 nach allen Lagerbedingungen zu einer Reduktion der Temperatur. Wie erwartet, sank diese von ursprünglich ca. 250°C um ca. 30°C nach Lagerung in heissem Wasser. Für die Lagerungen bei Temperaturen um 50°C betrug die Reduktion ca. 20°C und nach Lagerung in Wasser bei 23°C wurde nur eine moderate Änderung von 250 auf 245°C beobachtet. Die deutlichsten Abnahmen für die OIT Temperaturen wurden neben der Lagerung in Wasser bei 70 °C für die Medienlagerungen in Säure und Lauge gefunden.

Nach 10 Jahren Lagerung konnten insbesondere bei höheren Temperaturen eine Abnahme der OIT Temperatur gefunden werden. Es ist zu vermuten, dass vorhandene Stabilisatoren stärker verbraucht wurden als bei niedrigeren Lagertemperaturen. In IR-Messungen an gealterten Proben von 1801 [8] konnten keine Hinweise auf vorhandene Oxidationsprodukte für das Grundmaterial gefunden werden. So kann erwartet werden, dass eine ausreichende Stabilisierung gegeben ist und das Drainagematerial 1801 eine Lebensdauer zwischen 50 und 100 Jahren erreichen wird. Bei der optimierten Dichtungsbahn 2369 ist ebenfalls eine Lebensdauer zwischen 50 und 100 Jahren zu erwarten.



**Abb. 56** OIT Messungen für Drainagematerial 1801 nach 10 Jahren Lagerung in verschiedenen Medien

Die dynamischen Oxidationsinduktionstemperaturen führten für 1801 nach allen Lagerbedingungen zu einer Reduktion der Temperatur. Wie erwartet, sank diese von ursprünglich ca. 250°C um ca. 30°C nach Lagerung in heissem Wasser. Für die Lagerungen bei Temperaturen um 50°C betrug die Reduktion ca. 20°C und nach Lagerung in Wasser bei 23°C wurde nur eine moderate Änderung von 250 auf 245°C beobachtet.

Nach 10 Jahren Lagerung konnten insbesondere bei höheren Temperaturen eine Abnahme der OIT Temperatur gefunden werden. Es ist zu vermuten, dass vorhandene Stabilisatoren stärker verbraucht wurden als bei niedrigeren Lagertemperaturen. Zusammen mit dem IR-Spektrum, welches noch keine Oxidationsprodukte aufzeigt, ist damit zu rechnen, dass eine ausreichende Stabilisierung gegeben ist und das Drainagematerial 1801 eine Lebensdauer zwischen 50 und 100 Jahren erreichen wird.



## 4 Diskussion

Optimierte Abdichtungssysteme für die Tunnel der Alpentransversalen, die im Evaluationsverfahren nicht auf ihr Langzeitverhalten hin untersucht werden konnten, wurden im Vergleich mit ursprünglichen Abdichtungssystemen im vorliegenden Projekt untersucht.

Dabei wurden ähnliche Lagerbedingungen für die Lagerung in Medien gewählt wie im ursprünglichen Evaluationsprogramm. Da die höchsten Dauertemperaturen, im Gotthardtunnel ursprünglich auf 45°C abgeschätzt wurden, wurde diese Temperatur im Evaluationsverfahren für eine Lagerung in Wasser gewählt. Zwischenzeitlich zeigte sich, dass die Dauertemperaturen teilweise höher liegen können. Daher wurde eine Wasserlagerung bei 55°C angesetzt, um eine Lagerung ohne Beschleunigung zu simulieren. Alterung in Wasser bei 70°C erlaubt eine beschleunigte Alterung sowie einen Vergleich mit dem Evaluationsverfahren [5,6], wo ebenfalls Lagerungen in Wasser bei 70°C stattgefunden haben. Darüber hinaus ist der Vergleich mit ursprünglichen Abdichtungssystemen aus dem Evaluationsverfahren möglich, bei denen die Lagerdauer von zwei auf 10 Jahre verlängert wurde [8].

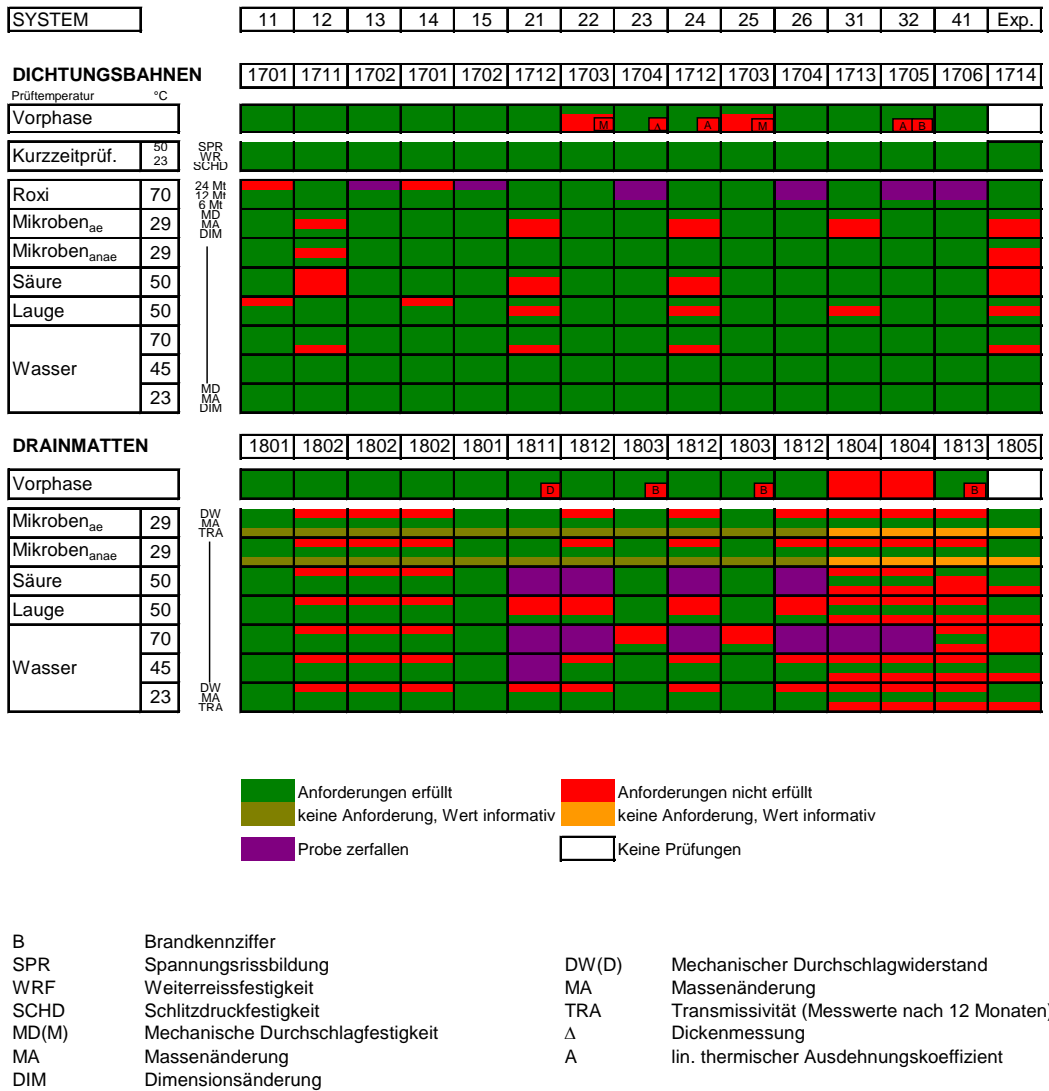
Ausser den Lagerungen in Wasser bei 55 und 70°C während 3 Jahren wurden Wasserlagerungen bei 55 und 70°C durchgeführt, bei denen gleichzeitig Luft eingeblasen wurde, um den Sauerstoffgehalt im Wasser möglichst konstant zu halten und dem Austreiben der Gase im Wasser entgegenzuwirken. Zudem soll die kombinierte Belastung eine Beschleunigung bewirken, aber auch näher an den tatsächlichen Praxidbedingungen liegen. Im Evaluationsverfahren wurden Dichtungsbahnen in Wasser bei 70°C und 3 bar Luftdruck gealtert. Dabei erwiesen sich wenig bzw. unstabilsierte Materialien als sehr unbeständig. Teilweise konnten massive Zersetzungen der Materialien bereits nach 7 bis 12 Monaten Lagerdauer gefunden werden. Beispiele sind in Abbildung 57 gezeigt.



**Abb. 57** Starke Zersetzungserscheinungen von Abdichtungssystemen nach Medienlagerung

Die Lagerung in Lauge soll zunächst die Bedingungen etwa am Anfang nach dem Betonieren simulieren. Wasser tritt durch den Spritzbeton an die Abdichtungssysteme und kann sehr hohe alkalische Werte aufweisen. Mit der Lagerung in Säure können saure Bergwässer simuliert werden, die beispielsweise durch Mikroorganismen verursacht werden können.

Im Evaluationsverfahren wurde zudem die biologische Beständigkeiten untersucht. In Abbildung 58 sind die Ergebnisse des Evaluationsverfahrens nach zwei Jahren Lagerdauer graphisch zusammengefasst.



**Abb. 58** Resultatübersicht für die Materialien nach 24 Monaten Lagerung mit Bezug zu den Systemen (die Bestimmung der Transmissivität nach 24 Monaten konnte nicht durchgeführt werden, die Übersicht zeigt daher die Transmissivität nach 12 Monaten).

Die meisten Materialien und Abdichtungssysteme konnten die Anforderungskriterien nicht erfüllen wie Abb. 58 verdeutlicht. Deshalb wurden die Produkte unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Langzeituntersuchungen optimiert, bevor sie zur Anwendung kamen. Die Daten aus der auf 10 Jahre verlängerte Prüfphase bestätigen das Langzeitverhalten der untersuchten Materialien [8], wie es im Evaluationsprogramm nach 2 Jahren beurteilt wurde.

Für die vorliegende Untersuchung sind nun die Ergebnisse der Dichtungsbahnen 1702 und 1712 sowie des Drainagematerials 1801 relevant. 1702 und 1801 (System 15) wurde in vergleichbarer optimierter Form (2369 und 2302) mehrheitlich im Gotthardtunnel als Abdichtungssystem eingesetzt. Die Dichtungsbahn 1712 wurde in verbesserter Form 2385 mit einem neuen Drainagematerial 2304 bzw. in optimierter Form 2355 kombiniert und dieses Abdichtungssystem kam mehrheitlich im Lötschberg Tunnel zur Anwendung und wird in modifizierter Form ebenso im Ceneri Tunnel eingesetzt.

## 4.1 Dichtungsbahnen

Für die **Dichtungsbahnen aus PE/EVA 1702 und 2369** wurde als dominanter Abbaumechanismus der Abbau der Vinylacetateinheiten in Form von Essigsäure nachgewiesen. Die Massenänderungen nach Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C sind nach 5 Jahren mit unter 1 % sehr moderat. Hingegen zeigte sich, dass nach 36 Monaten Lagerung deutlichere Massenänderungen gefunden wurden. Zwischen 3 und 5 Jahren Lagerung sind weitere Alterungsprozesse, die insbesondere auch das Einlagern von Wasser fördern aktiv. Vergleichbares Verhalten findet man bei der PE-Dichtungsbahn 3. Insbesondere nach Lagerung in Lauge konnte für 1702 bereits im Evaluationsverfahren nachteilige mechanische Eigenschaften beobachtet werden. Ein Vergleich von 1702 mit der optimierten Bahn 2369 zeigt aufgrund der deutlich niedrigeren Massenänderungen nach 12 Monaten Lagerung für 2369 eine Verbesserung gegenüber 1702 auf. Nach Lagerung in Säure verhalten sich die beiden Dichtungsbahnen sehr ähnlich. Die mechanischen Kennwerte im Zugversuch verändern sich sowohl im nassen als auch trockenen Zustand nach Lagerung bei 55°C nur wenig. Auch nach Lagerung bei 70°C konnte lediglich im Material 1702 für die Reißfestigkeit in Querrichtung nach Trocknung ein signifikanter Unterschied gefunden werden. Die Schlagzugeigenschaften zeigen zwar etwas differenzierter den Einfluss der Alterung auf, jedoch sind die beobachteten Änderungen zu meist moderat; bis auf 1702 nach Lagerung in Wasser und Luft bei 70°C. Hier konnte eine deutliche Abnahme im trockenen Zustand beobachtet werden. Am deutlichsten zeigt sich der Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften im Torsionsschwingversuch, wobei Schubmodul und Dämpfung bestimmt werden. Hier kann für 1702 auf 10 Jahreswerte zurückgegriffen werden. Nach Lagerung in Wasser bei 70°C (schärfste Bedingungen) konnte im Temperaturbereich 20 bis 40°C (hauptsächlich vorherrschende Temperatur) ein deutlicher Anstieg für den Schubmodul und somit ein Versteifen der Dichtungsbahn gefunden werden. Aus den OIT Messungen, Bestimmung der Sauerstoffinduktionszeit, kann geschlossen werden, dass die Dichtungsbahn 2369 bezüglich thermo-oxidativer Stabilisierung besser ausgerüstet ist als die ursprüngliche Bahn 1702.

Die **Dichtungsbahnen 1712 und 2385 aus PVC** sowie die Vergleichsbahn 2 zeigten nach Lagerung in Wasser unter allen Bedingungen im nassen Zustand zum Teil massive Gewichtszunahmen, wegen Wasseraufnahme. Das Wasser konnte teilweise nicht mehr vollständig durch Trocknen entfernt werden. Die resultierende Gewichtszunahme (nass) fiel nach 5 Jahren in Wasser bei 70°C (schärfste Bedingungen) für die optimierte Dichtungsbahn jedoch deutlich niedriger aus als für das originale Material 1712 und lässt daraus schließen, dass die Rezepturänderungen zu einem besseren Alterungsverhalten beitragen. Hingegen konnte nach Lagerung in Säure und Lauge kein klares Bild bezüglich der Wasseraufnahme (nass) und Weichmacherverlust (trocken) für die originale und optimierte Form der PVC Dichtungsbahn gefunden werden. Für die Reißfestigkeit, bestimmt an Zugversuchen, konnten für die beiden Bahnen im trockenen Zustand ähnliche Veränderungen festgestellt werden. Aus den Zugversuchen kann geschlossen werden, dass sich die Optimierung der Dichtungsbahn 1712 hin zu Material 2385 in einer schwach positiven Verbesserung bezüglich Alterungsverhalten auswirkt. In vergleichbarer Weise ist das für die Schlagzugfähigkeit insbesondere im nassen Zustand zu finden. Es ist zu erwarten, dass die Weichmacherverluste besonders nach Lagerung in Lauge, die nicht nur durch Extraktionsprozesse bestimmt sind, sondern auch durch hydrolytische Spaltung des Weichmachers, sich im Verlauf der Zeit verstärken und zu Versprödungen führen. Dies konnte bei 10 Jahre gealterten Proben aufgezeigt werden [8]. Verschiebungen von Tg und Modulzunahmen nach 10 Jahren Lagerung in Lauge oder heissem Wasser bei 70°C sind anhand der Torsionsschwingversuche für 1712 eindeutig zu erkennen. Die bei hohen Temperaturen auftretenden starken Verfärbungen sind teilweise auf Metallionen zurückzuführen, welche mit dem wöchentlichen /monatlichen Wasserwechsel eingetragen wurden. Die Stabilisatoren in PVC-P Materialien werden durch die Alterung nahezu nicht verändert, wie EDX Analysen zeigen.

## 4.2 Drainagematerialien

Die Noppenbahn aus Polyethylen zeigte bereits im Evaluationsverfahren sehr gute Beständigkeit bezüglich chemischer, thermischer und mikrobiologischer Belastungen (vgl. Abb. 58). Dennoch wurde im Hinblick auf eine 100 jährige Lebensdauer, die das Drainagematerial erbringen soll, die Mischung der Stabilisatoren nochmals angepasst und z. B. für die Herstellung von 2302 verwendet. Die optimierte Noppenbahn zeigt ein quasi vergleichbares Verhalten bezüglich Massenänderung in nassen wie trockenen Zustand nach Lagerung in Wasser. Obwohl nach Säure- und Laugenlagerung leicht unterschiedliche Massenänderungen gefunden wurden, ist eine deutliche Verschlechterung des Alterungsverhaltens durch die Rezepturanpassung nicht zu erwarten. Messungen der dynamischen OIT Temperaturen zeigen den Verbrauch von Antioxidantien an. Dabei wird bei höherer Lagertemperatur mehr Stabilisator verbraucht als bei niedrigen Lagertemperaturen. Das Fehlen auf Hinweise auf Oxidationsprodukte im Bulkmaterial (IR-Spektroskopie) erlaubt den Schluss, dass auch nach 10 Jahren Alterung in heissem Wasser aktive Antioxidantien im Material vorhanden sind.

Für das Drainagematerial 2304 gab es kein entsprechendes originales Produkt, welches im Evaluationsverfahren bzw. während 10 Jahren in Wasser gealtert wurde, weil 2304 erst in der Nachbesserungsphase eingereicht wurde. Für dieses Material fanden sämtliche Beständigkeitsuntersuchungen wie im Evaluationsverfahren geplant während eines Jahres statt. Die gestellten Kriterien nach einem Jahr Alterung konnten alle erfüllt werden. Zusätzlich wurde das Drainagematerial in Wasser bei 70°C und 3 bar Überdruck für ein Jahr gealtert. Anschliessend wurde ein Masseverlust von über 27% gefunden, der jedoch hauptsächlich auf die Zersetzung des wenig stabilisierten Vlieses zurückzuführen war. In der optimierten Form 2355 wurde diesem Umstand mit erhöhter Konzentration an Antioxidans bzw. schonender Herstellung Rechnung getragen. Die Drainagematerialien 2304 als auch 2355, waren im Gegensatz zu vielen Drainagematerialien im Evaluationsverfahren bereits mit Stabilisatoren ausgerüstet, so dass ein massiver Abbau wie er bei den nicht stabilisierten Produkten beobachtet wurde (vgl. Abb. 58), hier noch nicht einsetzte. Mit einer vollständigen Zersetzung der Drainagewirragelege ist zu einem deutlich späteren Zeitpunkt zu rechnen.

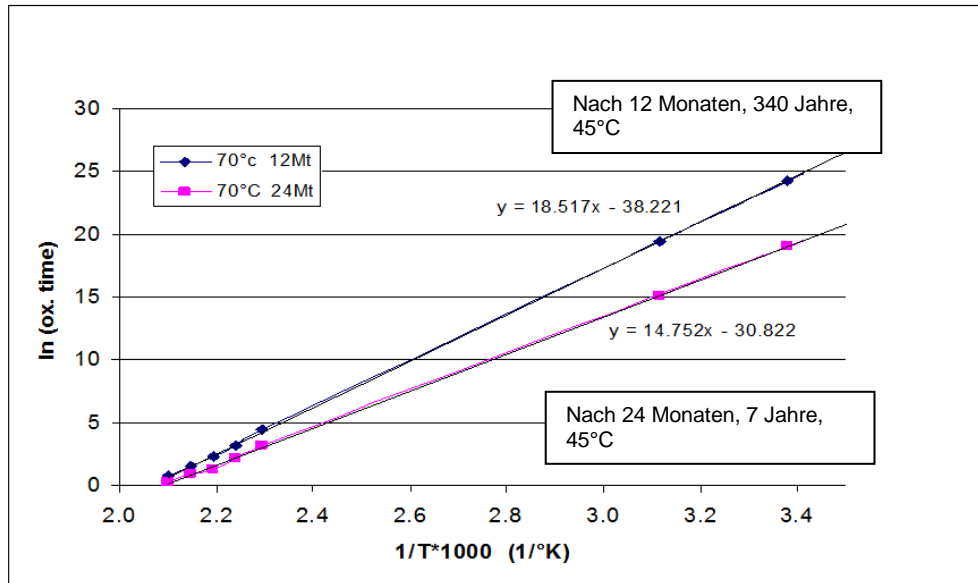
## 4.3 Allgemeine Feststellungen

Nach 10 Jahren Alterung blieben die meisten Dichtungsbahnen intakt. Bei den Drainagematerialien erwiesen sich nur vereinzelte Materialien als geeignet für den Einsatz in den Tunneln der Alpentransversalen. Jedoch kann abgeschätzt werden, dass sowohl Dichtungsbahnen als auch Drainagematerialien vielversprechende Eigenschaften aufweisen, um insbesondere in optimierter Form, die Anforderung von 100 Jahren Lebensdauer erfüllen zu können.

### 4.3.1 Lebensdauerabschätzung

Für die Dichtungsbahn 1702 wurde bereits nach dem Evaluationsverfahren basierend auf statischen OIT Messungen nach Lagerung in Wasser bei 23, 45 und 70°C eine Abschätzung der Lebensdauer für dieses Material mittels einer Arrhenius-Extrapolation durchgeführt. Danach ergab sich für die Dichtungsbahn nach einem Jahr Alterung eine extrapolierte Lebenserwartung von über 300 Jahren, nach zwei Jahren Alterung nur noch ein Wert von sieben Jahren (vgl. Abb. 59), wenn man die Materialien bei 45°C in Luft beansprucht und eine Vorlagerung bei 70°C in Wasser zugrunde legt. Es zeigte sich, dass der Arrhenius Ansatz in Kombination mit den statischen OIT Werten nur ungenügende Extrapolationen erlaubt. Schliesslich waren die Dichtungsbahn 1702 als auch die Noppenbahn 1801 nach 10 Jahren Alterung in Wasser bei 70°C noch intakt. Legt man dieses Ergebnis zugrunde und geht von einem Beschleunigungsfaktor von 4-5 für die Alterung in Wasser bei 70°C aus (basierend auf der Faustregel Erhöhung der Reaktionstemperatur um 10 °C gibt eine Verdopplung der Reaktionsgeschwindigkeit und Dauertemperatur von 45°C), dann kann für die originalen Produkte 1702 und 1801 eine Lebensdauer von mind. 40 bis 50 Jahren abgeschätzt werden. Mit den vorgenommenen Optimierungen gegen thermo-oxidativen Abbau bei den Produkten sollte eine Lebens-

dauer von 50 bis 100 Jahren für die optimierten Materialien (2369 und 2302) möglich sein.



**Abb. 59** Extrapolation Arrhenius-Plot für Dichtungsbahn 1702 nach 12 und 24 Monaten Alterung bei 70°C in Wasser

Für die PVC Dichtungsbahn 1712 konnte nach 10 Jahren Lagerung keine Veränderung des Grundmaterials und des Stabilisatoren Systems gefunden werden [8]. Daher gilt ebenfalls, dass eine Lebensdauer von mind. 40-50 Jahren abgeschätzt werden kann. Geht man davon aus, dass der Weichmacherverlust teilweise durch die Einlagerung von Wasser kompensiert wird, kann erwartet werden, dass die Lebensdauer sich nochmals verlängert. Hohe Temperaturen > 35°C herrschen im Gotthardtunnel in Bereichen mit einer hohen Überdeckung. An den Portalen und z.B. Pioramulde sind die Dauertemperaturen niedriger. Damit verlängert sich die Lebensdauer der Abdichtungssysteme in diesen Bereichen ebenfalls.

### 4.3.2 Beschleunigte Alterung

Die Alterung der Materialien bei erhöhten Temperaturen ist ein probates Mittel, um diese zu beschleunigen. Jedoch kann die Temperatur nur begrenzt gegenüber der tatsächlichen Beanspruchung erhöht werden, will man nicht andere Schädigungsmechanismen aktivieren, die bei der tatsächlichen Alterung keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen. Zudem muss man sich bewusst sein, dass zwar kombinierte Beanspruchung mit Wasser/Temperatur oder Wasser/Temperatur/Chemie in die Untersuchung mit einfließen, jedoch die tatsächliche Belastung bei der alle Beanspruchungen kombiniert auftreten können, als auch örtlich sehr unterschiedliche Belastungen zu erwarten sind (z.B. Bergwasser ja/nein).

Um den Einfluss von Sauerstoff insbesondere für Materialien aus Polyolefinen zu simulieren, wurde die Wasserlagerung bei 55 und 70°C jeweils in Wasser und in Wasser mit Einblasen von Luft durchgeführt. Die OIT Messungen zeigten, dass dies zu einer Beschleunigung (Verbrauch der Stabilisatoren) führt und ein Beschleunigungsfaktor zwischen 1 und 2 abgeschätzt wird, wenn man die Werte für die OIT Messungen nach 36 Monaten Lagerung in Wasser bei 55 und 70°C mit und ohne Luft einblasen (Anhang II OIT Werte) betrachtet.



## 5 Ausblick

Die Abdichtungssysteme, die in den Basistunneln von Lötschberg und Gotthard eingesetzt wurden, sollten nach den Erkenntnissen des Evaluationsverfahrens, der verlängerten Alterung auf 10 Jahre und dem hier vorliegenden Ergebnissen, den erhöhten Anforderungen stand halten können und mindestens 50 Jahre bis zu einer grösseren Reparatur ihre Funktion, den Tunnel vor Wasser zu schützen, erfüllen.

Die Alterung von Kunststoffen zu bestimmen ist ein immer wiederkehrendes Thema. Am meisten verbreitet ist noch immer die Charakterisierung der Veränderungen der mechanischen Eigenschaften. Das Problem, in kurzer Zeit Informationen über das Alterungsverhalten zu erlangen, ist noch immer ungelöst.

Folgende Verfahren stehen zu Diskussion:

### Bei Polyolefinen

#### *Bestimmung der Sauerstoff-Induktionszeit*

Diese zeigt das Vorhandensein von Stabilisatoren an. Der heikle Punkt ist, dass bei Temperaturen um 200 °C Stabilisatoren sehr wirksam sein können, die die Oxidation bei tieferen Temperaturen nicht so wirksam unterbinden. Umgekehrt erfasst die OIT Messung Stabilisatoren, die bei niedriger Temperatur aktiv sind nicht. Im Vergleich zeigt die OIT aber sehr gut Änderungen der Zusammensetzung, d.h. des Stabilisatorgehaltes, an.

#### *Infrarotspektroskopie (IR)*

Nachweis von Oxidationsbanden bei fortschreitender Schädigung. Beschränkt Nachweis von Stabilisatoren möglich, liegt aber im Grenzbereich dieser Methode.

#### *Einfluss von Sauerstoff unter Druck*

Ebenfalls eine rasche Alterung (Oxidation) von Polyolefinen wird in der „ROXI“-Anlage bewirkt. In dieser Anlage wird bei moderaten Temperaturen z.B. 70 °C und einer erhöhten Sauerstoff-Konzentration (Luft mit 3 bar Druck) gealtert. Das Problem bei dieser Anlage ist, dass der Beschleunigungsfaktor noch nicht bekannt ist, weil mit den vergleichbaren Verfahren, d.h. Alterung im Wasserbad bei gleicher Temperatur aber bei Umgebungsdruck noch nicht die gleichen Alterungszustände erreicht wurden. Ein weiterer Nachteil ist die aufwendige Bedienung der Anlage, die sich bei der Durchsetzung dieses Verfahrens, an dem z.B. auch in Deutschland und den Niederlanden gearbeitet wird [12], aber sicher vereinfachen liesse.

### Bei PVC

#### *IR-Spektroskopie*

Bei der Produktionskontrolle können grössere Änderungen des Weichmachersystems nachgewiesen werden.

#### *Änderung der Masse*

Wasseraufnahme und Weichmacherverlust können über die Massenänderung bestimmt werden.

Eine mögliche Beschleunigung von Extraktion und Oxidation kann durch die Vergrößerung der Oberfläche erzielt werden. Zur Vergrößerung der Oberfläche kann das Material gemahlen oder es können dünne Filme hergestellt werden. Beide Methoden haben aber Nachteile:

- (1) Am gemahlten Material sind nur noch analytische Prüfungen machbar, es gibt also keinen Zusammenhang mit mechanischen Kennwerten, die für die Anwendung doch relevant sind.
- (2) Bei der Herstellung von dünnen Filmen müssen so hohe Temperaturen angewendet werden, dass eine Vorschädigung wahrscheinlich oder doch zumindest nicht auszuschliessen ist.

Als eine weitere Möglichkeit zur Beschleunigung der Alterung wäre eine alternierende Lagerung nass und trocken denkbar, wie das bei Materialien für Aussenanwendungen durchaus eingesetzt wird. So könnte man dem Umstand Rechnung tragen, dass die Dichtungsbahn über Jahre mit Wasser umspült wird. Ändert sich der Lauf des Wassers im Berg, kann dann über Jahre auch wieder kein Wasser vorhanden sein und z. B. zuvor in der Dichtungsbahn eingelagertes Wasser wieder austrocknen und zu einer deutlichen Versprödung und Versagen des Materials führen.

## Anhänge

<b>I</b>	<b>Anhang I</b> .....	<b>73</b>
<b>I.1</b>	<b>Zuordnung Proben Anhang I.1</b> .....	<b>73</b>
<b>II</b>	<b>Anhang II</b> .....	<b>74</b>
<b>II.1</b>	<b>Anhang II.1</b> .....	<b>74</b>



# I Anhang I

## I.1 Zuordnung Proben Anhang I.1

Probenbezeichnung und Zuordnung der Proben zu den jeweiligen Lagerbedingungen und Bädern

### Projekt Best Task      Zuordnung der Proben und Bäder

Material: für alle Materialien gleich

Bad	55 °C + Luft	70°C+Luft	55 °C	70 °C	Laug. 50 °C	Säure 50°C
Probe Nr.						
1	9 Mt					
2	18 Mt					
3	36 Mt					
4	60 Mt					
5	Reserve					
6	Reserve					
7		9 Mt				
8		18 Mt				
9		36 Mt				
10		60 Mt				
11		Reserve				
12			18 Mt			
13			36 Mt			
14			Reserve			
15				18 Mt		
16				36 Mt		
17				Reserve		
18					12 Mt	
19					Reserve	
20						12 Mt
21						Reserve

15.08.2005/Kra

## II Anhang II

### II.1 Anhang II.1

Auf beiliegender CD

Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse für

- **Visuelle Beurteilung** nach 9, 12, 18, 36 und 60 Monaten Lagerdauer für Dichtungsbahnen und Drainagematerialien
- **Massenänderungen** nach 9, 12, 18, 36 und 60 Monaten Lagerdauer für Dichtungsbahnen und Drainagematerialien
- Auswertungen **Zugversuche** nach 9, 12, 18, 36 und 60 Monaten Lagerung für Dichtungsbahnen
- Auswertung **Schlagzugversuch** nach 9, 12, 18, 36 und 60 Monaten Lagerung für Dichtungsbahnen
- **OIT Werte** für ausgewählte Dichtungsbahnen

## Glossar

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
NEAT, NLFA	Neue Eisenbahn-Alpentransversale, La nouvelle ligne ferroviaire à travers les Alpes
PE/EVA	Polyethylen/Ethylenvinylacetat
PE-HD	Polyethylen hohe Dichte
PVC	Polyvinylchlorid
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
OIT	Oxidation Induction Time oder Temperature
TPO	Thermoplastisches Polyolefin
RAL	RAL-Farbe (normierte Farbe); Reichs-Ausschuss für Lieferbedingungen (RAL)
DOP	Diocetylphthalat
DINP	Di-iso-nonylphthalat
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
EN	Europäische Norm
ISO	International Organization for Standardization
SN	Schweizer Norm



## Literaturverzeichnis

- 
- [1] Flüeler P., Farshad M., Löwe C., Kramer H., Böhni H., Zwicky P., **“New evaluation procedure of waterproofing system for the Swiss Alpine base tunnels”** (Re)claiming the underground space, ed.:J. Saveur, Lisse NL: Balkema, Vol.1, 441-447, **2003**.
- 
- [2] Flüeler P., Böhni H., **The Sealing of Deep-seated Alpine Railway Tunnels – New Evaluation Procedure for Waterproofing Systems**, Proceedings Techtexsil **2001**.
- 
- [3] Flüeler P., Farshad M., Löwe C., Kramer H., Böhni H., Zwicky P., Proceedings Plastic forum 2003, Brussels, Belgium, 17, **2003**.
- 
- [4] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (1996), **„Kunststoffdichtungsbahnen-Anforderungen und Materialprüfung“**, Norm SIA V 280.
- 
- [5] Flüeler P., Löwe Ch., Farshad M., Zwicky P., Böhni H., **The sealing of deep-seated Swiss Alpine railway tunnels—new evaluation procedure for waterproofing systems**, Conference Proceedings 9 dbcm Brisbane, Australia, **2002**.
- 
- [6] Löwe C. et. al, **“Ageing behaviour of waterproofing and drainage materials for the base tunnels of the Swiss Alps”** Techtexsil, Techtexsil Symposium, 11, 20010503676, **2001**.
- 
- [7] Rietman Ph., Flüeler P., Zwicky P., **Test methods for sealing systems**, Tunnel 10, 13-15, **2002**.
- 
- [8] Löwe C., Fischer B., Kramer H., Walder C. **„Waterproofing Systems for Tunnels – Chemical Resistance after 10 Years”**, Proceedings AFTES, Lyon, October **2011**.  
<http://www.aftes.asso.fr/contenus/upload/File/Congres%20Lyon%202011/RESUMES/Theme%20C/lowe.pdf>
- 
- [9] Brown R.P., **„Predictive Techniques and Models for Durability Tests”**, Polymer Testing, 14,5,403-414, **1995**
- 
- [10] Europäische Norm EN ISO (1996), **„Kunststoffe – Bestimmung der Schlagzugzähigkeit“**, Norm EN ISO 8256.
- 
- [11] **„Zulassungsprüfung für Abdichtungssysteme – Schlussbericht der Prüfungskommission“**, der BLS Alptransit und der AlpTransit Gotthard AG vom 12. November **2001**, Bericht Nr. 97132-09.
- 
- [12] Greenwood J.H., Schroeder H.F., Voskamp W., **„Durability of Geosynthetics“** CUR 243, Sticing CURNET, Gouda, The Netherlands **2012**.
-



# Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 11.8.2014

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: FGU 2004/002  
 Projekttitel: Langzeit-Beständigkeit von Tunnel-Abdichtungssystemen aus Kunststoffen (Best TASK)  
 Enddatum: 15.8.2014

#### Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung lassen den Schluss zu, dass die in den NEAT Basistunneln eingesetzten Abdichtungssysteme den besonders hohen Anforderungen, die in den Tunneln herrschen, standhalten können und eine Lebensdauer von bis zu 100 Jahren erwarten lassen.

Die Frage, ob die Abdichtungssysteme der NEAT, den an sie gestellten Anforderungen tatsächlich genügen, lag diesem Projekt zu Grunde. Das zweijährige Evaluationsverfahren, welches vor Baubeginn durchgeführt wurde, ging ebenfalls dieser Frage nach. Die ursprünglich untersuchten Materialien der Abdichtungssysteme zeigten jedoch bereits nach einem Jahr viele Schwachstellen auf. Deshalb wurden verbesserte Produkte in einer Nachbesserungsphase während eines Jahres genauer untersucht, bevor weitere Optimierungen zu den Produkten führten, die für den Einbau in der NEAT zugelassen wurden. Das Langzeitverhalten dieser Produkte konnte vor Baubeginn nicht mehr untersucht werden. Dies sollte in der vorliegenden Studie nachgeholt werden.

Deshalb wurden einerseits die Dichtungsbahnen 1702/2369 (PE/EVA) und die Drainagematerialien 1801/2302 (PE-HD) in originaler Form (Start Evaluationsverfahren) sowie in optimierter Form, wie im Abdichtungssystem Gotthard Tunnel eingesetzt, und andererseits die PVC Dichtungsbahnen 1712/2385 (original/optimiert) und die Drainagematerialien 2304/2355 aus PP (original/optimiert), welche als Kombination hauptsächlich im Lötschberg Tunnel zur Anwendung kamen, für die vorliegenden Untersuchungen ausgewählt. Bei den Dichtungsbahnen wurden zudem eine weitere PVC (2) Bahn und eine Dachdichtungsbahn auf PE Basis (3) mituntersucht.

Die Materialien wurden während 3 bis 5 Jahren in Wasser bei 55 und 70°C mit und ohne Lufteinblasen gelagert. Des Weiteren wurden Medienlagerungen in Säure und Lauge während eines Jahres durchgeführt. Im Anschluss an die Lagerungen wurden Proben in definierten Zeitabständen entnommen und deren äusseres Erscheinende beurteilt und die Massenänderungen im nassen und getrockneten Zustand bestimmt. Für die Dichtungsbahnen wurden darüber hinaus mechanische Eigenschaften anhand von Zugversuchen und Schlagzugversuchen bestimmt und diese mit Ergebnissen aus der auf 10 Jahre verlängerten Lagerung des Evaluationsverfahrens verglichen. Vereinzelt wurden zusätzliche Untersuchungen wie Bestimmung von Sauerstoffinduktionszeiten OIT durchgeführt.

Die PE/EVA basierten Dichtungsbahnen zeigten nach 5 Jahren Lagerung nur moderate Massenänderungen als auch wenig veränderte mechanische Eigenschaften auf. Die originale Dichtungsbahn 1702 wies bereits im Evaluationsverfahren ein ungünstiges Verhalten nach Lagerung in Lauge aus. Für die verbesserte Dichtungsbahn 2369 konnte ein günstigeres Verhalten gegenüber Laugenlagerung bestimmt werden. OIT Messungen lassen auf eine wirksamere Stabilisierung bezüglich thermo-oxidativer Prozesse im Vergleich zur Originalbahn 1702 schliessen. Deutliche Gewichtszunahmen im nassen und teilweise auch im trockenen Zustand konnten für die PVC Bahnen 1712 und 2385 gefunden werden. Die mechanischen Eigenschaften lassen den Schluss zu, dass die optimierte Dichtungsbahn 2385 tatsächlich eine Verbesserung gegenüber der originalen Rezeptur 1712 darstellt. Der Ersatz von Weichmacher durch Wasser wirkt der Versprödung der Dichtungsbahn entgegen.

Für die Noppenbahnen 1801 konnte bereits im Evaluationsverfahren ein sehr gutes Alterungsverhalten bezüglich chemischer, thermischer und mikrobiologischer Belastung gefunden werden. Das sehr ähnliche Verhalten nach Wasserlagerungen für 2302 im Vergleich zu 1801 lässt für die optimierte Form 2302 ein gutes Langzeitverhalten erwarten.

Die Drainagematerialien 2304 und 2355 aus Polypropylen wiesen nach 5 Jahren Lagerung in Wasser Massenänderungen deutlich unter 4 % auf, jedoch deutlich mehr als die polyolefinisch basierten Dichtungsbahnen 1702/2369. Im Evaluationsverfahren wiesen Drainagematerialien aus PP ein sehr ungünstiges Langzeitverhalten auf und zerfielen teilweise vollständig. Mit der Stabilisierung gegen thermo-oxidativen Abbau ist das Alterungsverhalten für das vorliegende Wirgelege 2304 und 2355 deutlich verbessert und ein Zerfall sollte wesentlich später einsetzen. Unter Einbezug der Ergebnisse nach 10 Jahren Alterung aus dem verlängerten Evaluationsverfahren, führt eine Lebensdauerabschätzung der originalen Materialien in der Regel zu einer zu erwartenden Lebensdauer von mindestens 40 bis 50 Jahren, die sich aufgrund der Veränderungen der Rezepturen für optimierte Produkte deutlich verlängert und zwischen 50 und 100 Jahren zu erwarten ist.

#### Zielerreichung:

Das wichtigste Ziel des Projekts bestand in der Beurteilung der Langzeitbeständigkeit der tatsächlich in den neuen Tunneln der Alpentransversalen eingesetzten Abdichtungssysteme. Aufgrund der im Projekt erarbeiteten Ergebnisse und dem Vergleich mit einer Studie (verlängertes Evaluationsverfahren), bei der ursprüngliche Materialien während 10 Jahre gealtert und anschliessend untersucht wurden, konnte eine Lebensdauerabschätzung durchgeführt werden.

Bei der Wahl der Kriterien für die Alterung sollte insbesondere die Lagerung in Wasser bei 55 und 70° C mit Einblasen von Luft eine zusätzliche Beschleunigung der Alterung bewirken. Ausser einer erhöhten Temperatur im Vergleich zur vorherrschenden Dauertemperatur sollte die Sauerstoffkonzentration im Wasser möglichst konstant gehalten werden. Im Vergleich zu den Lagerungen bei 55 und 70°C ohne Einblasen von Luft konnte nur ein geringer Beschleunigungsfaktor zwischen 1-2 für das Einblasen von Luft anhand von OIT Messungen abgeschätzt werden.

#### Folgerungen und Empfehlungen:

Die Studie hat dazu beigetragen, das Alterungsverhalten der tatsächlich eingebauten Abdichtungssysteme für die Tunnel der Alpentransversalen zu beurteilen. Allerdings war es notwendig Ergebnisse aus einer Studie mit einer Lagerdauer von 10 Jahren beizuziehen, damit eine verlässliche Lebensdauerabschätzung möglich wurde. Die optimierten Produkte zeigten wenig Veränderungen nach 5 Jahren Medienlagerung, so dass zur besseren Beurteilung eine noch längere Lagerdauer sinnvoll wäre. Zudem könnte mit zusätzlichen Charakterisierungsmethoden (z. B. IR- oder NMR-Spektroskopie, GPC-Analysen) die chemischen Änderungen und Abbaumechanismen besser charakterisiert und verstanden werden. Dabei ist der Zeitraum zwischen 2 und 5 Jahren Alterung sehr interessant, da insbesondere die Massenänderung bei polyolefinischen Materialien auf verschiedene Abbaumechanismen hindeuten. Dies konnte in der 10 Jahresstudie nicht gefunden werden, da zu wenig Messpunkte zwischen 2 und 10 Jahren zur Verfügung standen.

#### Publikationen:

Bislang wurden nur die Ergebnisse der 10 Jahresstudie publiziert. Ein Vergleich der hier vorliegenden Ergebnisse mit den Resultaten der 10 Jahresstudie wäre noch von Interesse.

#### Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Löwe

Vorname: Christiane

Amt, Firma, Institut: Empa

#### Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:





Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

#### Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Das langfristig ausgelegte Untersuchungsprogramm wurde sorgfältig vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet. Die BK beurteilt die Zielerreichung ähnlich wie die Forschungsstelle.

Umsetzung:

Zwar war das primäre Ziel des Forschungsprojektes, die Langzeitbeständigkeit der Abdichtungssysteme der NEAT Basistunnel zu beurteilen. Die Projektergebnisse sind jedoch für alle Untertagbauten mit einer ähnlichen Nutzungsdauer nützlich und sollten durch Fachveröffentlichungen verbreitet werden.

weitergehender Forschungsbedarf:

Die BK ist mit den diesbezüglichen "Folgerungen und Empfehlungen" der Forschungsstelle einverstanden.

Einfluss auf Normenwerk:

Die Ausarbeitung eines Standardprüfverfahrens für Abdichtungssysteme erscheint zweckmässig.

#### Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Anagnostou

Vorname: Georg

Amt, Firma, Institut: ETH Zürich, Institut für Geotechnik

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:



# Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 15.06.2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1465	ASTRA 2000/417	Erfahrungen mit der Sanierung und Erhaltung von Betonoberflächen	2014
1462	ASTRA 2011/004	Ermittlung der Versagensgrenze eines T2 Norm-Belages mit der mobiles Grossversuchsanlage MLS10	2014
1460	SVI 2007/017	Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit	2014
1459	VSS 2002/501	Leichtes Fallgewichtsgesetz für die Verdichtungskontrolle von Fundationsschichten	2014
1458	VSS 2010/703	Umsetzung Erhaltungsmanagement für Strassen in Gemeinden - Arbeitshilfen als Anhang zur Norm 640 980	2014
1457	SVI 2012/006	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens	2014
1456	SVI 2012/005	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1455	SVI 2012/004	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 3: Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1454	SVI 2012/003	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 2: Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1453	SVI 2012/002	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 1: Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1452	SVI 2012/001	Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1	2014
1451	FGU 2010/006	Gasanalytik zur frühzeitigen Branddetektion in Tunneln	2013
1450	VSS 2002/401	Kaltrecycling von Ausbausphal mit bituminösen Bindemitteln	2014
1449	ASTRA 2010/024	E-Scooter - Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz	2013
1448	SVI 2009/008	Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz. Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt C	2014
1447	SVI 2009/005	Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt E	2013
1446	VSS 2005/454	Forschungspaket Recycling von Ausbausphal in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		Nachhaltigkeitsbeurteilung	
1445	VSS 2009/301	Öffnung der Busstreifen für weitere Verkehrsteilnehmende	2013
1444	VSS 2007/306	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs	2013
1443	VSS 2007/305	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV	2013
1442	SVI 2010/004	Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr - Vorstudie	2013
1441_2	SVI 2009/010	Zielsystem im Güterverkehr. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz - Teilprojekt G	2013
1441_1	SVI 2009/010	Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber Synthese der Teilprojekte B3, C, D, E und F des Forschungspakets Güterverkehr anhand eines Zielsystems für den Güterverkehr	2013
1440	SVI 2009/006	Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen	2013
1439	SVI 2009/002	Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A	2013
1438_2	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 2. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1438_1	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 1. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1437	VSS 2008/203	Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr	2013
1436	VSS 2010/401	Auswirkungen verschiedener Recyclinganteile in ungebundenen Gemischen	2013
1435	FGU 2008/007_OBF	Schadstoff- und Rauchkurzschlüsse bei Strassentunneln	2013
1434	VSS 2006/503	Performance Oriented Requirements for Bituminous Mixtures	2013
1433	ASTRA 2010/001	Güterverkehr mit Lieferwagen: Entwicklungen und Massnahmen Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B3	2013
1432	ASTRA 2007/011	Praxis-Kalibrierung der neuen mobilen Grossversuchsanlage MLS10 für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen in der Schweiz	2013
1431	ASTRA 2011/015	TeVeNOx - Testing of SCR-Systems on HD-Vehicles	2013
1430	ASTRA 2009/004	Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1429	SVI 2009/009	Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP F	2013
1428	SVI 2010/005	Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B2	2013
1427	SVI 2006/002	Begegnungszonen - eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung	2013
1426	ASTRA 2010/025_OBF	Luftströmungsmessung in Strassentunneln	2013
1425	VSS 2005/401	Résistance à l'altération des granulats et des roches	2013
1424	ASTRA 2006/007	Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen	2013
1423	ASTRA 2010/012	Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge	2013
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1418	VSS 2008/402	Anforderungen an hydraulische Eigenschaften von Geokunststoffen	2012
1417	FGU 2009/002	Heat Exchanger Anchors for Thermo-active Tunnels	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Viellissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labormassstab	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffbarkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeurückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
660	AGB 2008/002	Indirekt gelagerte Betonbrücken - Sachstandsbericht	2014
659	AGB 2009/014	Suizidprävention bei Brücken: Follow-Up	2014
658	AGB 2006/015_OBF	Querkraftwiderstand vorgespannter Brücken mit ungenügender Querkraftbewehrung	2014
657	AGB 2003/012	Brücken in Holz: Möglichkeiten und Grenzen	2013
656	AGB 2009/015	Experimental verification of integral bridge abutments	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
655	AGB 2007/004	Fatigue Life Assessment of Roadway Bridges Based on Actual Traffic Loads	2013
654	AGB 2005-008	Thermophysical and Thermomechanical Behavior of Cold-Curing Structural Adhesives in Bridge Construction	2013
653	AGB 2007/002	Poinçonnement des pontsdalles précontraints	2013
652	AGB 2009/006	Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode	2013
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlagschutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009

## Anhang II

### Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse für Best TASK

- Visuelle Beurteilung
- Massenänderung
- Zugversuche
- Schlagzugversuche
- OIT- Messungen

## Visuelle Beurteilung

Der Dichtungsbahnen und Drainagematerialien nach 9, 12, 18, 36 und 60 Monaten

**Visuelle Beurteilung der Materialien nach 9 Monaten Lagerung „Best Task“**

Mat.Nr.	55°C Wasser	55°C Wasser+Luft	70°C Wasser	70°C Wasser+Luft	Säure	Lauge
2	VS:	VS: leicht gelblich	VS:	VS: gelblich	VS:	VS:
	RS:	RS: leicht dunkler	RS:	RS: dunkler	RS:	RS:
3	VS:	VS: gelb verfärbt	VS:	VS: gelb verfärbt	VS:	VS:
	RS:	RS: dunkler	RS:	RS: dunkler, glänzend	RS:	RS:
1702	VS:	VS: leicht dunkler	VS:	VS: heller, braune Verfärbung	VS:	VS:
	RS:	RS: keine Veränderung	RS:	RS: dunkler, glänzend	RS:	RS:
2369	VS:	VS: dunkler, Verfärbung	VS:	VS: dunkler	VS:	VS:
	RS:	RS: keine Veränderung	RS:	RS: keine Veränderung	RS:	RS:
1712	VS:	VS: keine Veränderung	VS:	VS: dunkler, Verfärbung	VS:	VS:
	RS:	RS: keine Veränderung	RS:	RS: keine Veränderung	RS:	RS:
2385	VS:	VS: keine Veränderung	VS:	VS: dunkler, Verfärbung	VS:	VS:
	RS:	RS: keine Veränderung	RS:	RS: keine Veränderung	RS:	RS:

Mat.Nr.	55°C Wasser	55°C Wasser+Luft	70°C Wasser	70°C Wasser+Luft	Säure	Lauge
1801		keine Veränderung		keine Veränderung, schwarze Beschichtung		
2302		keine Veränderung		dunkler, schwarze Beschichtung		
2304		Gelb		Gelb, schwarze Beschichtung		
2355		hellgelb		Gelb, schwarze Beschichtung		

**Visuelle Beurteilung der Materialien nach 12 Monaten Lagerung „Best Task“**

Mat.Nr.	55°C Wasser	55°C Wasser+Luft	70°C Wasser	70°C Wasser+Luft	Säure	Lauge
2	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: dunkler RS: keine Veränderung	VS: leicht gelblich RS: keine Veränderung
3	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: leicht dunkler RS: keine Veränderung	VS: gelblich RS: dunkler
1702	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: keine Veränderung RS: keine Veränderung	VS: leicht heller RS: leichte weisse Beschichtung
2369	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: leicht heller RS: keine Veränderung	VS: dunkler, rötlich RS: keine Veränderung
1712	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: keine Veränderung RS: keine Veränderung	VS: dunkler RS: matt, weisse Beschichtung
2385	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: leicht dunkler RS: keine Veränderung	VS: leicht dunkler RS: matt

Mat.Nr.	55°C Wasser	55°C Wasser+Luft	70°C Wasser	70°C Wasser+Luft	Säure	Lauge
1801					keine Veränderung	keine Veränderung, weisse Beschichtung
2302					keine Veränderung	keine Veränderung, weisse Beschichtung
2304					leicht dunkler	Gelb
2355					dunkler	Gelb

**Visuelle Beurteilung der Materialien nach 18 Monaten Lagerung „Best Task“**

Mat.Nr.	55°C Wasser	55°C Wasser+Luft	70°C Wasser	70°C Wasser+Luft	Säure	Lauge
2	VS: gelblich RS: dunkler	VS: gelblich RS: dunkler	VS: gelblich, braune Verfärbung RS: dunkler	VS: gelblich RS: dunkler	VS: RS:	VS: RS:
3	VS: gelb verfärbt RS: dunkler, glänzend	VS: gelb verfärbt RS: dunkler	VS: gelblich, schwarze Verfärbung RS: dunkler, glänzend, Blasen	VS: leicht gelb verfärbt RS: dunkler, glänzend	VS: RS:	VS: RS:
1702	VS: heller RS: keine Veränderung	VS: heller RS: keine Veränderung	VS: heller, braune Verfärbung RS: keine Veränderung	VS: heller, braune Verfärbung RS: keine Veränderung	VS: RS:	VS: RS:
2369	VS: leicht dunkler RS: keine Veränderung	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: keine Veränderung	VS: dunkler RS: keine Veränderung	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: matt	VS: RS:	VS: RS:
1712	VS: braun RS: Beschichtung	VS: dunkler RS: keine Veränderung	VS: braun RS: matt, Beschichtung	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: matt, Beschichtung	VS: RS:	VS: RS:
2385	VS: braune Verfärbung RS: matt, Beschichtung	VS: dunkler RS: keine Veränderung	VS: dunkler RS: leicht dunkler	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: matt, Beschichtung	VS: RS:	VS: RS:

Mat.Nr.	55°C Wasser	55°C Wasser+Luft	70°C Wasser	70°C Wasser+Luft	Säure	Lauge
1801	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung, schwarze Beschichtung		
2302	keine Veränderung	leicht dunkler	keine Veränderung	keine Veränderung, schwarze Beschichtung		
2304	Gelb	Gelb	Gelb, schwarzer Rand	Gelb, schwarze Beschichtung		
2355	fehlt	hellgelb	Gelb, schwarzer Rand	Gelb, schwarze Beschichtung		

**Visuelle Beurteilung der Materialien nach 36 Monaten Lagerung „Best Task“**

Mat.Nr.	55°C Wasser	55°C Wasser+Luft	70°C Wasser	70°C Wasser+Luft	Säure	Lauge
2	VS: gelblich, braune Verfärbung RS: dunkler	VS: gelblich RS: keine Veränderung	VS: gelblich, schwarzbraune Verfärbung RS: dunkler, matt	VS: gelblich, Beschichtung RS: dunkler	VS: RS:	VS: RS:
3	VS: gelb RS: dunkler, glänzend	VS: leicht gelblich RS: dunkler	VS: leicht gelblich RS: dunkler, glänzend, Blasen	VS: gelblich, Blasen RS: dunkler, glänzend, Blasen	VS: RS:	VS: RS:
1702	VS: heller RS: keine Veränderung	VS: heller RS: keine Veränderung	VS: braun RS: dunkler	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: matt	VS: RS:	VS: RS:
2369	VS: dunkler, braun-rote Verfärbung RS: matt	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: keine Veränderung	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: matt	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: kein Veränderung	VS: RS:	VS: RS:
1712	VS: braun RS: matt, Beschichtung	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: keine Veränderung	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: matt, Beschichtung	VS: braune Verfärbung RS: matt, Beschichtung	VS: RS:	VS: RS:
2385	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: dunkler	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: dunkler	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: matt, Beschichtung	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: matt, Beschichtung	VS: RS:	VS: RS:

Mat.Nr.	55°C Wasser	55°C Wasser+Luft	70°C Wasser	70°C Wasser+Luft	Säure	Lauge
1801	keine Veränderung	keine Veränderung, schwarze Beschichtung	keine Veränderung, schwarze Beschichtung	keine Veränderung, schwarze Beschichtung		
2302	keine Veränderung	keine Veränderung, schwarze Beschichtung	heller	leicht dunkler, schwarze Beschichtung		
2304	grau	Gelb, leicht schwarz	Gelbgrau, schwarzer Rand	Gelb, matt, schwarze Beschichtung		
2355	fehlt	Gelb, leicht schwarze Beschichtung	Gelbgrau, schwarzer Rand	Gelb, schwarze Beschichtung		

**Visuelle Beurteilung der Materialien nach 60 Monaten Lagerung „Best Task“**

Mat.Nr.	55°C Wasser	55°C Wasser+Luft	70°C Wasser	70°C Wasser+Luft	Säure	Lauge
2	VS: RS:	VS: gelblich RS: dunkler	VS: RS:	VS: gelblich, braune Verfärbung RS: dunkler	VS: RS:	VS: RS:
3	VS: RS:	VS: gelblich RS: dunkler	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:	VS: RS:
1702	VS: RS:	VS: heller RS: keine Veränderung	VS: RS:	VS: braune Verfärbung RS: matt, Beschichtung	VS: RS:	VS: RS:
2369	VS: RS:	VS: dunkler RS: keine Veränderung	VS: RS:	VS: dunkler, braune Verfärbung RS: matt	VS: RS:	VS: RS:
1712	VS: RS:	VS: leicht dunkler RS: keine Veränderung	VS: RS:	VS: braune Verfärbung RS: matt, Beschichtung	VS: RS:	VS: RS:
2385	VS: RS:	VS: leicht dunkler RS: keine Veränderung	VS: RS:	VS: braune Verfärbung RS: matt, Beschichtung	VS: RS:	VS: RS:

Mat.Nr.	55°C Wasser	55°C Wasser+Luft	70°C Wasser	70°C Wasser+Luft	Säure	Lauge
1801						
2302						
2304						
2355						

## Bestimmung der Massenänderung

an Dichtungsbahnen und Drainagematerialien nach 9, 12, 18, 36 und 60 Monaten  
Lagerung

		<b>"Best Task"</b>										
<b>Massenänderung nach trocknen</b>												
<b>EMPA-Nr.:</b>	841'128	<b>Prüfgerät:</b>	Mettler PR2002									
<b>Lfd. Nr.</b>	2	<b>Prüftemperatur:</b>	NK									
<b>Materialbezeich.:</b>	Sucoflex 132 / PVC	<b>Prüfdatum:</b>	12.6.06/28.8.06/22.2.07/1.9.08									
		<b>Visum:</b>										
<b>Prüf- körper</b>	<b>Lagerung/Zeit</b>	<b>Anfangs- masse MS</b>	<b>Masse MO</b>	<b>Masse M1</b>	<b>Masse MO</b>	<b>Masse ME</b>	<b>Massenänd. M1-MO</b>	<b>Massenänd. MO2/3-ME</b>	<b>Massenänd. MS-MO</b>			
<b>Nr.</b>		trock. [g]	24h trock. [g]	nass [g]	nass [g]	Gr.2/3 7d trock. [g]	Wasseraufnahme [g]	Weichmacherverlust [g]	Ausgangstrocknung [g]	[%]	[%]	
<b>2_1</b>	55WL/9Mt	271.30	271.16	279.73	181.83	175.89	8.57	0.37	0.14	<b>3.16</b>	<b>-0.21</b>	
<b>2_2</b>	55WL/18Mt	270.63	270.49	282.43	189.00	180.40	11.94	0.61	0.14	<b>4.41</b>	<b>-0.34</b>	
<b>2_3</b>	55WL/36Mt	271.43	271.29	289.98	193.32	170.96	18.69	9.90	0.14	<b>6.89</b>	<b>-5.47</b>	
<b>2_4</b>	55WL/60Mt	270.71	270.57	294.83	196.36	178.94	24.26	1.26	0.14	<b>8.97</b>	<b>-0.70</b>	
<b>2_7</b>	70WL/9Mt	271.08	270.94	305.20	203.47	179.45	34.26	1.18	0.14	<b>12.64</b>	<b>-0.65</b>	
<b>2_8</b>	70WL/18Mt	270.44	270.31	328.67	216.11	181.70	58.36	-3.96	0.13	<b>21.59</b>	<b>2.23</b>	
<b>2_9</b>	70WL/36Mt	268.49	268.35	372.15	248.10	189.94	103.80	-11.04	0.14	<b>38.68</b>	<b>6.17</b>	
<b>2_10</b>	70WL/60Mt	271.07	270.94	449.18	294.58	211.74	178.24	-34.05	0.13	<b>65.79</b>	<b>19.16</b>	
<b>2_12</b>	55W/18Mt	270.58	270.44	282.47	189.28	180.68	12.03	0.54	0.14	<b>4.45</b>	<b>-0.30</b>	
<b>2_13</b>	55W/36Mt	271.14	271.00	289.54	193.03	171.23	18.54	9.44	0.14	<b>6.84</b>	<b>-5.22</b>	
<b>2_15</b>	70W/18Mt	270.16	270.00	333.43	226.59	187.75	63.43	-4.27	0.16	<b>23.49</b>	<b>2.32</b>	
<b>2_16</b>	70W/36Mt	270.54	270.40	381.58	254.39	194.78	111.18	-14.51	0.14	<b>41.12</b>	<b>8.05</b>	
<b>2_18</b>	50Lauge/12Mt	269.64	269.50	250.31	166.88	160.26	-19.19	19.41	0.14	<b>-7.12</b>	<b>-10.81</b>	
<b>2_20</b>	50Säure/12Mt	270.05	269.92	277.28	184.86	180.05	7.36	-0.10	0.13	<b>2.73</b>	<b>0.05</b>	

"Best Task"												
Massenänderung nach trocknen												
EMPA-Nr.:	841'128	Prüfgerät:	Mettler PR2002									
Lfd. Nr.	3	Prüftemperatur:	NK									
Materialbezeich.:	Sucoflex CB / TPO	Prüfdatum:	12.6.06/28.8.06/22.2.07/1.9.08									
		Visum:										
Prüf- körper	Lagerung/Zeit	Anfangs- masse MS trock.	Masse MO 24h trock.	Masse M1 nass	Masse MO Gr.2/3 nass	Masse ME Gr.2/3 7d trock.	Massenänd. M1-MO Wasseraufnahme		Massenänd. MO2/3-ME Weichmacherverlust		Massenänd. MS-MO Ausgangstrocknung	
Nr.		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
3_1	55WL/9Mt	211.57	211.48	218.87	142.61	138.05	7.39	3.49	-0.26	0.19	0.09	0.04
3_2	55WL/18Mt	210.48	210.41	219.67	143.06	137.30	9.26	4.40	-0.27	0.20	0.07	0.03
3_3	55WL/36Mt	211.22	211.12	224.26	149.51	135.41	13.14	6.22	5.34	-3.79	0.10	0.05
3_4	55WL/60Mt	211.90	211.82	229.52	150.26	142.22	17.70	8.36	-3.55	2.56	0.08	0.04
3_7	70WL/9Mt	211.52	211.42	223.59	146.98	139.32	12.17	5.76	-0.34	0.24	0.10	0.05
3_8	70WL/18Mt	211.43	211.32	229.45	153.73	144.70	18.13	8.58	-3.12	2.20	0.11	0.05
3_9	70WL/36Mt	210.34	210.24	241.87	161.25	142.48	31.63	15.04	-2.32	1.65	0.10	0.05
3_10	70WL/60Mt	212.70	212.60	255.32	168.43	151.17	42.72	20.09	-10.92	7.79	0.10	0.05
3_12	55W/18Mt	211.07	210.96	220.35	149.28	143.58	9.39	4.45	-0.66	0.46	0.11	0.05
3_13	55W/36Mt	212.30	212.21	225.09	150.06	136.47	12.88	6.07	5.00	-3.54	0.09	0.04
3_15	70W/18Mt	211.74	211.62	229.94	150.60	142.11	18.32	8.66	-3.51	2.53	0.12	0.06
3_16	70W/36Mt	212.22	212.12	238.13	158.75	139.96	26.01	12.26	1.45	-1.03	0.10	0.05
3_18	50Lauge/12Mt	210.86	210.75	212.04	141.37	137.74	1.29	0.61	2.77	-1.97	0.11	0.05
3_20	50Säure/12Mt	211.73	211.60	217.67	145.12	141.56	6.07	2.87	-0.49	0.35	0.13	0.06

"Best Task"										
Massenänderung nach trocknen										
EMPA-Nr.:		841'128		Prüfgerät:		Mettler PR2002				
Lfd. Nr.		1702		Prüftemperatur:		NK				
Materialbezeich.:		MP 915-20 B2 / PE/EVA		Prüfdatum:		12.6.06/28.8.06/22.2.07/1.9.08				
				Visum:						
Prüf- körper	Lagerung/Zeit	Anfangs- masse MS	Masse MO	Masse M1	Masse MO	Masse ME	Massenänd. M1-MO	Massenänd. MO2/3-ME	Massenänd. MS-MO	
Nr.		trock. [g]	24h trock. [g]	nass [g]	nass [g]	Gr.2/3 7d trock. [g]	Wasseraufnahme [g]	Weichmacherverlust [g]	Ausgangstrocknung [g]	[%]
1702_1	55WL/9Mt	217.01	216.50	216.89	140.97	140.75	0.39	-0.03	0.51	0.24
1702_2	55WL/18Mt	216.82	216.72	217.06	143.56	143.36	0.34	-0.02	0.10	0.05
1702_3	55WL/36Mt	216.75	216.64	217.02	144.68	136.60	0.38	7.83	0.11	0.05
1702_4	55WL/60Mt	217.30	217.18	217.59	145.44	145.22	0.41	-0.05	0.12	0.06
1702_7	70WL/9Mt	216.98	216.88	217.34	141.29	140.99	0.46	0.00	0.10	0.05
1702_8	70WL/18Mt	216.78	216.60	217.01	147.89	147.59	0.41	0.02	0.18	0.08
1702_9	70WL/36Mt	217.36	217.26	217.58	145.05	137.61	0.32	7.23	0.10	0.05
1702_10	70WL/60Mt	217.61	217.50	217.62	146.49	146.13	0.12	0.28	0.11	0.05
1702_12	55W/18Mt	216.52	216.41	216.80	144.31	144.10	0.39	-0.05	0.11	0.05
1702_13	55W/36Mt	217.14	217.01	217.34	144.89	137.51	0.33	7.16	0.13	0.06
1702_15	70W/18Mt	216.90	216.79	217.24	147.65	147.35	0.45	-0.01	0.11	0.05
1702_16	70W/36Mt	215.68	215.55	216.03	144.02	136.28	0.48	7.42	0.13	0.06
1702_18	50Lauge/12Mt	216.71	216.58	215.82	143.89	142.91	-0.76	1.49	0.13	0.06
1702_20	50Säure/12Mt	215.24	215.10	215.82	143.89	143.69	0.72	-0.28	0.14	0.07

<b>"Best Task"</b>												
<b>Massenänderung nach trocknen</b>												
<b>EMPA-Nr.:</b>	841128	<b>Prüferät:</b>	Mettler PR2002									
<b>Lfd. Nr.</b>	<b>1712</b>	<b>Prüftemperatur:</b>	NK									
<b>Materialbezeich.:</b>	Sikaplan 14.6 V / PVC-P	<b>Prüfdatum:</b>	12.6.06/28.8.06/22.2.07/1.9.08									
		<b>Visum:</b>										
<b>Prüf- körper</b>	<b>Lagerung/Zeit</b>	<b>Anfangs- masse MS</b>	<b>Masse MO</b>	<b>Masse M1</b>	<b>Masse MO</b>	<b>Masse ME</b>	<b>Massenänd. M1-MO</b>		<b>Massenänd. MO2/3-ME</b>		<b>Massenänd. MS-MO</b>	
<b>Nr.</b>		trock. [g]	24h trock. [g]	nass [g]	Gr.2/3 nass [g]	Gr.2/3 7d trock. [g]	Wasseraufnahme [g]	[%]	Weichmacherverlust [g]	[%]	Ausgangstrocknung [g]	[%]
1712_1	55WL/9Mt	273.93	273.69	293.11	193.55	179.84	19.42	7.10	0.89	-0.49	0.24	0.09
1712_2	55WL/18Mt	273.68	273.42	301.28	196.02	176.78	27.86	10.19	1.11	-0.63	0.26	0.10
1712_3	55WL/36Mt	273.92	273.69	313.03	208.69	176.14	39.34	14.37	6.32	-3.47	0.23	0.08
1712_4	55WL/60Mt	273.86	273.62	325.22	208.33	173.53	51.60	18.86	1.75	-1.00	0.24	0.09
1712_7	70WL/9Mt	274.27	273.96	328.12	223.08	185.10	54.16	19.77	1.16	-0.62	0.31	0.11
1712_8	70WL/18Mt	273.69	273.38	354.95	234.63	183.46	81.57	29.84	-2.75	1.52	0.31	0.11
1712_9	70WL/36Mt	274.24	273.94	413.84	275.89	205.76	139.90	51.07	-23.14	12.67	0.30	0.11
1712_10	70WL/60Mt	274.69	274.38	486.32	317.15	205.66	211.94	77.24	-26.73	14.94	0.31	0.11
1712_12	55W/18Mt	275.27	274.96	302.56	202.52	183.08	27.60	10.04	0.97	-0.52	0.31	0.11
1712_13	55W/36Mt	274.44	274.10	313.97	209.31	176.92	39.87	14.55	5.81	-3.18	0.34	0.12
1712_15	70W/18Mt	274.87	274.51	366.17	240.09	184.84	91.66	33.39	-4.85	2.69	0.36	0.13
1712_16	70W/36Mt	274.34	273.98	422.08	281.39	209.22	148.10	54.06	-26.56	14.54	0.36	0.13
1712_18	50Lauge/12Mt	275.97	275.62	291.18	194.13	174.72	15.56	5.65	9.04	-4.92	0.35	0.13
1712_20	50Säure/12Mt	274.11	273.73	285.36	190.25	182.50	11.63	4.25	0.00	0.00	0.38	0.14

Massenänderung nach trocknen										"Best Task"				
EMPA-Nr.:	841'128	Prüfgerät:	Mettler PR2002											
Lfd. Nr.	2369	Prüftemperatur:	NK											
Materialbezeich.:	MP 916-20 B2 / PE/EVA	Prüfdatum:	12.6.06/28.8.06/22.2.07/1.9.08											
		Visum:												
Prüf- körper	Lagerung/Zeit	Anfangs- masse MS trock.	Masse MO 24h trock.	Masse M1 nass	Masse MO Gr.2/3 nass	Masse ME Gr.2/3 7d trock.	Massenänd. M1-MO Wasseraufnahme	Massenänd. MO2/3-ME Weichmacherverlust	Massenänd. MS-MO Ausgangstrocknung					
Nr.		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]
2369_1	55WL/9Mt	216.88	216.32	217.33	141.97	140.81	1.01	0.50	0.56	-0.35	0.47	0.26		
2369_2	55WL/18Mt	214.13	214.03	215.04	141.46	140.83	1.01	-0.03	0.10	0.02	0.47	0.05		
2369_3	55WL/36Mt	214.48	214.37	215.34	143.56	135.96	0.97	6.95	0.11	-4.87	0.45	0.05		
2369_4	55WL/60Mt	214.54	214.42	215.16	145.20	144.54	0.74	0.16	0.12	-0.11	0.35	0.06		
2369_7	70WL/9Mt	215.74	215.52	216.15	140.17	139.47	0.63	0.29	0.22	-0.21	0.29	0.10		
2369_8	70WL/18Mt	213.65	213.55	213.93	143.59	142.85	0.38	0.48	0.10	-0.34	0.18	0.05		
2369_9	70WL/36Mt	213.64	213.54	213.30	154.20	133.94	-0.24	20.43	0.10	-13.24	-0.11	0.05		
2369_10	70WL/60Mt	214.09	213.99	212.96	142.50	141.70	-1.03	1.49	0.10	-1.04	-0.48	0.05		
2369_12	55W/18Mt	213.87	213.79	214.85	142.86	142.25	1.06	-0.09	0.08	0.07	0.50	0.04		
2369_13	55W/36Mt	215.35	215.27	216.45	144.30	136.95	1.18	6.56	0.08	-4.57	0.55	0.04		
2369_15	70W/18Mt	214.49	214.40	214.97	141.62	140.97	0.57	0.27	0.09	-0.19	0.27	0.04		
2369_16	70W/36Mt	213.57	213.47	214.19	142.79	134.01	0.72	8.30	0.10	-5.83	0.34	0.05		
2369_18	50Lauge/12Mt	214.05	213.99	214.43	142.96	141.86	0.44	0.81	0.06	-0.57	0.21	0.03		
2369_20	50Säure/12Mt	214.62	214.58	216.44	144.30	143.51	1.86	-0.45	0.04	0.31	0.87	0.02		

"Best Task"									
Massenänderung nach trocknen									
EMPA-Nr.:	841'128	Prüfgerät:	Mettler PR2002						
Lfd. Nr.	2385	Prüftemperatur:	NK						
Materialbezeich.:	Sikaplan 14.6 NEAT PVC-P	Prüfdatum:	12.6.06/28.8.06/22.2.07/1.9.05						
Visum:									
Prüf- körper	Lagerung/Zeit	Anfangs- masse MS	Masse MO	Masse M1	Masse MO	Masse ME	Massenänd. M1-MO	Massenänd. MO2/3-ME	Massenänd. MS-MO
Nr.		trock. [g]	24h trock. [g]	nass [g]	Gr.2/3 nass [g]	Gr.2/3 7d trock. [g]	Wasseraufnahme [g]	Weichmacherverlust [g]	Ausgangstrocknung [g]
							[%]	[%]	[%]
2385_1	55WL/9Mt	265.11	264.97	269.85	176.49	173.31	4.88	-0.01	0.14
2385_2	55WL/18Mt	264.24	264.11	269.08	176.15	172.71	4.97	0.19	0.13
2385_3	55WL/36Mt	264.82	264.68	268.79	179.19	167.65	4.11	8.80	0.14
2385_4	55WL/60Mt	259.42	259.27	262.98	177.36	172.84	3.71	2.02	0.15
2385_7	70WL/9Mt	261.69	261.55	271.57	179.35	172.24	10.02	0.49	0.14
2385_8	70WL/18Mt	264.67	264.52	271.16	179.48	174.04	6.64	1.05	0.15
2385_9	70WL/36Mt	265.23	265.08	281.56	187.71	167.75	16.48	8.97	0.15
2385_10	70WL/60Mt	262.30	262.14	300.14	193.33	166.52	38.00	2.33	0.16
2385_12	55W/18Mt	263.68	263.60	266.26	176.13	174.21	2.66	0.16	0.08
2385_13	55W/36Mt	262.48	262.33	265.15	176.77	166.16	2.82	8.73	0.15
2385_15	70W/18Mt	265.87	265.75	274.33	178.81	172.58	8.58	0.64	0.12
2385_16	70W/36Mt	265.55	265.47	284.48	189.65	168.27	19.01	8.71	0.08
2385_18	50Lauge/12Mt	261.22	261.09	291.18	172.15	167.13	30.09	-12.77	0.13
2385_20	50Säure/12Mt	265.83	265.71	285.36	176.04	174.10	19.65	-10.18	0.12

		<b>"Best Task"</b>										
<b>Massenänderung nach trocknen</b>												
<b>EMPA-Nr.:</b>	841'128	<b>Prüfgerät:</b>	Mettler PR2002									
<b>Lfd. Nr.</b>	<b>1801</b>	<b>Prüftemperatur:</b>	NK									
<b>Materialbezeich.:</b>	Dörken Delta AT 800 / PP	<b>Prüfdatum:</b>	12.6.06/28.8.06/22.2.07/1.9.08									
		<b>Visum:</b>										
<b>Prüf- körper</b>	<b>Lagerung/Zeit</b>	<b>Anfangs- masse MS</b>	<b>Masse MO</b>	<b>Masse M1</b>	<b>Masse MO</b>	<b>Gr.2/3 nass</b>	<b>Gr.2/3 7d trock.</b>	<b>Massenänd. M1-MO</b>	<b>Massenänd. MO2/3-ME</b>	<b>Massenänd. MS-MO</b>		
<b>Nr.</b>		trock. [g]	24h trock. [g]	nass [g]	nass [g]			Wasseraufnahme [g] [%]	Weichmacherverlust [g] [%]	Ausgangstrocknung [g] [%]		
<b>1801_1</b>	55WL/9Mt	80.79	80.76	81.80	54.43	54.40	1.04	1.29	-0.66	1.23	0.03	0.04
<b>1801_2</b>	55WL/18Mt	82.57	82.54	83.80	56.13	55.84	1.26	1.53	-0.55	1.00	0.03	0.04
<b>1801_3</b>	55WL/36Mt	84.77	84.74	86.87	57.91	55.68	2.13	2.51	0.81	-1.43	0.03	0.04
<b>1801_4</b>	55WL/60Mt	82.60	82.57	83.17	56.92	56.85	0.60	0.73	-0.34	0.60	0.03	0.04
<b>1801_7</b>	70WL/9Mt	80.07	80.05	81.25	53.97	53.95	1.20	1.50	-0.78	1.46	0.02	0.02
<b>1801_8</b>	70WL/18Mt	81.63	81.59	83.60	56.02	55.47	2.01	2.46	-0.80	1.46	0.04	0.05
<b>1801_9</b>	70WL/36Mt	83.93	83.88	86.71	57.81	55.06	2.83	3.37	0.86	-1.54	0.05	0.06
<b>1801_10</b>	70WL/60Mt	81.90	81.88	83.31	57.07	57.01	1.43	1.75	-0.92	1.64	0.02	0.02
<b>1801_12</b>	55W/18Mt	83.84	83.80	85.15	52.69	52.18	1.35	1.61	-0.33	0.63	0.04	0.05
<b>1801_13</b>	55W/36Mt	81.20	81.17	83.33	55.55	51.32	2.16	2.66	2.79	-5.16	0.03	0.04
<b>1801_15</b>	70W/18Mt	84.46	84.43	87.55	59.12	58.16	3.12	3.70	-1.15	2.01	0.03	0.04
<b>1801_16</b>	70W/36Mt	82.51	82.49	83.75	55.83	52.45	1.26	1.53	2.54	-4.62	0.02	0.02
<b>1801_18</b>	50Lauge/12Mt	83.76	83.74	85.19	56.80	56.32	1.45	1.73	-0.49	0.87	0.02	0.02
<b>1801_20</b>	50Säure/12Mt	82.57	82.53	81.28	54.19	54.17	-1.25	-1.51	0.85	-1.55	0.04	0.05

<b>"Best Task"</b>											
<b>Massenänderung nach trocknen</b>											
<b>EMPA-Nr.:</b>	841128	<b>Prüfgerät:</b>	Mettler PR2002								
<b>Lfd. Nr.</b>	2302	<b>Prüftemperatur:</b>	NK								
<b>Materialbezeich.:</b>	Dörken Delta AT 1200 / PP	<b>Prüfdatum:</b>	12.6.06/28.8.06/22.2.07/1.9.08								
		<b>Visum:</b>									
Prüf- körper	Lagerung/Zeit	Anfangs- masse MS trock.	Masse MO 24h trock.	Masse M1 nass	Masse MO Gr.2/3 nass	Masse ME Gr.2/3 7d trock.	Massenänd. M1-MO Wasseraufnahme	Massenänd. MO2/3-ME Weichmacherverlust	Massenänd. MS-MO Ausgangstrocknung		
Nr.		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]
2302_1	55WL/9Mt	120.20	120.17	121.73	77.84	77.73	1.56	-0.89	0.03	1.30	0.02
2302_2	55WL/18Mt	122.36	122.35	125.05	83.41	82.93	2.70	-1.32	0.01	2.21	0.01
2302_3	55WL/36Mt	123.64	123.62	126.01	84.01	77.48	2.39	4.94	0.02	1.93	0.02
2302_4	55WL/60Mt	120.12	120.11	121.03	83.78	83.67	0.92	-0.53	0.01	0.77	0.01
2302_7	70WL/9Mt	121.20	121.17	123.29	83.02	82.80	2.12	-1.21	0.03	1.75	0.02
2302_8	70WL/18Mt	121.46	121.44	124.55	83.75	82.95	3.11	-1.29	0.02	2.56	0.02
2302_9	70WL/36Mt	119.56	119.53	122.50	81.67	79.64	2.97	0.05	0.03	2.48	0.03
2302_10	70WL/60Mt	122.80	122.78	124.59	87.40	87.32	1.81	-1.19	0.02	1.47	0.02
2302_12	55W/18Mt	122.34	122.30	124.17	82.68	82.45	1.87	-1.02	0.04	1.53	0.03
2302_13	55W/36Mt	121.83	121.81	123.83	82.55	72.75	2.02	8.45	0.02	1.66	0.02
2302_15	70W/18Mt	124.38	124.36	126.87	83.03	82.57	2.51	-1.18	0.02	2.02	0.02
2302_16	70W/36Mt	125.78	125.76	127.00	84.67	78.77	1.24	5.07	0.02	0.99	0.02
2302_18	50Lauge/12Mt	120.75	120.73	125.15	83.44	82.95	4.42	-2.46	0.02	3.66	0.02
2302_20	50Säure/12Mt	121.35	121.32	121.66	81.11	81.01	0.34	-0.13	0.03	0.28	0.02

<b>"Best Task"</b>										
<b>Massenänderung nach trocknen</b>										
<b>EMPA-Nr.:</b>	841'128	<b>Prüfgerät:</b>	Mettler PR2002							
<b>Lfd. Nr.</b>	<b>2304</b>	<b>Prüftemperatur:</b>	NK							
<b>Materialbezeich.:</b>	Enkadrain 5020Z/2-1s / PP	<b>Prüfdatum:</b>	12.6.06/28.8.06/22.2.07/1.9.08							
		<b>Visum:</b>								
Prüf- körper	Lagerung/Zeit	Anfangs- masse MS	Masse MO	Masse M1	Masse MO	Masse ME	Massenänd. M1-MO	Massenänd. MO2/3-ME	Massenänd. MS-MO	
Nr.		trock. [g]	24h trock. [g]	nass [g]	nass [g]	Gr.2/3 7d trock. [g]	Wasseraufnahme [g] [%]	Weichmacherverlust [g] [%]	Ausgangstrocknung [g] [%]	
<b>2304_1</b>	55WL/9Mt	90.23	90.21	95.72	61.20	60.53	5.51 <b>6.11</b>	-2.85 <b>4.95</b>	0.02 <b>0.02</b>	
<b>2304_2</b>	55WL/18Mt	88.28	88.25	93.36	62.95	61.88	5.11 <b>5.79</b>	-2.38 <b>3.99</b>	0.03 <b>0.03</b>	
<b>2304_3</b>	55WL/36Mt	89.58	89.55	92.39	61.44	56.10	2.84 <b>3.17</b>	3.45 <b>-5.80</b>	0.03 <b>0.03</b>	
<b>2304_4</b>	55WL/60Mt	91.23	91.18	93.83	63.07	61.94	2.65 <b>2.91</b>	-0.65 <b>1.06</b>	0.05 <b>0.05</b>	
<b>2304_7</b>	70WL/9Mt	91.55	91.52	97.56	63.35	62.54	6.04 <b>6.60</b>	-3.11 <b>5.24</b>	0.03 <b>0.03</b>	
<b>2304_8</b>	70WL/18Mt	89.09	89.06	97.65	62.34	60.53	8.59 <b>9.65</b>	-3.67 <b>6.46</b>	0.03 <b>0.03</b>	
<b>2304_9</b>	70WL/36Mt	90.45	90.42	98.12	65.41	57.09	7.70 <b>8.52</b>	3.19 <b>-5.29</b>	0.03 <b>0.03</b>	
<b>2304_10</b>	70WL/60Mt	91.54	91.50	90.04	63.58	62.70	-1.46 <b>-1.60</b>	1.91 <b>-2.96</b>	0.04 <b>0.04</b>	
<b>2304_12</b>	55W/18Mt	87.32	87.28	98.25	61.60	59.37	10.97 <b>12.57</b>	-4.65 <b>8.49</b>	0.04 <b>0.05</b>	
<b>2304_13</b>	55W/36Mt	91.43	94.40	101.29	67.53	59.09	6.89 <b>7.30</b>	3.85 <b>-6.11</b>	-2.97 <b>-3.15</b>	
<b>2304_15</b>	70W/18Mt	89.59	89.57	99.33	63.99	62.37	9.76 <b>10.90</b>	-4.67 <b>8.09</b>	0.02 <b>0.02</b>	
<b>2304_16</b>	70W/36Mt	90.50	90.47	99.92	66.61	58.81	9.45 <b>10.45</b>	1.50 <b>-2.49</b>	0.03 <b>0.03</b>	
<b>2304_18</b>	50Lauge/12Mt	89.38	89.36	95.38	63.59	60.71	6.02 <b>6.74</b>	-1.13 <b>1.90</b>	0.02 <b>0.02</b>	
<b>2304_20</b>	50Säure/12Mt	89.32	89.28	90.09	60.06	58.98	0.81 <b>0.91</b>	0.54 <b>-0.91</b>	0.04 <b>0.04</b>	

"Best Task"											
Massenänderung nach trocknen											
EMPA-Nr.:		841'128		Prüfgerät:		Mettler PR2002					
Lfd. Nr.		2355		Prüftemperatur:		NK					
Materialbezeich.:		Enkadrain 5020Z/2-1s / PP		Prüfdatum:		12.6.06/28.8.06/22.2.07/1.9.08					
				Visum:							
Prüf- körper	Lagerung/Zeit	Anfangs- masse MS	Masse MO	Masse M1	Masse MO	Masse ME	Massenänd. M1-MO	Massenänd. MO2/3-ME	Massenänd. MS-MO		
Nr.		trock. [g]	24h trock. [g]	nass [g]	Gr.2/3 nass [g]	Gr.2/3 7d trock. [g]	Wasseraufnahme [g]	Weichmacherverlust [g]	Ausgangstrocknung [g]	[%]	
2355_1	55WL/9Mt	87.76	87.74	93.40	59.82	58.14	5.66	-1.95	0.02	6.45	3.46
2355_2	55WL/18Mt	87.00	86.96	92.92	63.03	61.08	5.96	-2.09	0.04	6.85	3.55
2355_3	55WL/36Mt	87.52	87.49	94.50	63.00	55.30	7.01	3.03	0.03	8.01	-5.19
2355_4	55WL/60Mt	86.42	86.39	89.85	60.73	58.92	3.46	-0.53	0.03	4.01	0.91
2355_7	70WL/9Mt	88.48	88.44	92.82	61.91	60.23	4.38	-1.24	0.04	4.95	2.10
2355_8	70WL/18Mt	86.12	86.10	93.03	62.43	60.07	6.93	-2.29	0.02	8.05	3.96
2355_9	70WL/36Mt	90.03	90.01	101.68	67.79	54.86	11.67	5.15	0.02	12.97	-8.58
2355_10	70WL/60Mt	87.01	86.98	92.23	64.52	62.55	5.25	-1.70	0.03	6.04	2.80
2355_12	55W/18Mt	fehlt									
2355_13	55W/36Mt	fehlt									
2355_15	70W/18Mt	89.20	89.17	99.06	65.45	62.93	9.89	-4.01	0.03	11.09	6.81
2355_16	70W/36Mt	88.10	88.07	99.70	66.47	55.87	11.63	2.85	0.03	13.21	-4.85
2355_18	50Lauge/12Mt	88.57	88.54	95.46	63.64	59.74	6.92	-0.71	0.03	7.82	1.21
2355_20	50Säure/12Mt	87.79	87.77	91.48	60.99	58.49	3.71	0.03	0.02	4.23	-0.05

## Zugversuche

an Dichtungsbahnen nach 9, 12, 18, 36 und 60 Monaten Lagerung

Prüfung:		Zugversuch		Lagerort:		
Lfd. Nr.:	2			Prüfklima:	NK	
Prüfgeräte:	Zwick 010			Datum/Visum:	7.7.2008/ Div. Folien	
EMPA-Nr.:	841'128			Materialbezeichnung:		
Auftraggeber:	Projekt "Best Task"			nach trocknen + nass Lagerung		
Nr. 2 / längs	Modul (100%) [N/mm <sup>2</sup> ]	Fmax [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruch [%]	Modul (100%) [N/mm <sup>2</sup> ]	Fmax [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruch [%]
Sucoflex 132 (PVC)				Sucoflex 132 (PVC)		
55°C Wasser + Luft / 9Mt	8.63	12.3	249	55°C Wasser + Luft / 9Mt	8.31	11.5
55°C Wasser + Luft / 18Mt	9.04	12.7	242	55°C Wasser + Luft / 18Mt	8.38	11.3
55°C Wasser + Luft / 36Mt	9.01	12.1	220	55°C Wasser + Luft / 36Mt	8.50	10.8
55°C Wasser + Luft / 60Mt	9.15	13.0	239	55°C Wasser + Luft / 60Mt	8.67	12.0
55°C Wasser + Luft / 9Mt	8.57	12.3	257	55°C Wasser + Luft / 9Mt	7.79	11.3
55°C Wasser + Luft / 18Mt	8.36	12.0	251	55°C Wasser + Luft / 18Mt	7.71	10.9
55°C Wasser + Luft / 36Mt	8.17	11.6	242	55°C Wasser + Luft / 36Mt	7.57	10.8
55°C Wasser + Luft / 60Mt	8.50	11.8	240	55°C Wasser + Luft / 60Mt	7.51	10.4
70°C Wasser + Luft / 9Mt	9.16	12.6	238	70°C Wasser + Luft / 9Mt	8.37	11.5
70°C Wasser + Luft / 18Mt	9.35	12.7	230	70°C Wasser + Luft / 18Mt	8.75	11.4
70°C Wasser + Luft / 36Mt	9.70	11.8	189	70°C Wasser + Luft / 36Mt	8.90	10.6
70°C Wasser + Luft / 60Mt	9.29	10.7	156	70°C Wasser + Luft / 60Mt	9.86	10.5
70°C Wasser + Luft / 9Mt	7.45	10.4	234	70°C Wasser + Luft / 9Mt	7.19	9.67
70°C Wasser + Luft / 18Mt	7.93	10.4	204	70°C Wasser + Luft / 18Mt	6.53	8.69
70°C Wasser + Luft / 36Mt	6.79	8.20	174	70°C Wasser + Luft / 36Mt	6.57	7.80
70°C Wasser + Luft / 60Mt	7.57	8.08	127	70°C Wasser + Luft / 60Mt	6.41	6.89
55°C Wasser / 18Mt	9.12	13.0	255	55°C Wasser / 18Mt	8.39	11.7
55°C Wasser / 36Mt	9.09	12.8	240	55°C Wasser / 36Mt	8.36	11.6
55°C Wasser / 18Mt	8.35	11.5	233	55°C Wasser / 18Mt	7.79	10.8
55°C Wasser / 36Mt	8.15	11.6	246	55°C Wasser / 36Mt	7.60	10.9
70°C Wasser / 18Mt	9.26	12.5	229	70°C Wasser / 18Mt	9.03	11.7
70°C Wasser / 36Mt	9.25	11.5	188	70°C Wasser / 36Mt	8.53	10.4
70°C Wasser / 18Mt	7.45	9.82	205	70°C Wasser / 18Mt	6.51	8.46
70°C Wasser / 36Mt	6.86	8.30	168	70°C Wasser / 36Mt	6.26	7.50
50° Lauge / 12Mt	12.50	15.5	217	50° Lauge / 12Mt	11.80	14.1
50° Lauge / 12Mt	11.90	15.2	224	50° Lauge / 12Mt	11.10	13.8
50° Säure / 12Mt	8.71	12.3	239	50° Säure / 12Mt	7.87	11.3
50° Säure / 12Mt	8.71	12.5	257	50° Säure / 12Mt	8.11	11.3

Prüfung:		Zugversuch		Lagerort:					
Lfd. Nr.:	3	Modul (100%)	Fmax	Bruch	Prüfklima:				
Prüfgeräte:	Zwick 010	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	Datum/Visum:				
EMPA-Nr.:	841'128				Div. Folien				
Auftraggeber:	Projekt "Best Task"				Materialbezeichnung:				
Nr. 3 / längs	Modul (100%)	Fmax	Bruch	Nr. 3 / quer	nach trocknen + nass Lagerung				
Sucoflex CB (TPO)	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	Sucoflex CB (TPO)	Modul (100%)				
55°C Wasser + Luft / 9Mt	4.40	5.81	491	55°C Wasser + Luft / 9Mt	[N/mm <sup>2</sup> ]				
55°C Wasser + Luft / 18Mt	4.92	6.20	463	55°C Wasser + Luft / 18Mt	Fmax				
55°C Wasser + Luft / 36Mt	4.91	6.38	478	55°C Wasser + Luft / 36Mt	Bruch				
55°C Wasser + Luft / 60Mt	5.07	6.46	490	55°C Wasser + Luft / 60Mt	[%]				
55°C Wasser + Luft / 9Mt	4.91	6.32	508	55°C Wasser + Luft / 9Mt	[N/mm <sup>2</sup> ]				
55°C Wasser + Luft / 18Mt	4.84	6.26	489	55°C Wasser + Luft / 18Mt	Fmax				
55°C Wasser + Luft / 36Mt	4.74	6.30	494	55°C Wasser + Luft / 36Mt	Bruch				
55°C Wasser + Luft / 60Mt	4.75	5.9	459	55°C Wasser + Luft / 60Mt	[%]				
70°C Wasser + Luft / 9Mt	4.56	5.87	493	70°C Wasser + Luft / 9Mt	[N/mm <sup>2</sup> ]				
70°C Wasser + Luft / 18Mt	4.97	6.48	501	70°C Wasser + Luft / 18Mt	Fmax				
70°C Wasser + Luft / 36Mt	5.01	6.17	458	70°C Wasser + Luft / 36Mt	Bruch				
70°C Wasser + Luft / 60Mt	4.86	5.47	361	70°C Wasser + Luft / 60Mt	[%]				
70°C Wasser + Luft / 9Mt	4.71	6.03	495	70°C Wasser + Luft / 9Mt	[N/mm <sup>2</sup> ]				
70°C Wasser + Luft / 18Mt	4.68	5.86	479	70°C Wasser + Luft / 18Mt	Fmax				
70°C Wasser + Luft / 36Mt	4.58	5.50	410	70°C Wasser + Luft / 36Mt	Bruch				
70°C Wasser + Luft / 60Mt	fehlt			70°C Wasser + Luft / 60Mt	[%]				
55°C Wasser / 18Mt	4.94	6.42	500	55°C Wasser / 18Mt	[N/mm <sup>2</sup> ]				
55°C Wasser / 36Mt	5.01	6.43	481	55°C Wasser / 36Mt	Fmax				
55°C Wasser / 18Mt	4.80	6.17	488	55°C Wasser / 18Mt	Bruch				
55°C Wasser / 36Mt	4.86	6.20	474	55°C Wasser / 36Mt	[%]				
70°C Wasser / 18Mt	5.12	6.50	483	70°C Wasser / 18Mt	[N/mm <sup>2</sup> ]				
70°C Wasser / 36Mt	4.99	6.07	428	70°C Wasser / 36Mt	Fmax				
70°C Wasser / 18Mt	4.66	5.90	481	70°C Wasser / 18Mt	Bruch				
70°C Wasser / 36Mt	4.66	5.80	444	70°C Wasser / 36Mt	[%]				
50° Lauge / 12Mt	4.83	6.48	509	50° Lauge / 12Mt	[N/mm <sup>2</sup> ]				
50° Lauge / 12Mt	4.83	6.23	499	50° Lauge / 12Mt	Fmax				
50° Säure / 12Mt	4.33	5.83	520	50° Säure / 12Mt	Bruch				
50° Säure / 12Mt	4.97	6.40	501	50° Säure / 12Mt	[%]				
					4.26	5.39	459		
					4.59	5.80	457		
					4.63	5.84	453		
					4.72	5.94	459		
					4.68	5.87	482		
					4.58	5.66	460		
					4.48	5.80	473		
					4.14	5.0	418		
					4.30	5.47	457		
					4.71	5.96	473		
					4.54	5.49	395		
					4.46	5.16	375		
					4.46	5.56	470		
					4.41	5.35	420		
					3.79	4.50	354		
					fehlt				
					4.64	5.95	474		
					4.65	5.99	483		
					4.59	5.71	451		
					4.56	5.80	463		
					4.70	5.82	452		
					4.66	5.84	481		
					4.39	5.50	457		
					4.34	5.10	373		
					4.27	5.57	469		
					4.65	5.92	485		
					4.08	5.16	445		
					4.71	6.01	501		

Prüfung:	Zugversuch		Lagerort:	LA 184
Lfd. Nr.:	1702		Prüfklima:	NK
Prüfgeräte:	Zwick 010		Datum/Visum:	7.7.2008/ Div. Folien
EMPA-Nr.:	841'128		Materialbezeichnung:	
Auftraggeber:	Projekt "Best Task"		nach trocknen + nass Lagerung	
Nr. 1702 / längs	Modul (100%)	Fmax	Bruch	Bruch
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[N/mm <sup>2</sup> ]
MP 915-20 B2 (PE/EVA)	6.42	24.3	754	5.95
55°C Wasser + Luft / 9Mt				22.8
55°C Wasser + Luft / 18Mt	6.32	24.0	757	6.08
55°C Wasser + Luft / 36Mt	6.33	25.4	775	6.02
55°C Wasser + Luft / 60Mt	6.20	24.6	768	6.11
55°C Wasser + Luft / 9Mt	6.36	25.5	779	6.10
55°C Wasser + Luft / 18Mt	6.29	24.6	764	6.14
55°C Wasser + Luft / 36Mt	6.30	25.1	777	6.11
55°C Wasser + Luft / 60Mt	6.49	25.9	772	6.24
70°C Wasser + Luft / 9Mt	6.09	23.5	779	5.77
70°C Wasser + Luft / 18Mt	6.19	23.9	779	5.89
70°C Wasser + Luft / 36Mt	6.20	24.1	767	6.01
70°C Wasser + Luft / 60Mt	6.32	24.1	783	6.25
70°C Wasser + Luft / 9Mt	6.29	23.9	779	5.96
70°C Wasser + Luft / 18Mt	6.28	24.5	789	6.07
70°C Wasser + Luft / 36Mt	6.33	24.9	782	6.15
70°C Wasser + Luft / 60Mt	6.63	24.7	787	6.35
55°C Wasser / 18Mt	6.33	24.4	753	6.04
55°C Wasser / 36Mt	6.36	24.4	753	6.04
55°C Wasser / 18Mt	6.42	25.1	771	6.18
55°C Wasser / 36Mt	6.41	25.5	770	6.11
70°C Wasser / 18Mt	6.09	24.1	797	5.87
70°C Wasser / 36Mt	6.18	24.8	774	5.98
70°C Wasser / 18Mt	6.31	24.6	796	6.06
70°C Wasser / 36Mt	6.28	23.5	762	6.04
50° Lauge / 12Mt	6.20	24.6	761	5.88
50° Lauge / 12Mt	6.43	25.5	776	6.19
50° Säure / 12Mt	6.07	23.9	765	5.89
50° Säure / 12Mt	6.29	25.2	778	6.07

Prüfung:		Zugversuch		Lagerort:			
Lfd. Nr.:	2369			LA 184			
Prüfgeräte:	Zwick 010			Prüfklima: NK			
EMPA-Nr.:	841'128			Datum/Visum: 7.7.2008/ Div. Folien			
Auftraggeber:	Projekt "Best Task"			Materialbezeichnung: nach trocknen + nass Lagerung			
Nr. 2369 / längs	Modul (100%) [N/mm <sup>2</sup> ]	Fmax [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruch [%]	Nr. 2369 / quer	Modul (100%) [N/mm <sup>2</sup> ]	Fmax [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruch [%]
MP 916-20 B2 (PE/EVA)	6.61	24.2	813	MP 916-20 B2 (PE/EVA)	6.43	23.2	816
55°C Wasser + Luft / 9Mt	6.84	24.3	796	55°C Wasser + Luft / 9Mt	6.75	23.8	795
55°C Wasser + Luft / 18Mt	6.79	25.9	820	55°C Wasser + Luft / 18Mt	6.76	23.6	803
55°C Wasser + Luft / 36Mt	6.88	25.3	820	55°C Wasser + Luft / 36Mt	6.83	24.6	804
55°C Wasser + Luft / 60Mt	6.81	22.5	765	55°C Wasser + Luft / 9Mt	6.77	23.6	806
55°C Wasser + Luft / 18Mt	6.75	23.8	794	55°C Wasser + Luft / 18Mt	6.77	24.3	814
55°C Wasser + Luft / 36Mt	6.89	25.1	799	55°C Wasser + Luft / 36Mt	6.85	22.4	788
55°C Wasser + Luft / 60Mt	7.06	24.7	812	55°C Wasser + Luft / 60Mt	6.92	23.2	791
70°C Wasser + Luft / 9Mt	6.56	22.6	819	70°C Wasser + Luft / 9Mt	6.41	21.5	795
70°C Wasser + Luft / 18Mt	6.78	23.8	798	70°C Wasser + Luft / 18Mt	6.67	22.5	798
70°C Wasser + Luft / 36Mt	6.93	24.4	807	70°C Wasser + Luft / 36Mt	6.74	23.5	810
70°C Wasser + Luft / 60Mt	7.20	24.7	798	70°C Wasser + Luft / 60Mt	7.09	24.3	803
70°C Wasser + Luft / 9Mt	6.87	23.2	787	70°C Wasser + Luft / 9Mt	6.71	22.5	799
70°C Wasser + Luft / 18Mt	6.83	22.1	776	70°C Wasser + Luft / 18Mt	6.65	22.4	796
70°C Wasser + Luft / 36Mt	6.99	23.0	777	70°C Wasser + Luft / 36Mt	6.88	22.3	800
70°C Wasser + Luft / 60Mt	7.19	24.0	790	70°C Wasser + Luft / 60Mt	7.06	22.1	780
55°C Wasser / 18Mt	6.81	24.4	799	55°C Wasser / 18Mt	6.63	23.2	806
55°C Wasser / 36Mt	6.84	26.4	824	55°C Wasser / 36Mt	6.64	24.3	812
55°C Wasser / 18Mt	6.80	24.8	806	55°C Wasser / 18Mt	6.74	23.5	801
55°C Wasser / 36Mt	6.93	24.3	793	55°C Wasser / 36Mt	6.82	22.8	791
70°C Wasser / 18Mt	6.68	23.3	807	70°C Wasser / 18Mt	6.56	22.1	794
70°C Wasser / 36Mt	6.88	24.7	810	70°C Wasser / 36Mt	6.71	23.0	805
70°C Wasser / 18Mt	6.89	22.7	788	70°C Wasser / 18Mt	6.63	22.4	810
70°C Wasser / 36Mt	6.90	23.8	800	70°C Wasser / 36Mt	6.17	17.1	736
50° Lauge / 12Mt	6.64	24.0	796	50° Lauge / 12Mt	6.42	22.5	798
50° Lauge / 12Mt	6.85	24.2	796	50° Lauge / 12Mt	6.80	24.7	813
50° Säure / 12Mt	6.52	23.6	839	50° Säure / 12Mt	6.45	22.8	813
50° Säure / 12Mt	6.71	23.5	793	50° Säure / 12Mt	6.69	22.5	794

Prüfung:	Zugversuch		Materialbezeichnung:	Lagerort:	LA 184	
	Lfd. Nr.:	Bruch				
1712				Prüfklima:	NK	
Prüfgeräte:	Zwick 010			Datum/Visum:	7.7.2008/	
EMPA-Nr.:	841'128			Div. Folien		
Auftraggeber:	Projekt "Best Task"			<b>nach trocknen + nass Lagerung</b>		
Nr. 1712 / längs	Modul (100%) [N/mm <sup>2</sup> ]	Fmax [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruch [%]	Modul (100%) [N/mm <sup>2</sup> ]	Fmax [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruch [%]
Sikaplan 16.4 V (PVC-P)				Sikaplan 16.4 V (PVC-P)		
55°C Wasser + Luft / 9Mt	8.32	15.1	317	55°C Wasser + Luft / 9Mt	7.53	12.3
55°C Wasser + Luft / 18Mt	8.50	15.6	317	55°C Wasser + Luft / 18Mt	7.80	12.4
55°C Wasser + Luft / 36Mt	8.65	16.1	329	55°C Wasser + Luft / 36Mt	7.84	12.8
55°C Wasser + Luft / 60Mt	8.97	15.9	311	55°C Wasser + Luft / 60Mt	8.00	12.9
55°C Wasser + Luft / 9Mt	6.90	14.3	345	55°C Wasser + Luft / 9Mt	6.34	11.4
55°C Wasser + Luft / 18Mt	6.58	13.7	342	55°C Wasser + Luft / 18Mt	6.30	11.1
55°C Wasser + Luft / 36Mt	6.63	13.8	346	55°C Wasser + Luft / 36Mt	6.36	11.1
55°C Wasser + Luft / 60Mt	6.17	12.4	333	55°C Wasser + Luft / 60Mt	6.19	10.5
70°C Wasser + Luft / 9Mt	8.48	15.1	312	70°C Wasser + Luft / 9Mt	6.17	12.2
70°C Wasser + Luft / 18Mt	8.79	15.5	304	70°C Wasser + Luft / 18Mt	8.04	12.7
70°C Wasser + Luft / 36Mt	8.99	15.9	300	70°C Wasser + Luft / 36Mt	8.56	12.7
70°C Wasser + Luft / 60Mt	8.96	15.2	282	70°C Wasser + Luft / 60Mt	9.10	12.2
70°C Wasser + Luft / 9Mt	6.02	12.2	336	70°C Wasser + Luft / 9Mt	5.86	10.1
70°C Wasser + Luft / 18Mt	5.59	10.8	312	70°C Wasser + Luft / 18Mt	5.74	9.31
70°C Wasser + Luft / 36Mt	5.43	9.80	284	70°C Wasser + Luft / 36Mt	5.37	8.30
70°C Wasser + Luft / 60Mt	4.97	7.48	219	70°C Wasser + Luft / 60Mt	5.38	7.13
55°C Wasser / 18Mt	8.55	15.7	319	55°C Wasser / 18Mt	7.77	12.8
55°C Wasser / 36Mt	8.55	15.9	325	55°C Wasser / 36Mt	7.89	12.3
55°C Wasser / 18Mt	6.70	13.3	329	55°C Wasser / 18Mt	6.36	11.2
55°C Wasser / 36Mt	6.46	13.5	343	55°C Wasser / 36Mt	6.18	10.9
70°C Wasser / 18Mt	8.65	15.4	305	70°C Wasser / 18Mt	8.12	12.7
70°C Wasser / 36Mt	9.18	15.8	297	70°C Wasser / 36Mt	8.81	13.0
70°C Wasser / 18Mt	5.59	10.6	305	70°C Wasser / 18Mt	5.72	8.85
70°C Wasser / 36Mt	5.30	9.40	270	70°C Wasser / 36Mt	5.51	8.30
50° Lauge / 12Mt	10.20	16.5	296	50° Lauge / 12Mt	9.12	13.5
50° Lauge / 12Mt	7.72	14.9	327	50° Lauge / 12Mt	7.21	12.4
50° Säure / 12Mt	8.10	15.4	327	50° Säure / 12Mt	7.36	12.4
50° Säure / 12Mt	7.13	13.5	310	50° Säure / 12Mt	6.77	11.9

Prüfung:		Zugversuch		Lagerort:					
Lfd. Nr.:	Prüfgeräte:	EMPA-Nr.:	Auftraggeber:	Prüfklima:	Datum/Visum:				
2385	Zwick 010	841'128	Projekt "Best Task"	NK	7.7.2008/				
				Div. Folien					
				<b>nach trocknen + nass Lagerung</b>					
Nr. 2385 / längs		Nr. 2385 / quer		Modul (100%)		Fmax		Bruch	
Sikaplan 16.4 NEAT (PVC-P)		Sikaplan 16.4 NEAT (PVC-P)		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	
55°C Wasser + Luft / 9Mt		55°C Wasser + Luft / 9Mt		8.56		8.24		17.1	
55°C Wasser + Luft / 18Mt		55°C Wasser + Luft / 18Mt		8.70		8.31		17.4	
55°C Wasser + Luft / 36Mt		55°C Wasser + Luft / 36Mt		8.92		8.37		17.4	
55°C Wasser + Luft / 60Mt		55°C Wasser + Luft / 60Mt		8.23		8.58		17.9	
55°C Wasser + Luft / 9Mt		55°C Wasser + Luft / 9Mt		8.66		8.26		16.8	
55°C Wasser + Luft / 18Mt		55°C Wasser + Luft / 18Mt		8.51		8.19		17.1	
55°C Wasser + Luft / 36Mt		55°C Wasser + Luft / 36Mt		8.77		8.31		17.3	
55°C Wasser + Luft / 60Mt		55°C Wasser + Luft / 60Mt		9.46		8.23		17.4	
70°C Wasser + Luft / 9Mt		70°C Wasser + Luft / 9Mt		8.37		7.33		16.9	
70°C Wasser + Luft / 18Mt		70°C Wasser + Luft / 18Mt		8.62		8.48		16.6	
70°C Wasser + Luft / 36Mt		70°C Wasser + Luft / 36Mt		8.88		8.76		17.5	
70°C Wasser + Luft / 60Mt		70°C Wasser + Luft / 60Mt		10.7		9.24		16.9	
70°C Wasser + Luft / 9Mt		70°C Wasser + Luft / 9Mt		8.26		8.19		16.8	
70°C Wasser + Luft / 18Mt		70°C Wasser + Luft / 18Mt		8.51		8.35		16.7	
70°C Wasser + Luft / 36Mt		70°C Wasser + Luft / 36Mt		8.24		8.31		16.3	
70°C Wasser + Luft / 60Mt		70°C Wasser + Luft / 60Mt		8.24		8.18		13.8	
55°C Wasser / 18Mt		55°C Wasser / 18Mt		8.49		8.28		17.0	
55°C Wasser / 36Mt		55°C Wasser / 36Mt		8.70		8.37		17.3	
55°C Wasser / 18Mt		55°C Wasser / 18Mt		8.24		8.08		16.9	
55°C Wasser / 36Mt		55°C Wasser / 36Mt		8.29		8.17		17.4	
70°C Wasser / 18Mt		70°C Wasser / 18Mt		8.54		8.45		17.4	
70°C Wasser / 36Mt		70°C Wasser / 36Mt		9.11		8.91		18.0	
70°C Wasser / 18Mt		70°C Wasser / 18Mt		8.15		8.04		16.9	
70°C Wasser / 36Mt		70°C Wasser / 36Mt		8.35		8.29		15.3	
50° Lauge / 12Mt		50° Lauge / 12Mt		9.04		8.65		17.8	
50° Lauge / 12Mt		50° Lauge / 12Mt		9.00		8.76		18.1	
50° Säure / 12Mt		50° Säure / 12Mt		8.47		7.95		16.6	
50° Säure / 12Mt		50° Säure / 12Mt		8.47		8.02		16.7	

## Schlagzugversuche

an Dichtungsbahnen nach 9, 12, 18, 36 und 60 Monaten Lagerung



Prüfung:		Schlagzugzähigkeit		Lagerort:					
Prüfgeräte:		Zwick		LA 184					
EMPA-Nr.:		841'128		Prüfklima:					
				NK					
				Datum/Visum:					
				9.3.2009/fb140					
Nr. 3 / längs	korrr.Arbeit in [kj/m <sup>2</sup> ]	Längenzunahme [mm]			korrr.Arbeit in [kj/m <sup>2</sup> ]	Längenzunahme [mm]			
		x	s	x		s	x	s	
Sucoflex CB (TPO)									
Sucoflex CB (TPO)		x	s	x	s	x	s	x	s
55°C Wasser + Luft / 9Mt	444	27.9	0.42	5.1	0.42	372	29.9	3.1	0.22
55°C Wasser + Luft / 18Mt	443	33.7	0.74	3.9	0.74	390	29.4	3.3	0.27
55°C Wasser + Luft / 36Mt	479	13.3	0.61	5.0	0.61	406	48.5	4.8	0.57
55°C Wasser + Luft / 60Mt	451	39.0	0.67	4.3	0.67	399	51.3	3.4	0.42
55°C Wasser + Luft / 9Mt	557	49.7	0.63	5.9	0.63	457	29.5	4.4	0.75
55°C Wasser + Luft / 18Mt	542	42.3	0.27	5.3	0.27	487	34.2	4.9	0.55
55°C Wasser + Luft / 36Mt	464	61.0	1.15	5.7	1.15	503	21.5	4.8	0.84
55°C Wasser + Luft / 60Mt	577	44.5	1.32	4.8	1.32	510	25.4	3.9	0.48
70°C Wasser + Luft / 9Mt	462	40.7	0.55	4.6	0.55	422	49.8	3.8	0.45
70°C Wasser + Luft / 18Mt	461	49.5	0.89	4.4	0.89	418	45.5	3.8	0.57
70°C Wasser + Luft / 36Mt	449	64.3	0.57	4.8	0.57	432	16.1	5.2	0.57
70°C Wasser + Luft / 60Mt	441	57.1	1.02	4.9	1.02	375	42.6	3.4	0.55
70°C Wasser + Luft / 9Mt	585	44.0	0.50	6.0	0.50	492	67.2	5.0	1.17
70°C Wasser + Luft / 18Mt	584	39.4	1.47	7.1	1.47	554	16.2	6.8	0.67
70°C Wasser + Luft / 36Mt	575	48.2	0.50	6.5	0.50	488	44.5	5.6	0.89
70°C Wasser + Luft / 60Mt		Defekt					Defekt		
55°C Wasser / 18Mt	476	44.3	0.84	4.2	0.84	409	27.1	3.0	0.35
55°C Wasser / 36Mt	479	75.1	0.74	5.1	0.74	414	53.7	4.5	0.61
55°C Wasser / 18Mt	513	69.3	1.25	5.4	1.25	505	38.8	5.0	0.35
55°C Wasser / 36Mt	594	39.8	1.14	6.1	1.14	436	70.5	4.2	0.57
70°C Wasser / 18Mt	477	57.3	0.91	4.7	0.91	430	50.2	3.6	0.96
70°C Wasser / 36Mt	438	20.8	0.91	4.7	0.91	392	22.5	4.2	0.97
70°C Wasser / 18Mt	601	23.2	0.57	7.2	0.57	519	36.5	6.0	0.61
70°C Wasser / 36Mt	568	44.3	0.57	6.8	0.57	511	45.2	5.5	0.61
50° Lauge / 12Mt	431	31.0	0.42	3.6	0.42	390	31.4	3.1	0.42
50° Lauge / 12Mt	558	43.0	0.96	5.4	0.96	513	22.1	4.7	0.27
50° Säure / 12Mt	451	21.5	0.45	3.8	0.45	397	6.6	3.4	0.42
50° Säure / 12Mt	537	45.8	0.76	5.7	0.76	484	90.8	4.6	0.55

Prüfung:		Schlagzugzähigkeit										Lagerort:		
Prüfgeräte:		Zwick										Prüfklima:		
EMPA-Nr.:		841128										Datum/Visum:		
												LA 184		
												NK		
												9.3.2009/fb140		
Nr. 1702 / längs	MP 915-20 B2 (PE/EVA)	korrr.Arbeit in [kJ/m <sup>2</sup> ]	Längenzunahme [mm]			korrr.Arbeit in [kJ/m <sup>2</sup> ]	Längenzunahme [mm]			korrr.Arbeit in [kJ/m <sup>2</sup> ]	Längenzunahme [mm]			
			x	s	x		s	x	s		x	s		
55°C Wasser + Luft / 9Mt	9Mt	1706	22.3	2.04	81.6	1537	33.1	1537	33.1	81.9	1537	33.1	81.9	1.88
55°C Wasser + Luft / 18Mt	18Mt	1622	40.1	1.44	77.2	1583	50.2	1583	50.2	80.1	1583	50.2	80.1	4.51
55°C Wasser + Luft / 36Mt	36Mt	1642	85.3	4.16	74.6	1578	39.8	1578	39.8	80.2	1578	39.8	80.2	1.04
55°C Wasser + Luft / 60Mt	60Mt	1629	31.5	1.08	74.1	1553	27.9	1553	27.9	78.0	1553	27.9	78.0	2.65
55°C Wasser + Luft / 9Mt		1535	41.0	1.89	72.7	1448	23.4	1448	23.4	76.4	1448	23.4	76.4	0.55
55°C Wasser + Luft / 18Mt		1487	94.8	3.90	70.3	1361	46.7	1361	46.7	69.6	1361	46.7	69.6	1.78
55°C Wasser + Luft / 36Mt		1518	68.1	4.01	71.8	1429	53.8	1429	53.8	73.1	1429	53.8	73.1	2.25
55°C Wasser + Luft / 60Mt		1570	48.7	1.89	73.6	1446	40.1	1446	40.1	74.6	1446	40.1	74.6	3.50
70°C Wasser + Luft / 9Mt		1631	40.4	2.32	80.0	1479	41.9	1479	41.9	77.4	1479	41.9	77.4	1.82
70°C Wasser + Luft / 18Mt		1616	34.2	2.25	72.7	1510	28.3	1510	28.3	73.5	1510	28.3	73.5	2.59
70°C Wasser + Luft / 36Mt		1571	63.9	2.72	74.0	1472	67.2	1472	67.2	75.7	1472	67.2	75.7	3.77
70°C Wasser + Luft / 60Mt		1288	35.2	1.75	69.1	1414	66.5	1414	66.5	76.1	1414	66.5	76.1	3.97
70°C Wasser + Luft / 9Mt		1446	68.5	1.64	69.3	1401	39.0	1401	39.0	71.4	1401	39.0	71.4	0.65
70°C Wasser + Luft / 18Mt		1425	16.7	0.48	67.4	1309	114.9	1309	114.9	69.4	1309	114.9	69.4	2.95
70°C Wasser + Luft / 36Mt		1557	26.0	2.19	71.1	1475	56.6	1475	56.6	73.0	1475	56.6	73.0	1.84
70°C Wasser + Luft / 60Mt		1502	86.4	2.63	72.6	1452	75.9	1452	75.9	74.6	1452	75.9	74.6	4.50
55°C Wasser / 18Mt		1657	62.4	2.63	73.4	1551	54.4	1551	54.4	77.4	1551	54.4	77.4	2.53
55°C Wasser / 36Mt		1556	30.1	1.04	73.3	1466	36.6	1466	36.6	75.8	1466	36.6	75.8	1.60
55°C Wasser / 18Mt		1423	98.7	3.21	68.4	1368	77.4	1368	77.4	71.1	1368	77.4	71.1	2.72
55°C Wasser / 36Mt		1533	99.7	3.47	69.9	1451	73.2	1451	73.2	72.0	1451	73.2	72.0	2.09
70°C Wasser / 18Mt		1577	109.4	4.60	71.4	1376	43.0	1376	43.0	70.1	1376	43.0	70.1	2.13
70°C Wasser / 36Mt		1429	48.4	2.36	67.2	1397	60.9	1397	60.9	72.3	1397	60.9	72.3	3.05
70°C Wasser / 18Mt		1398	82.8	3.52	60.8	1325	53.0	1325	53.0	66.5	1325	53.0	66.5	2.68
70°C Wasser / 36Mt		1519	50.6	2.20	71.2	1444	30.3	1444	30.3	72.3	1444	30.3	72.3	1.64
50° Lauge / 12Mt		1712	63.2	2.88	77.9	1583	73.7	1583	73.7	80.3	1583	73.7	80.3	4.24
50° Lauge / 12Mt		1536	60.7	2.17	73.8	1489	49.8	1489	49.8	76.7	1489	49.8	76.7	1.92
50° Säure / 12Mt		1571	70.1	1.92	72.3	1561	42.6	1561	42.6	78.2	1561	42.6	78.2	1.92
50° Säure / 12Mt		1429	89.2	4.27	70.2	1417	97.0	1417	97.0	74.8	1417	97.0	74.8	4.48

Prüfung:		Schlagzugzähigkeit		Lagerort:				
Prüfgeräte: Zwick				LA 184				
EMPA-Nr.:		841'128		Prüfklima: NK				
				Datum/Visum: 9.3.2009/fb140				
Nr. 2369 / längs	korr.Arbeit in [kJ/m <sup>2</sup> ]	Längenzunahme [mm]			korr.Arbeit in [kJ/m <sup>2</sup> ]	Längenzunahme [mm]		
		x	s			x	s	
MP 916-20 B2 (PE/EVA)								
MP 916-20 B2 (PE/EVA)								
55°C Wasser + Luft / 9Mt	1710	20.5	82.8	2.41	1684	60.9	81.5	3.59
55°C Wasser + Luft / 18Mt	1668	95.8	79.2	5.84	1599	51.0	78.9	3.73
55°C Wasser + Luft / 36Mt	1592	47.4	77.6	1.82	1524	66.8	76.4	1.47
55°C Wasser + Luft / 60Mt	1528	82.1	77.9	4.16	1529	122.9	77.1	4.81
55°C Wasser + Luft / 9Mt	1662	50.1	81.6	2.97	1527	111.8	77.5	3.94
55°C Wasser + Luft / 18Mt	1574	35.8	76.2	2.71	1538	51.4	76.4	3.15
55°C Wasser + Luft / 36Mt	1604	24.8	76.9	1.14	1605	41.9	78.0	2.15
55°C Wasser + Luft / 60Mt	1570	13.6	77.8	1.71	1490	91.9	75.4	4.31
70°C Wasser + Luft / 9Mt	1649	44.4	78.4	1.67	1585	66.6	79.4	4.94
70°C Wasser + Luft / 18Mt	1616	50.5	76.4	1.52	1413	185.3	72.6	3.84
70°C Wasser + Luft / 36Mt	1566	54.2	75.4	2.48	1539	46.9	75.2	2.61
70°C Wasser + Luft / 60Mt	1522	121.1	75.7	4.96	1465	68.4	73.4	2.22
70°C Wasser + Luft / 9Mt	1541	59.7	74.8	2.73	1525	42.9	74.6	2.10
70°C Wasser + Luft / 18Mt	1500	86.4	72.6	3.85	1448	144.3	70.1	5.75
70°C Wasser + Luft / 36Mt	1576	26.5	73.7	1.75	1570	59.4	75.2	3.17
70°C Wasser + Luft / 60Mt	1560	88.3	76.3	2.60	1552	11.7	77.5	1.87
55°C Wasser / 18Mt	1647	74.1	79.6	3.27	1619	52.0	82.2	5.99
55°C Wasser / 36Mt	1656	17.8	79.6	19.20	1514	173.6	73.0	6.37
55°C Wasser / 18Mt	1640	87.6	79.7	5.11	1597	38.0	78.7	1.44
55°C Wasser / 36Mt	1605	47.4	74.4	8.88	1582	57.1	77.6	2.97
70°C Wasser / 18Mt	1573	37.8	75.3	3.55	1446	150.2	73.1	7.10
70°C Wasser / 36Mt	1661	30.7	79.6	2.88	1591	32.5	77.4	1.29
70°C Wasser / 18Mt	1575	58.8	77.5	2.09	1498	58.8	74.0	1.46
70°C Wasser / 36Mt	1532	86.7	75.0	3.39	1490	55	74.0	2.81
50° Lauge / 12Mt	1753	104	83.5	4.21	1678	51.8	85.3	3.65
50° Lauge / 12Mt	1468	196	73.9	9.51	1564	34.8	78.5	3.26
50° Säure / 12Mt	1682	53.8	83.4	3.51	1634	60.4	81.8	3.88
50° Säure / 12Mt	1590	70.2	78.5	2.04	1534	102	75.9	4.11

<b>Prüfung:</b>		<b>Schlagzugzähigkeit</b>		<b>Lagerort:</b>		
<b>Prüfgeräte:</b>		Zwick		LA 184		
<b>EMPA-Nr.:</b>		841'128		NK		
				9.3.2009/fb1		
				<b>Datum/Visum:</b>		
<b>Nr. 1712 / längs</b>	korr.-Arbeit in [kJ/m <sup>2</sup> ]	Längenzunahme [mm]		korr.-Arbeit in [kJ/m <sup>2</sup> ]	Längenzunahme [mm]	
		x	s		x	s
Sikaplan 16.4 V (PVC-P)						
55°C Wasser + Luft / 9Mt	1127	42.0	0.35	856	20.3	3.9
55°C Wasser + Luft / 18Mt	1111	86.3	0.50	866	13.6	3.7
55°C Wasser + Luft / 36Mt	1090	124.4	0.45	874	27.3	3.6
55°C Wasser + Luft / 60Mt	1102	131.7	0.65	860	5.6	4.8
55°C Wasser + Luft / 9Mt	1079	30.0	0.35	803	38.0	4.8
55°C Wasser + Luft / 18Mt	1056	51.0	0.42	793	22.4	4.8
55°C Wasser + Luft / 36Mt	1078	45.5	0.55	797	29.1	4.1
55°C Wasser + Luft / 60Mt	985	67.8	0.57	719	31.2	4.0
70°C Wasser + Luft / 9Mt	1123	31.6	0.27	857	14.9	4.4
70°C Wasser + Luft / 18Mt	1112	57.4	0.65	807	39.8	4.4
70°C Wasser + Luft / 36Mt	1101	23.0	0.42	800	12.8	3.4
70°C Wasser + Luft / 60Mt	916	92.0	0.57	682	11.6	3.4
70°C Wasser + Luft / 9Mt	888	14.5	0.55	661	40.3	5.0
70°C Wasser + Luft / 18Mt	762	25.5	0.27	571	20.6	5.0
70°C Wasser + Luft / 36Mt	685	74.8	0.96	515	29.3	3.8
70°C Wasser + Luft / 60Mt	466	23.9	0.45	349	12.8	3.3
55°C Wasser / 18Mt	1165	28.4	0.57	853	15.1	3.8
55°C Wasser / 36Mt	1188	18.4	0.42	861	43.9	3.6
55°C Wasser / 18Mt	1022	37.1	0.00	797	39.5	5.1
55°C Wasser / 36Mt	1073	51.1	0.55	820	27.9	4.4
70°C Wasser / 18Mt	1088	22.7	0.45	829	28.6	4.3
70°C Wasser / 36Mt	1082	45.1	0.42	781	29.2	3.0
70°C Wasser / 18Mt	1059	70.2	0.50	1077	53.4	6.2
70°C Wasser / 36Mt	676	34.3	0.76	490	27.4	4.1
50° Lauge / 12Mt	1179	16.9	0.42	857	36.8	3.6
50° Lauge / 12Mt	989	30.5	0.42	794	25.9	5.1
50° Säure / 12Mt	1170	25.2	0.42	861	33.6	4.0
50° Säure / 12Mt	1035	29.3	0.35	830	24.7	4.8

Prüfung:		Schlagzugfähigkeit		Lagerort:		LA 184			
Prüfgeräte:		Zwick		Prüfklima:		NK			
EMPA-Nr.:		841'128		Datum/Visum:		9.3.2009/fb140			
Nr. 2385 / längs		korr.Arbeit in		Längenzunahme		korr.Arbeit in		Längenzunahme	
[kj/m <sup>2</sup> ]		[mm]		[kj/m <sup>2</sup> ]		[mm]		[mm]	
x	s	x	s	x	s	x	s	x	s
Sikaplan 16.4 NEAT (PVC-P)				Sikaplan 16.4 NEAT (PVC-P)					
55°C Wasser + Luft / 9Mt	1243	50.9	4.3	55°C Wasser + Luft / 9Mt	1271	52.7	4.5	55°C Wasser + Luft / 9Mt	1271
55°C Wasser + Luft / 18Mt	1252	52.2	4.3	55°C Wasser + Luft / 18Mt	1215	31.8	4.6	55°C Wasser + Luft / 18Mt	1215
55°C Wasser + Luft / 36Mt	1322	67.1	4.1	55°C Wasser + Luft / 36Mt	1233	22.6	4.0	55°C Wasser + Luft / 36Mt	1233
55°C Wasser + Luft / 60Mt	1269	77.0	3.8	55°C Wasser + Luft / 60Mt	1225	64.1	3.8	55°C Wasser + Luft / 60Mt	1225
55°C Wasser + Luft / 9Mt	1197	24.3	4.6	55°C Wasser + Luft / 9Mt	1187	61.2	4.5	55°C Wasser + Luft / 9Mt	1187
55°C Wasser + Luft / 18Mt	1193	60.3	4.4	55°C Wasser + Luft / 18Mt	1135	49.6	4.3	55°C Wasser + Luft / 18Mt	1135
55°C Wasser + Luft / 36Mt	1259	14.6	4.6	55°C Wasser + Luft / 36Mt	1207	80.3	5.0	55°C Wasser + Luft / 36Mt	1207
55°C Wasser + Luft / 60Mt	1234	44.5	4.4	55°C Wasser + Luft / 60Mt	1124	107	4.4	55°C Wasser + Luft / 60Mt	1124
70°C Wasser + Luft / 9Mt	1251	43.7	4.7	70°C Wasser + Luft / 9Mt	1196	98.1	4.6	70°C Wasser + Luft / 9Mt	1196
70°C Wasser + Luft / 18Mt	1278	24.4	4.3	70°C Wasser + Luft / 18Mt	1268	71.4	4.6	70°C Wasser + Luft / 18Mt	1268
70°C Wasser + Luft / 36Mt	1294	77.1	4.6	70°C Wasser + Luft / 36Mt	1280	26.4	4.9	70°C Wasser + Luft / 36Mt	1280
70°C Wasser + Luft / 60Mt	1249	8.91	4.4	70°C Wasser + Luft / 60Mt	1217	38.5	5.1	70°C Wasser + Luft / 60Mt	1217
70°C Wasser + Luft / 9Mt	1188	78.1	4.6	70°C Wasser + Luft / 9Mt	1228	69.0	4.6	70°C Wasser + Luft / 9Mt	1228
70°C Wasser + Luft / 18Mt	1264	58.2	5.0	70°C Wasser + Luft / 18Mt	1238	10.7	5.0	70°C Wasser + Luft / 18Mt	1238
70°C Wasser + Luft / 36Mt	1259	27.8	5.0	70°C Wasser + Luft / 36Mt	1210	52.4	5.3	70°C Wasser + Luft / 36Mt	1210
70°C Wasser + Luft / 60Mt	1030	7.65	5.0	70°C Wasser + Luft / 60Mt	985	19.1	4.9	70°C Wasser + Luft / 60Mt	985
55°C Wasser / 18Mt	1264	118.6	4.1	55°C Wasser / 18Mt	1249	87.7	4.2	55°C Wasser / 18Mt	1249
55°C Wasser / 36Mt	1246	41.0	4.3	55°C Wasser / 36Mt	1303	61.6	4.9	55°C Wasser / 36Mt	1303
55°C Wasser / 18Mt	1250	57.8	4.3	55°C Wasser / 18Mt	1244	33.5	5.0	55°C Wasser / 18Mt	1244
55°C Wasser / 36Mt	1383	37.7	5.1	55°C Wasser / 36Mt	1313	39.0	4.9	55°C Wasser / 36Mt	1313
70°C Wasser / 18Mt	1306	26.8	4.2	70°C Wasser / 18Mt	1317	43.3	4.3	70°C Wasser / 18Mt	1317
70°C Wasser / 36Mt	1268	37.1	4.7	70°C Wasser / 36Mt	1258	79.5	5.0	70°C Wasser / 36Mt	1258
70°C Wasser / 18Mt	808	64.1	4.9	70°C Wasser / 18Mt	630	16.9	4.1	70°C Wasser / 18Mt	630
70°C Wasser / 36Mt	1208	34.9	5.0	70°C Wasser / 36Mt	1215	62.9	5.4	70°C Wasser / 36Mt	1215
50° Lauge / 12Mt	1248	18.4	4.2	50° Lauge / 12Mt	1199	128	4.5	50° Lauge / 12Mt	1199
50° Lauge / 12Mt	1079	144	4.4	50° Lauge / 12Mt	1100	39.8	4.3	50° Lauge / 12Mt	1100
50° Säure / 12Mt	1248	18.4	4.2	50° Säure / 12Mt	1199	128	4.5	50° Säure / 12Mt	1199
50° Säure / 12Mt	1180	43.2	4.2	50° Säure / 12Mt	1005	124	4.3	50° Säure / 12Mt	1005

## OIT – Messwerte

an ausgewählten Produkten nach Lagerung bei 55 und 70°C in Wasser mit und ohne Einblasen von Luft

