



Rosenheim,

## Gutachten

Nr. XXX/XX/XXXX

### **Geplatzter Zuleitungsschlauch eines Deckenklimagerätes**

#### **1. Schadensvorgang**

In einem Gebäude kam es zu einem Wasserschaden, der sich über 3 Etagen erstreckte. Auslöser war ein geplatzter Zuleitungsschlauch eines Deckenklimagerätes. Der Schlauch platzte direkt in der Mitte durch. Er besteht aus Gummi mit einer Metallummantelung. Die Aufgabe der Ursachenfindung gab Anlass für die Beauftragung des Gutachtens.

#### **2. Ortstermin – Schadens-Schlauch**

Nach schriftl. Ladung aller Parteien wurde ein Ortstermin am Schadensort durchgeführt und der Schadensschlauch übergeben und eine Probe der Kühlflüssigkeit (Wasser) gezogen. Es wurde ein baugleiches neues Schlauchstück (Rückstandsmuster) eingereicht. Innendurchmesser 17 mm, Wandstärke 3,5 mm.



Schadensschlauch Riss



Das eingereichte, baugleiche Schlauchteil

### 3. Begutachtungsaufgabe

Durch Untersuchungen war zu belegen, welchen Ursprung das Versagen des Kühlmittelschlauches hatte. Die Ursachenbereiche lagen mit den Sektoren Montage des fertigen Schlauches resp. mit Materialfehlern im Bereich des Gummis zur Begutachtung zugrunde.

### 4. Einbausituation

Zwischenbereich der abgehängten Decke neben dem Deckenklimagerät

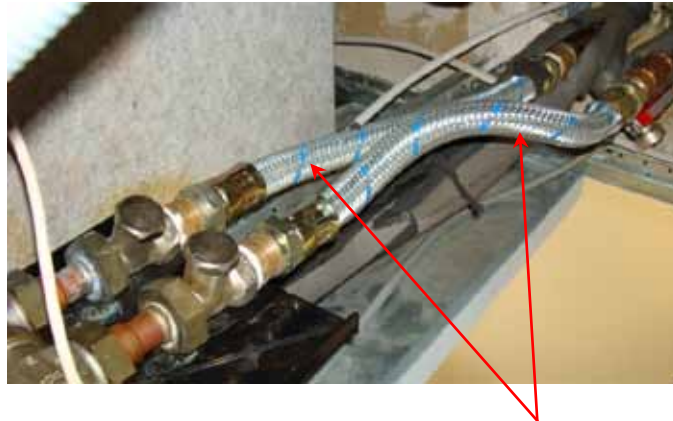


Der Schadensschlauch war ausgebaut, sichtbar der Parallelschlauch mit analoger Einbauweise



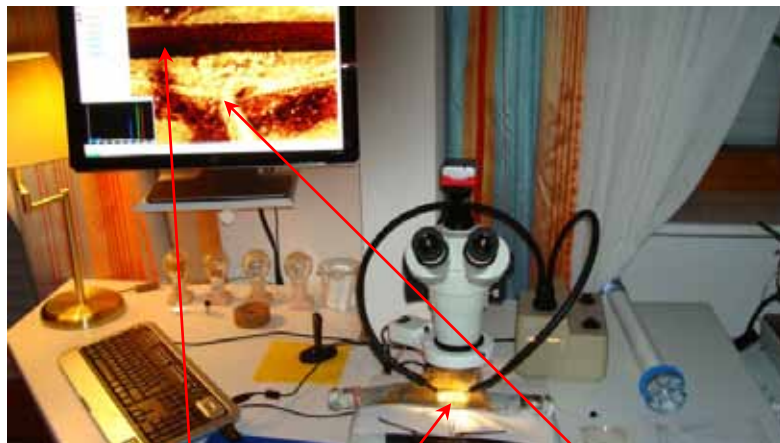
Einbausituation nach der erfolgten Sanierung durch Austausch gegen einen baugleichen Schlauch

Alle Schläuche waren frei ohne Kontakt zu scharfen Gegenständen eingebaut. Eine Verletzung des Schlauches von außen war auszuschließen.

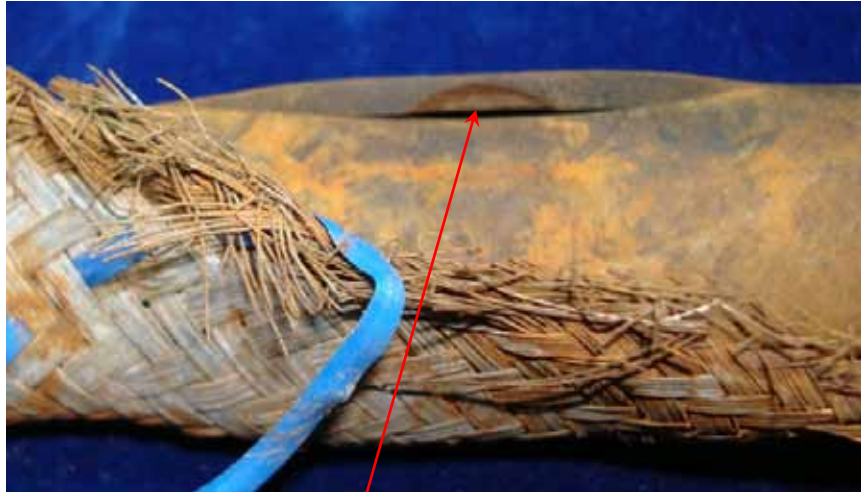


Sanierter Schadensbereich nach Austausch beider Schläuche (Vor- und Rücklauf)

#### 5. Mikroskopie des Rissbereiches



Schadensschlauch - Rissbereich – die Pinzette zeigt auf ein Initial-Loch am Risskernbereich



Rissbereich mit der Initial-Stelle, in der sich ein Gefüge-Lunker befand

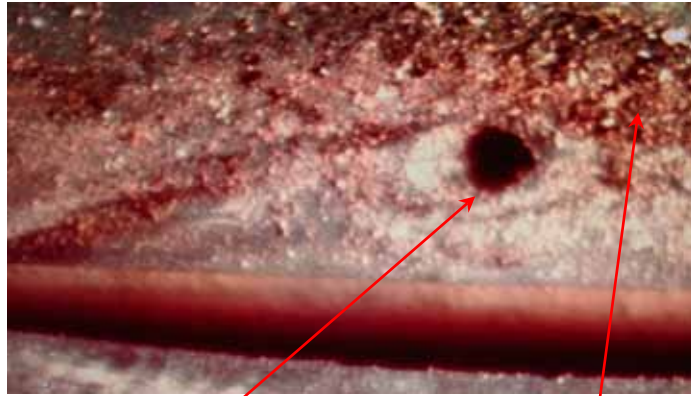


Flanke des Riss-Längsspalt  
Lunker im Kraterkern  
Kernbereich der Riss-Initialzone (Riss-Krater)

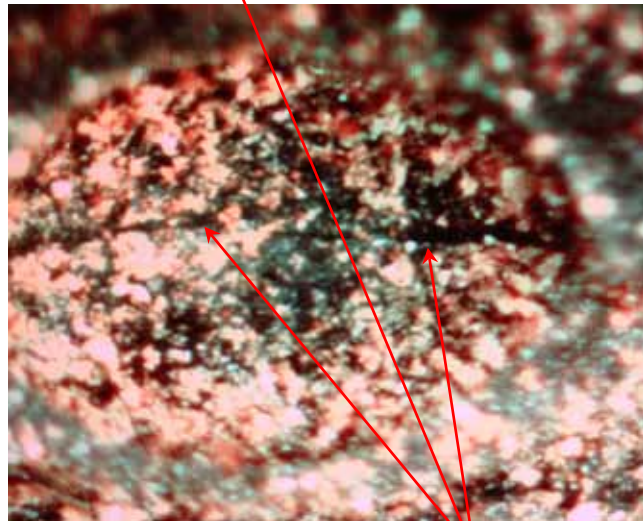
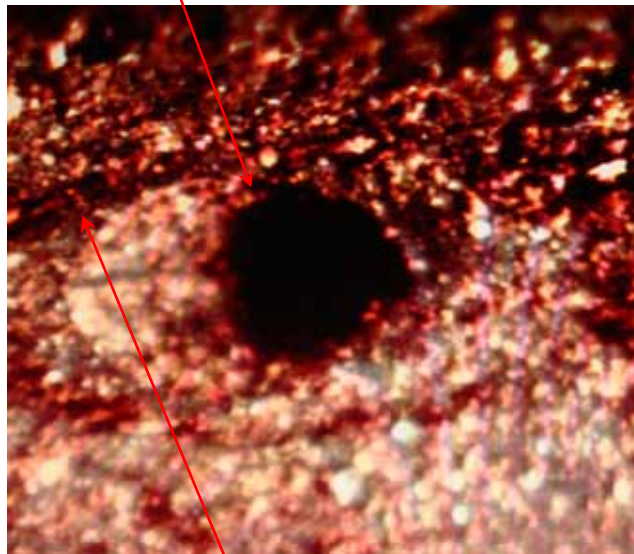


Lunker des Gummi-Gefüges im Riss-Kern



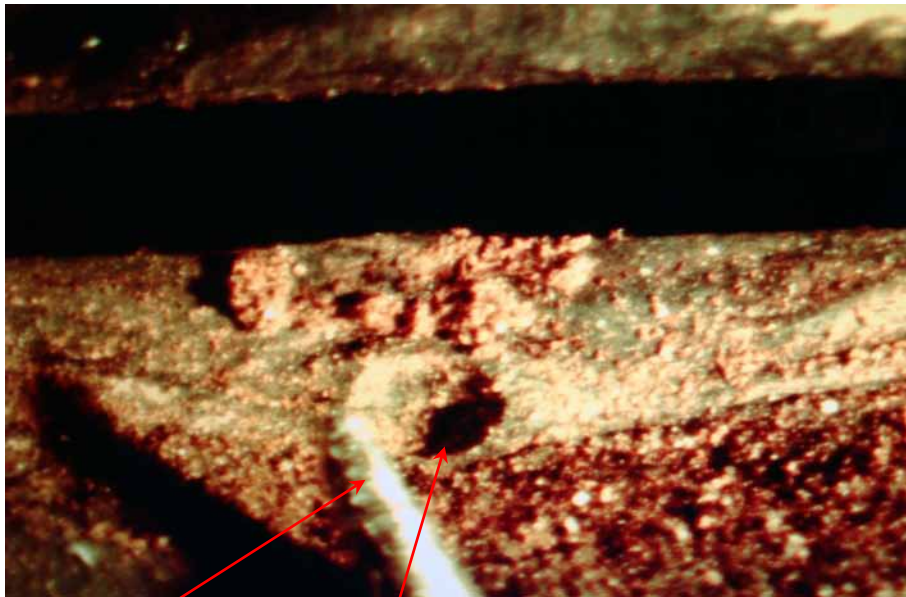


Gleicher Lunker - höhere Vergrößerung - Riss-Kraterrand



Gefüge am Lunkerboden mit Initial-Riss

Schadens-Kraterbereich  
Fehlerstelle im Gefüge



Die Pinzettenspitze weist auf die Lunkerstelle im Kernpunkt des initialen Rissbereiches

Schadensstelle von innen aus  
aufgenommen

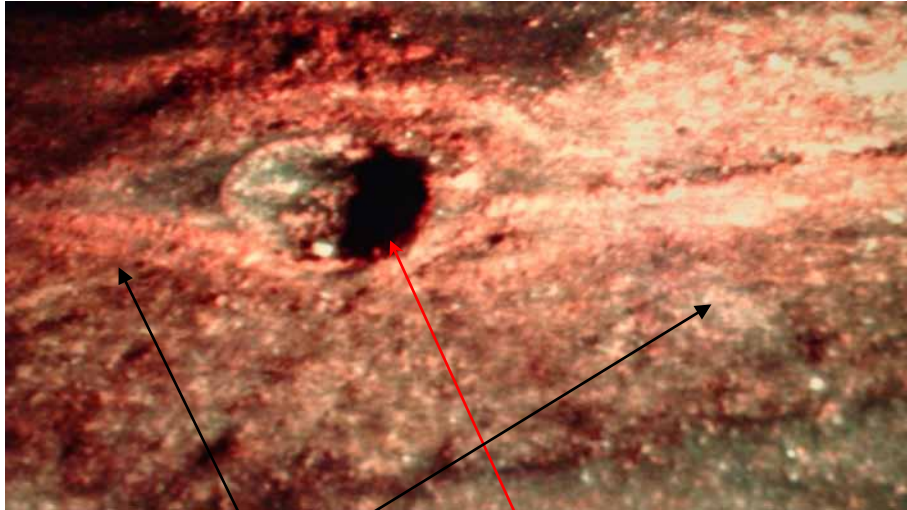


Rissflanke

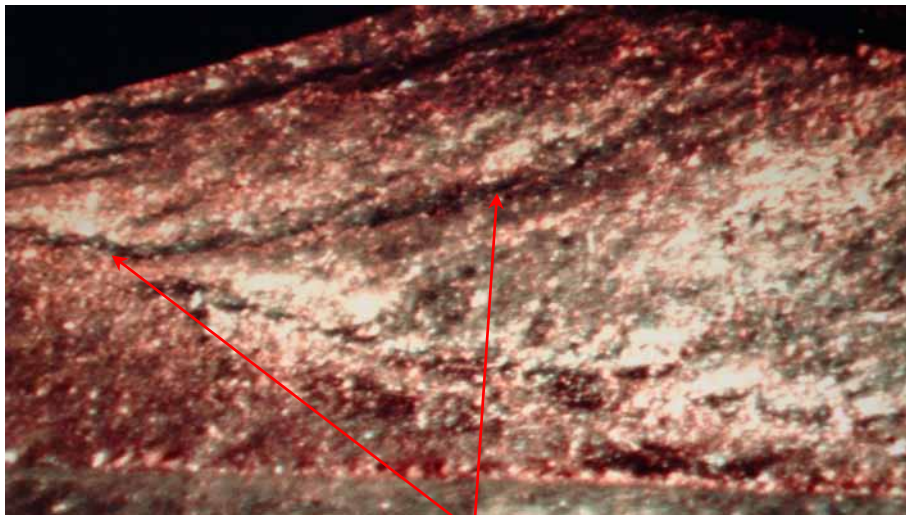
Material-Inhomogenitäts-Höcker - Kernlunker Risseinleitung



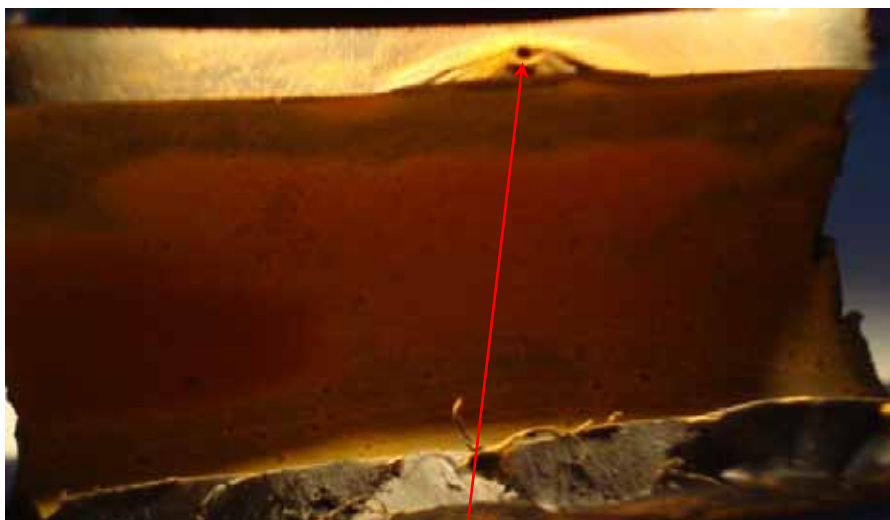
Nicht homogen verschmolzener Kautschuk – Agglomerat (Sinterzustand)



Material-Inhomogenitäts-Höcker - Kernlunker mit der Folge der Risseinleitung

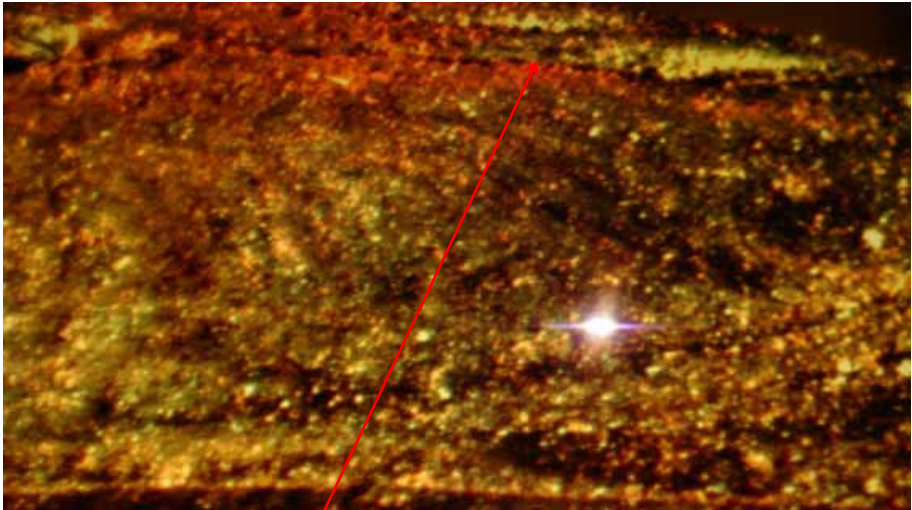


Agglomerat mit Rissen durchzogen

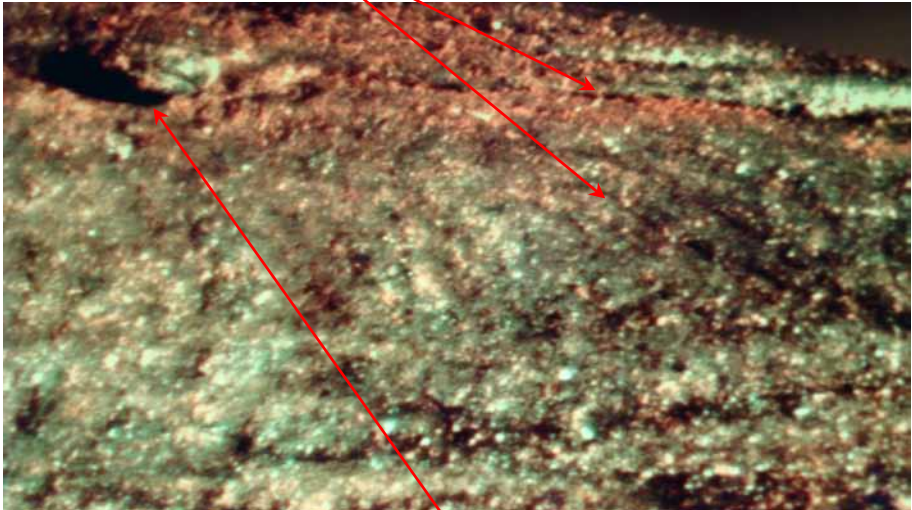


Kern-Lunker

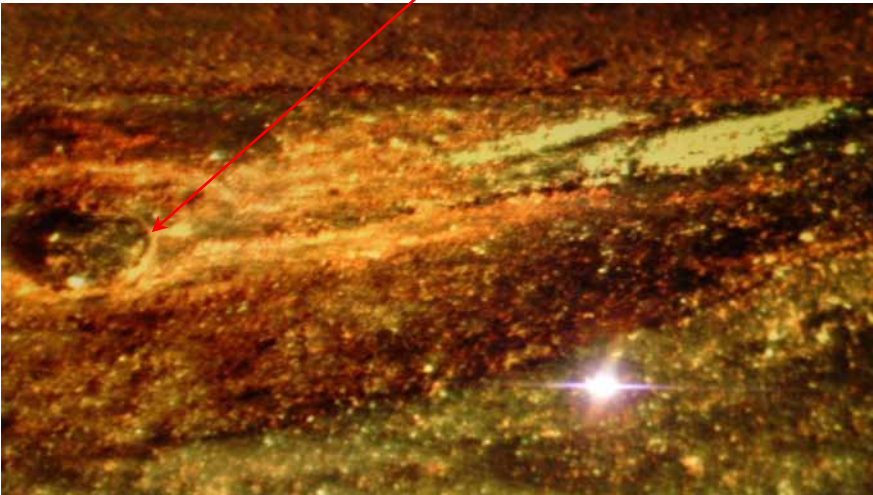




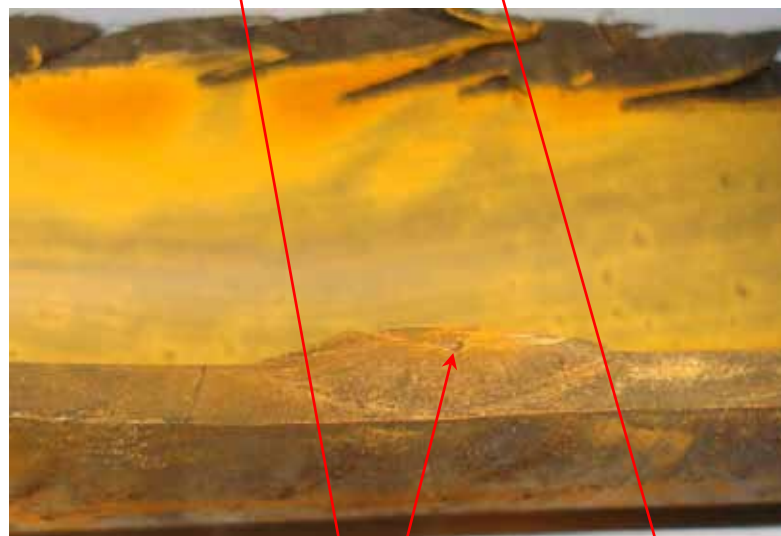
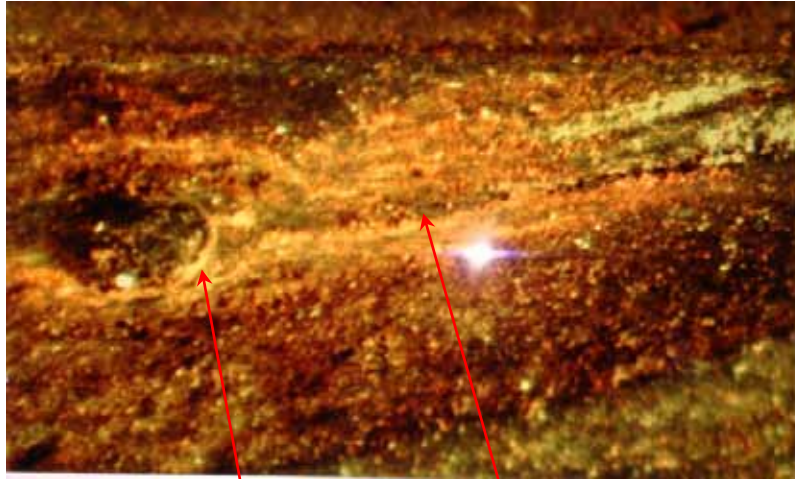
Risse im Agglomerat am Bruchkegel



Lunkerstelle



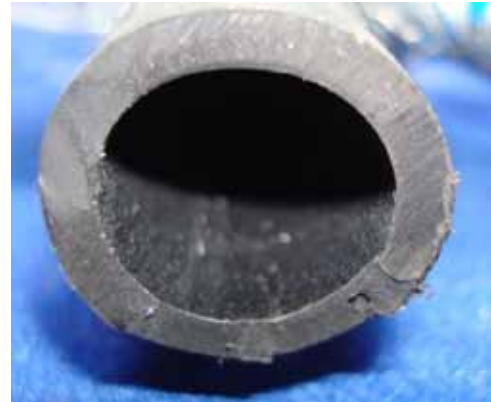
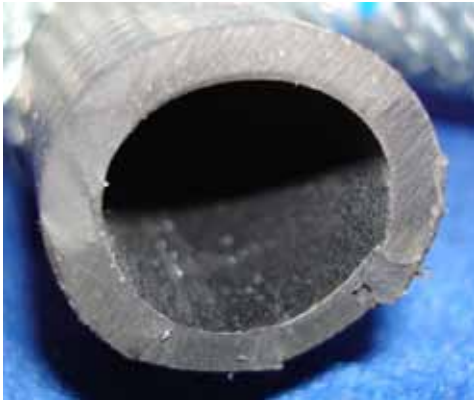




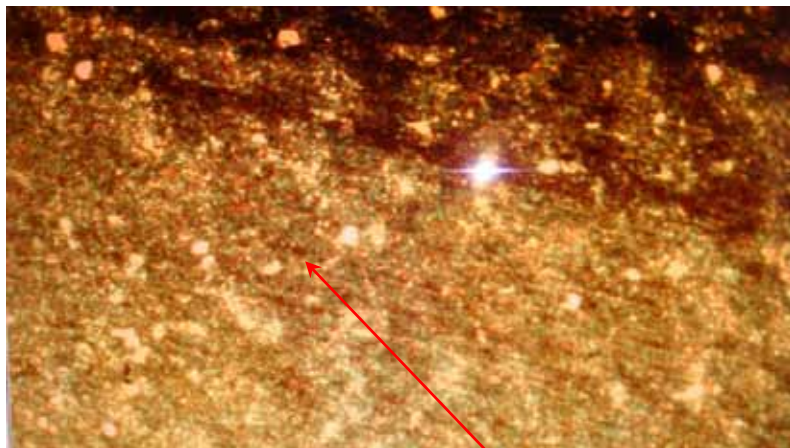
Original  
**Initialschadens-Lunker**  
Gleiche Stelle unter dem Mikroskop mit seitlichem Fortschritttriss



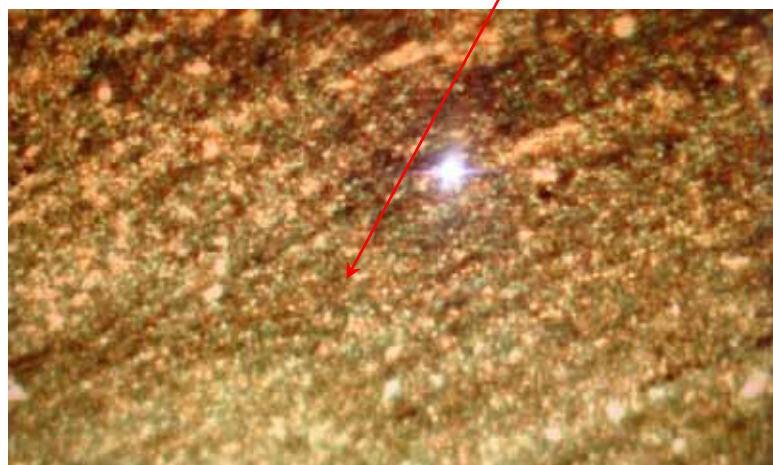
Gutmuster  
nachgereicht



Mikroskopie – Gefüge-Homogenität



Gutmuster-Schlauch – homogenes Materialgefüge



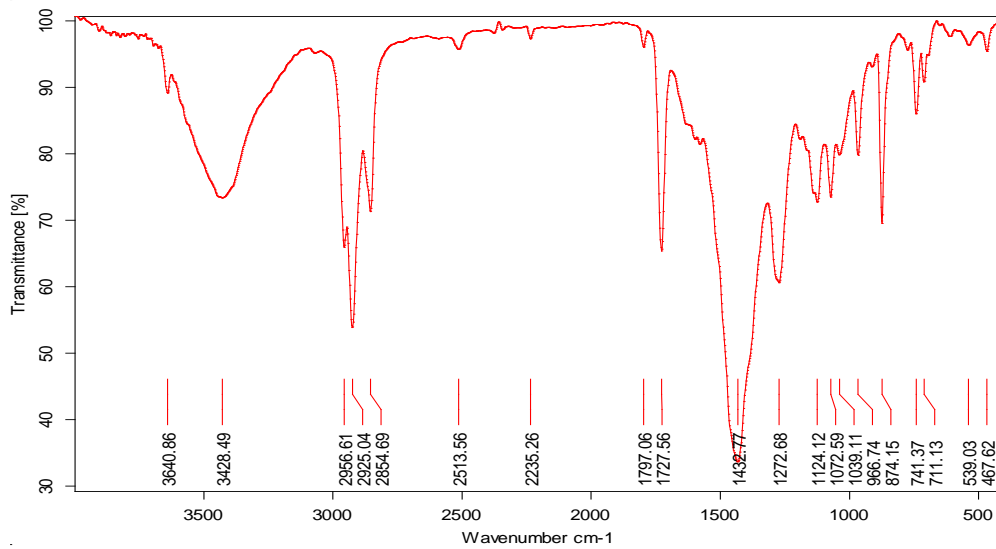
## 6. Material-Analytik

### 6.1 Infrarot-Spektroskopie FT-IR (mittleres IR)

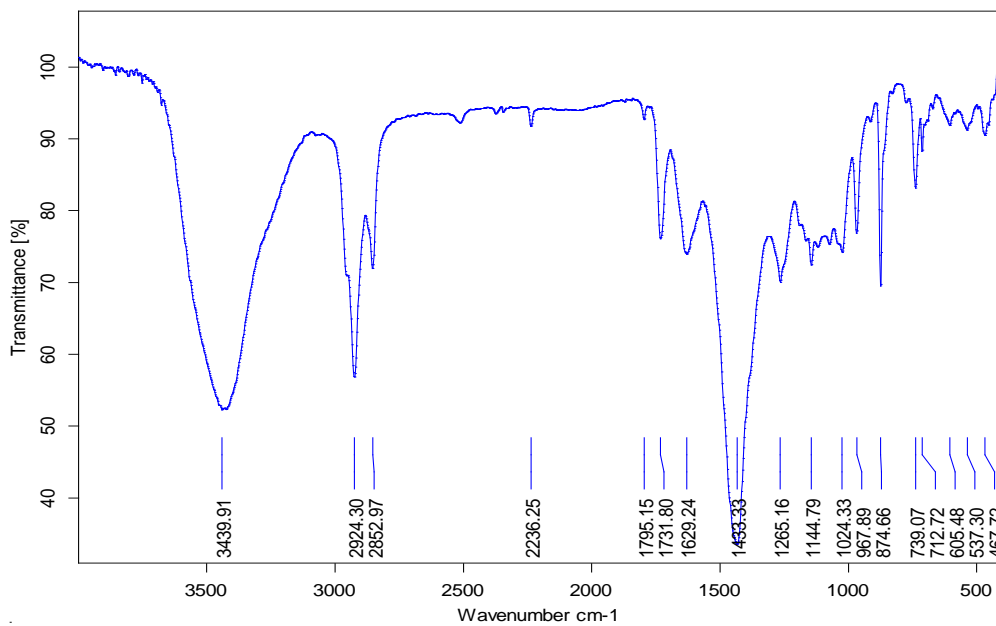
Beide Gummi-Schläuche



Referenz-Gutteil – KBr.-Presstechnik

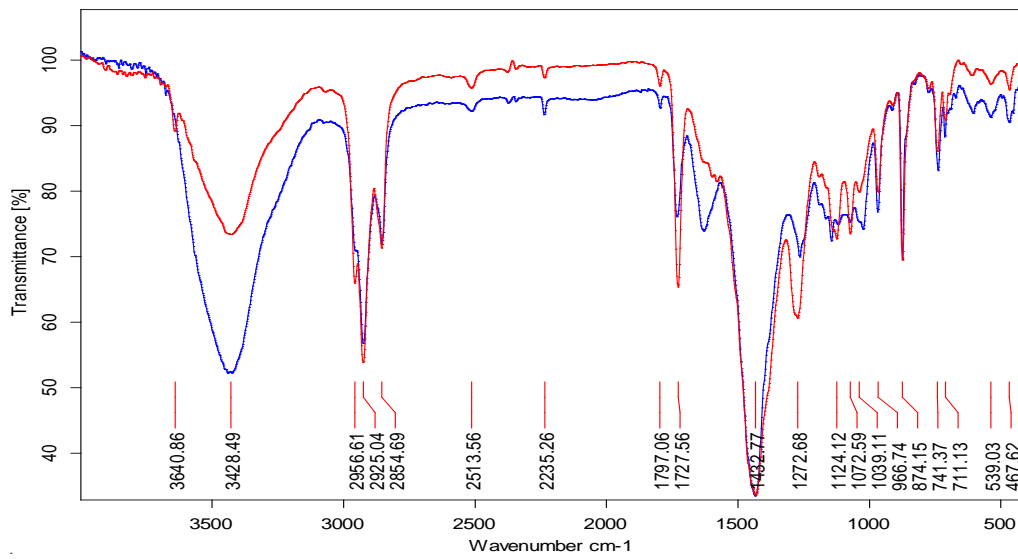


Schadensteil – KBr.-Presstechnik





Differenzen des Gutteil-Schlauches zum Schadensschlauch



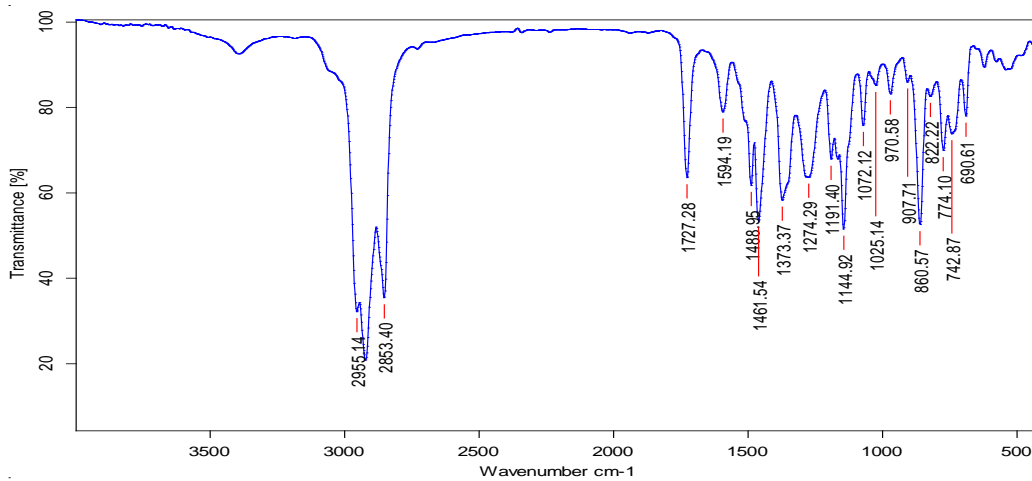
Gutteil (rotes Spektrum) und Schadensschlauch (blaues Spektrum)  
direkter Vergleich beider IR-Spektren. (Overlay)

Differenzen in der Additiv-Ausrüstung  
(Schadigungsmerkmale und Abbauprodukte)  
– THF-Extrakte

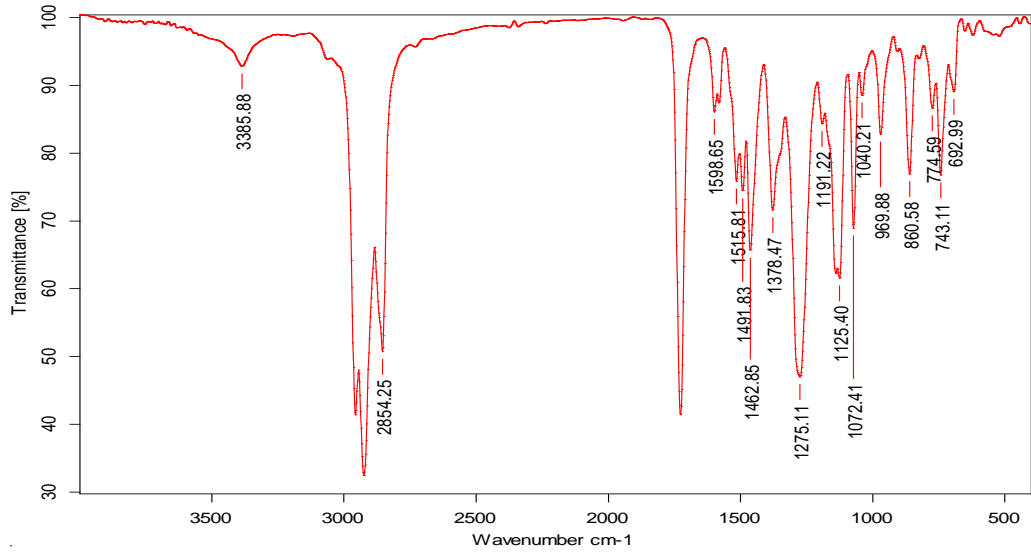


Extraktion der Rezeptur-Komponenten durch  
Elution (Herauslösen) mit THF (Tetra-Hydro-Furan)

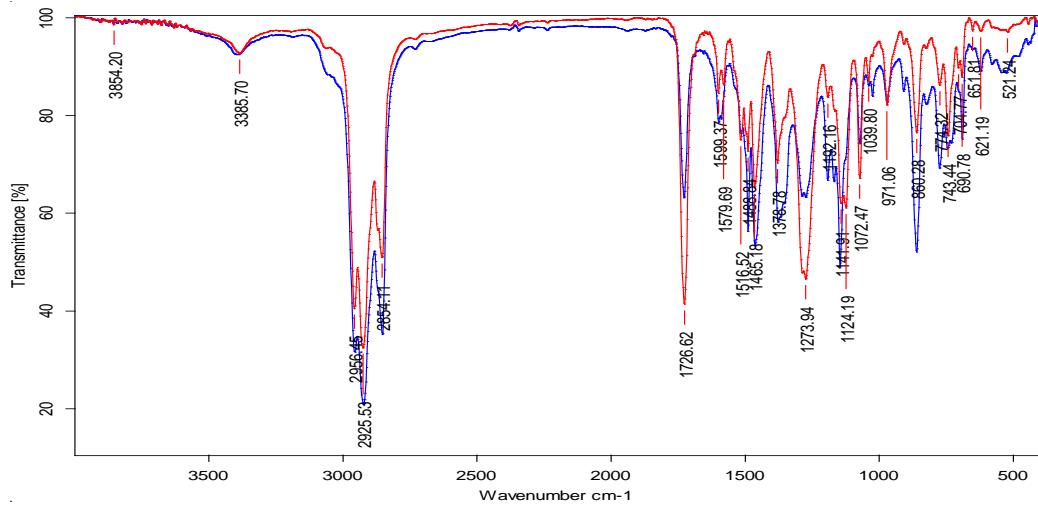
Schadensschlauch – IR-Spektrum des getrockneten Extraktes



Gutteil-Schlauch – IR-Spektrum des getrockneten Extraktes

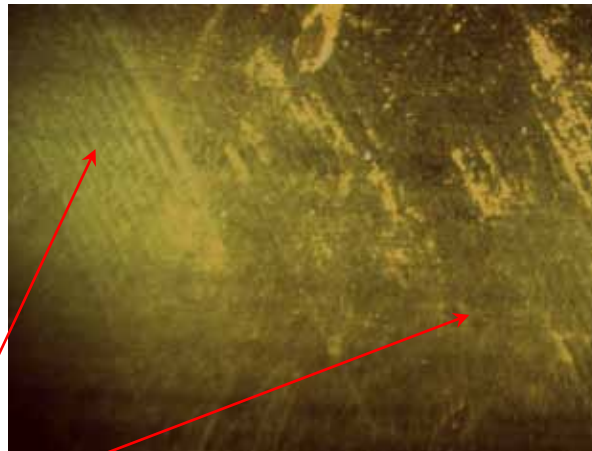


Differenzen des Gutteil-Schlauches zum Schadensschlauch



Gutteil (rotes Spektrum) und Schadensschlauch (blaues Spektrum)  
direkter Vergleich beider THF-Extrakt-IR-Spektren. (Overlay)

Identifikation Phthalsäure-Weichmacher und Gleitwachsanteile. Beide Schläuche weisen als gleich bewertbare Weichmacher-Anteile auf.



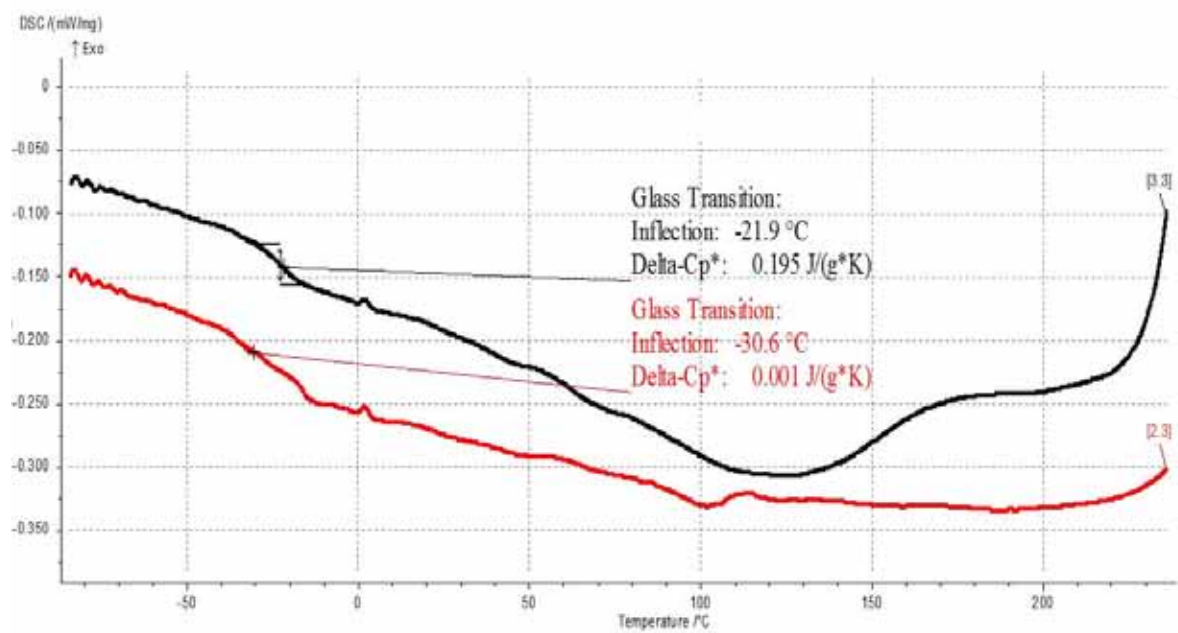
Riefen der Stahlgewebearmierung (wurde beseitigt) aber keine Oberflächenrisse, die auf oxidative Schädigung zurückzuführen wären wurden gefunden

Mikroskopische Untersuchung einer möglichen Trenn-Naht aufgrund der Werkzeughälften des Extrusionswerkzeuges

## 6.2 Differential-Thermo-Analyse - DSC



DSC- von beiden Gummis





### 6.3 Füllstoffgehalt – Glührückstand

Glührückstand - von beiden Gummis

Glührückstand nach DIN EN 60

625°C +/- 25°C , 4 Std.



	Schadens-Schlauch	Gut-Referenzschlauch
Proben-Einwaage	1,9277 g	2,0493 g
Rückwaage	0,3971 g	0,4254 g
Füllstoffgehalt (Glührückstand)	20,6%	20,7%

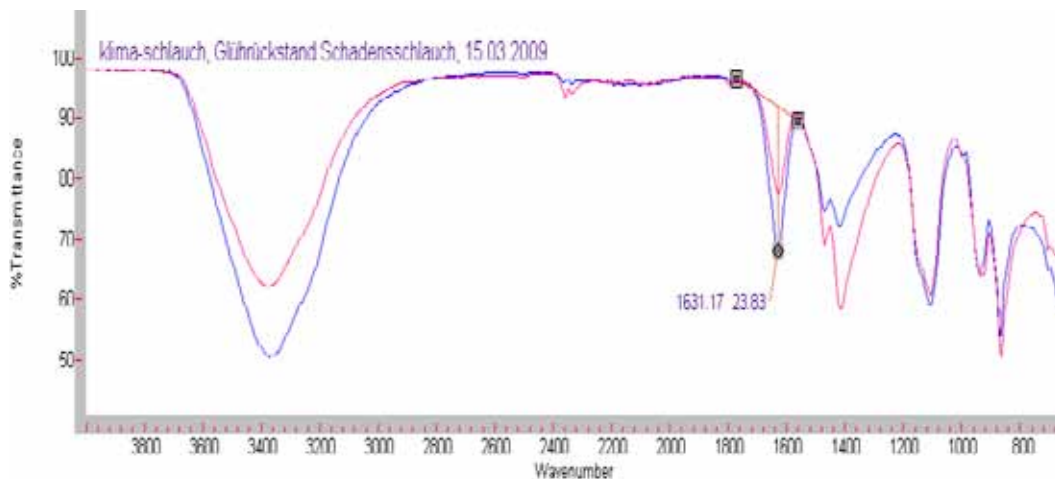


Glührückstand Schadensschlauch



Glührückstand Gut-Referenzschlauch

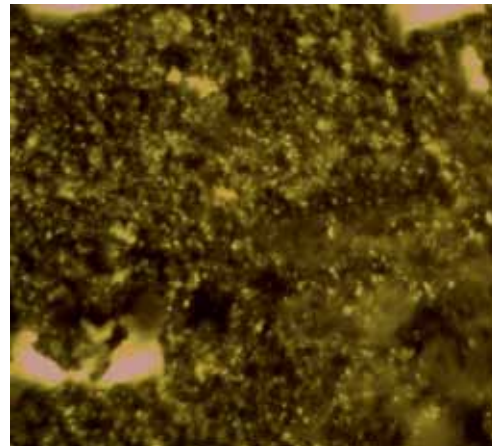
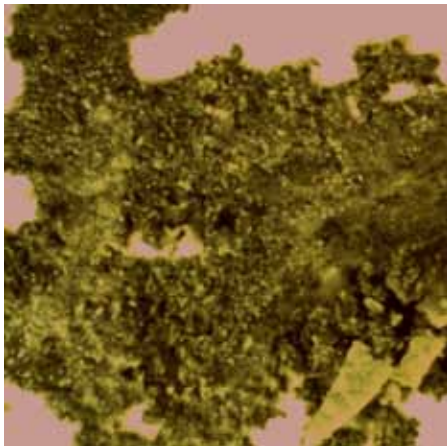
### IR-Spektren der Glührückstände



Glührückstand des Schadensschlauches **blaues IR-Spektrum**

Glührückstand des Gut-Referenzschlauches **rotes IR-Spektrum**

Beide Spektren differenzieren sich nicht signifikant, schadensweisend voneinander.



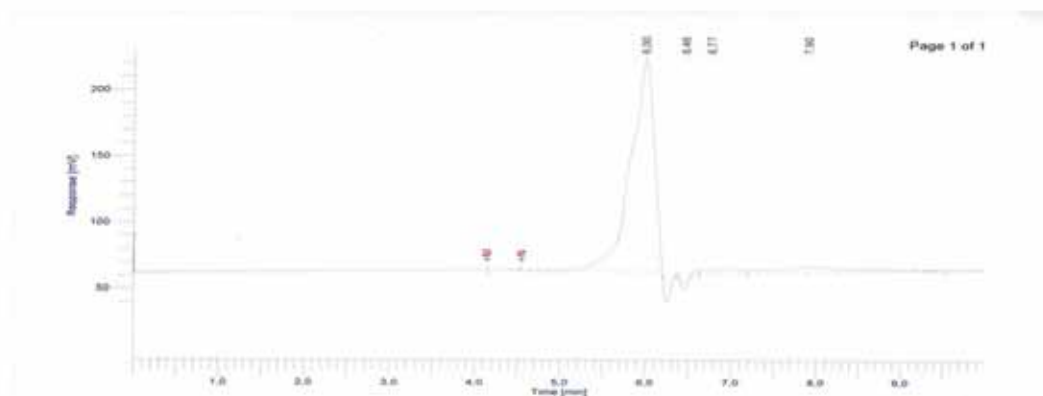
Glührückstand des Schadensschlauches

Glührückstand des Gut-Referenzmusters  
(Mikroskopie 10-fach)

#### 6.4 Gel-Permeations-Chromatografie – GPC

Überprüfung der herausgelösten, schadensweisenden Rezeptur-Komponenten

Materialuntersuchung auf Differenzen zwischen Schadensschlauch und Gut-Referenz



#### THF-Extrakte des Schadensschlauches

Area [µV*sec]	Name der Fraktion	Peakfläche [µV*sec]	Teil-Peakfläche [%]	Normierte Peakfläche [%]	Peakhöhe [µV]	Bemerkungen
3059952	1	3059952	94	94	158558	
98835	2	98835	3	3	-13825	
12001	3	12001	0	0	462	
82168	4	82168	3	3	2367	
3252957		3252957	100	100	147562	

GPC - Analyse - Trennung der extrahierten Rezeptur-Komponenten

THF-Extrakte des Schadensschlauches



THF-Extrakte des Gut-Referenzschlauches

Beide Extraktmengen und Rezeptur-Komponenten liegen im gleichen Mengen- und Verteilungsbereich. Schadensweisende Differenzen liegen nicht vor.

### 6.5 Wasser-Kontrolle

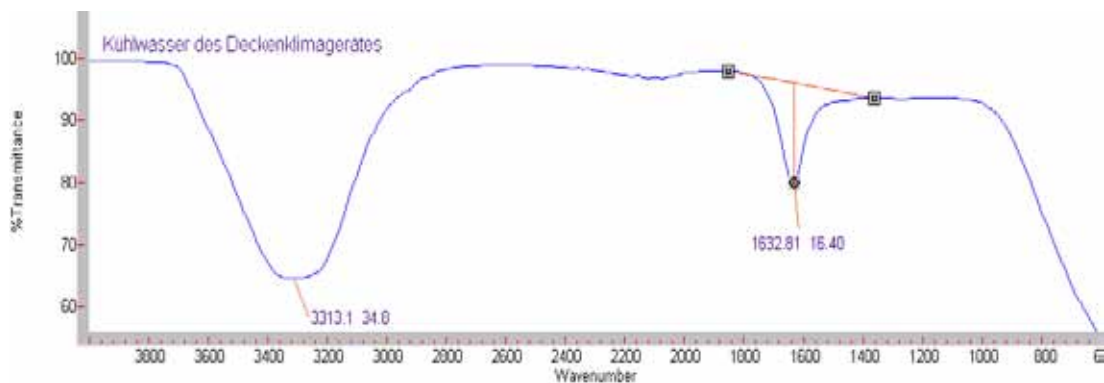
Das Kühlwasser wurde auf Komponenten untersucht, die geeignet sind, den Kautschuk zu schädigen, so dass daraus ein Versagensgrund abzuleiten wäre.

pH-Wert

Der Säure-Basengrad des Wassers wurde elektrometrisch bestimmt.

Ergebnis: pH = 6,4 nahe neutral

IR-der eingedampften Rückstände



Außer dem Spektrum des Wassers wurden keine weiteren Komponenten gefunden.



## 6.6 Äußere Oberflächen-Merkmale am Schadensschlauch



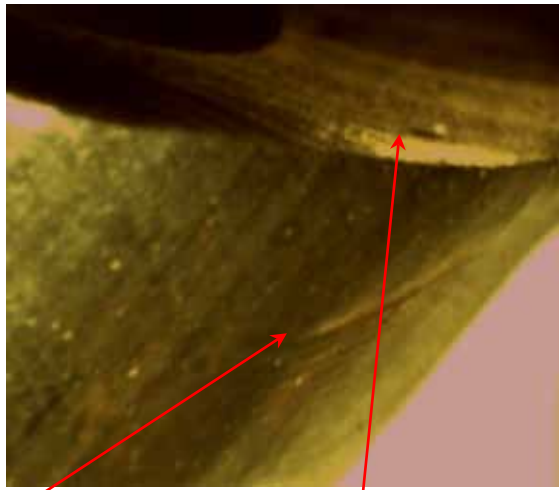
Oberfläche des Schadensschlauches im direkt an den Riss angrenzenden Bereich



Riefen des äußeren Stützgewebes – keine Fließnähte erkennbar



## 6.7 Kontrolle weiterer Oberflächen- und Querschnittsbereiche



Riefen auf der Oberfläche    Weiteres Loch-Fehlerstelle im Querschnitt



Weitere Fehlerfundstelle im Querschnitt (Loch)



Homogener aber poröser Querschnitt des Schadensschlauches

## 7. Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Begutachtung war die Schadensursache des geplatzten Deckenklimagerät-Zuleitungs-Schlauches zu belegen. Der Schlauch war während des Routinebetriebes geplatzt. Als potentielle Schadensursache galten die Montagesituation resp. Materialfehler im Schlauch. Am OT wurde die Einbausituation im Beisein aller Parteien besichtigt und Fotos genommen (Gutachten S. 2-3).

Es zeigte sich eine leichte Krümmung sowohl des zu dem Zeitpunkt bereits sanierten Zuleitungsschlauches wie auch dessen parallel verlaufenden Rückleitungsschlauches. Die Krümmung war nur leicht von der Geradlinigkeit abweichend. Eine Verdrehung resp. ein äußerer Montageschaden konnte an den verbauten beiden Schläuchen nicht erkannt werden. Der am OT übergebene Schadensschlauch war an der geplatzten Stelle derart deformiert, dass eine Montagebeeinflussung nicht mehr ableitbar war.

Im Weiteren wurde das Kühlwasser auf mögliche Zusätze (Frostschutz) infrarotspektroskopisch wie auch durch pH-Wert-Bestimmung (Säure- resp. Alkalistärke) untersucht. Es fanden sich keine Zusätze, die eine Beeinflussung des Gummimaterials begründen hätten können. Das Kühlwasser entfiel aus dem Bereich der Schadensverursacher resp. Schadensbeeinflussungs-Parameter. Im Folgenden wurden Materialuntersuchungen im Vergleich des Schadensschlauches zu dem nachgelieferten Referenzschlauch gleicher Bauart durchgeführt. Sowohl infrarotspektroskopisch wie auch thermoanalytisch fanden sich keine signifikanten Ansätze einer Differenz beider Schläuche, die eine Schadensweisung aufgezeigt hätten. Beide Schläuche zeigten sich analytisch als gleich. Zur Absicherung wurden vertiefende Analysen durchgeführt. Die enthaltenen Additiv-Komponenten (Weichmacher, Füllstoffe, Stabilisator-Zusätze) wurden durch Extraktion aus den Schläuchen herausgelöst, die Füllstoffgehalte waren anhand des Glührückstandes bei 625°C +/- 25°C gravimetrisch ermittelt. Die Extrakte als Additiv-Komplex wurden sowohl infrarotspektroskopisch wie auch durch Trennung mittels GPC (Gel-Permeations-Chromatografie) weiter untersucht. Es fand sich in beiden Schläuchen eine Hauptkomponente, die mit dem Weichmacherspektrum des Di-Is-octyl-Phthalat-Weichmachers (DOP) weitgehende Übereinstimmung bildete. Die herausgelösten Mengenanteile waren bei dem Schadensschlauch wie bei dem Gut-Referenz-Muster gleich und gaben sowohl in der Sache wie auch in den Mengenanteilen keinen signifikanten Schadenshinweis (Gutachten S. 11-17).

Die Schadenszone des geplatzten Schlauches wurde mikroskopisch bei unterschiedlichen Vergrößerungen untersucht. Dabei wurden die geringen Vergrößerungen der Stereo-Mikroskopie-Effekt genutzt, um das Umfeld des Riss-Initials herauszuarbeiten. Mit weiteren Vergrößerungsstufen bis 100-fach wurden die mikroskopischen Zonen derart herausgearbeitet, dass nachvollziehbar wurde, von welcher Initialstelle der Versagenszustand, damit die Risseinleitung bis in die Rissfortpflanzung in den Makrobereich (glatte seitliche Rissflanken) ersichtlich wurde.

Aus allem stellt sich das Schadensinitial derart dar, dass Blasen und Lunker im Gummiaufbau sowie Material-Agglomerationen an einigen Stellen Versagens-Punkte darstellten. Neben der an dem vorliegenden Schaden initiativ ursächlich zu setzenden Stelle des Loches mit dem Außenkrater im Mittelbereich des Längsrisses fanden sich weitere Material-Inhomogenitäten (Porosität) im Material. (Fotos der Schadensstellen Gutachten S. 4 bis 9 und S.19; Gutazonen des Referenzschlauches S. 10)

Zusammenfassend kann ein Montagefehler ausgeschlossen werden. Der Versagensgrund (Versagens-Initial) ist in Fehlerstellen und Inhomogenitäten des Gummimaterials gegeben. Betriebsförderdruck 5 bis 5,5 bar, max. zulässiger Druck statisch 15 bar, Prüfdruck 25 bar, Berstdruck 50 bar. Das Auftreten dieser kritischen Druckbereiche wurde durch den Betriebsdruck von 5 bar resp. einem Störfalldruck von 5,5 bar durch Überdrucksicherung ausgeschlossen

Der Schadenshergang ist daraus abzuleiten, dass bei dem Betriebsdruck von 5 bar (Störfalldruck 5,5 bar – durch Überdrucksicherung gesichert) der Schlauch normalerweise dem Betriebsdruck dauerhaft standhält. Die Fehlerstellen als Blasen, Lunken und Porositäten schwächen die Druck- und Berstdruckeigenschaften des Schlauches an Einzelstellen derart, dass trotz metallischem Stützgewebe die Freibereiche des Gummis versagen. Eine geborstene Initialstelle leitet den Versagensfall ein. Der Schadens- und Rissfortschritt findet sich als Folge davon in dem vergrößerten, glatten Rissbild der vorliegenden Rissflanken. Ausgangspunkt lag in dem nicht verschmolzenen Gummi-Agglomerat nicht homogen gemischtem Kautschuks sowie die Blasenstelle in seinem Kernbereich.

Zwar fand der Unterzeichner bei dem Referenzschlauch in den untersuchten Bereichen keine Lunken und Inhomogenitäten, aber es kann aus der damaligen Liefercharge als schlüssig gesetzt werden, dass noch weitere inhomogene, lunkenbehaftete Schläuche in dem seinerzeit verbauten Kontingent zu finden sind. Die im Schadensschlauch gefundenen Fehler sind Mischungs-Inhomogenität einer Materialcharge, die in einem Serienprodukt wie den extrudierten Schläuchen auch in weiteren, daraus hergestellten Teilstücken zu finden sind. Die Schläuche sollten wenigstens stichprobenartig entnommen, und auf Fehlerstellen untersucht werden. Die Entnahmen sind durch Neuschläuche zu ersetzen.

Die Montage nahm auf das Schadensgeschehen keinen Einfluss. Die Reststücke des Schadensschlauches stehen zu weiterem zur Verfügung.

R. Wagemann

