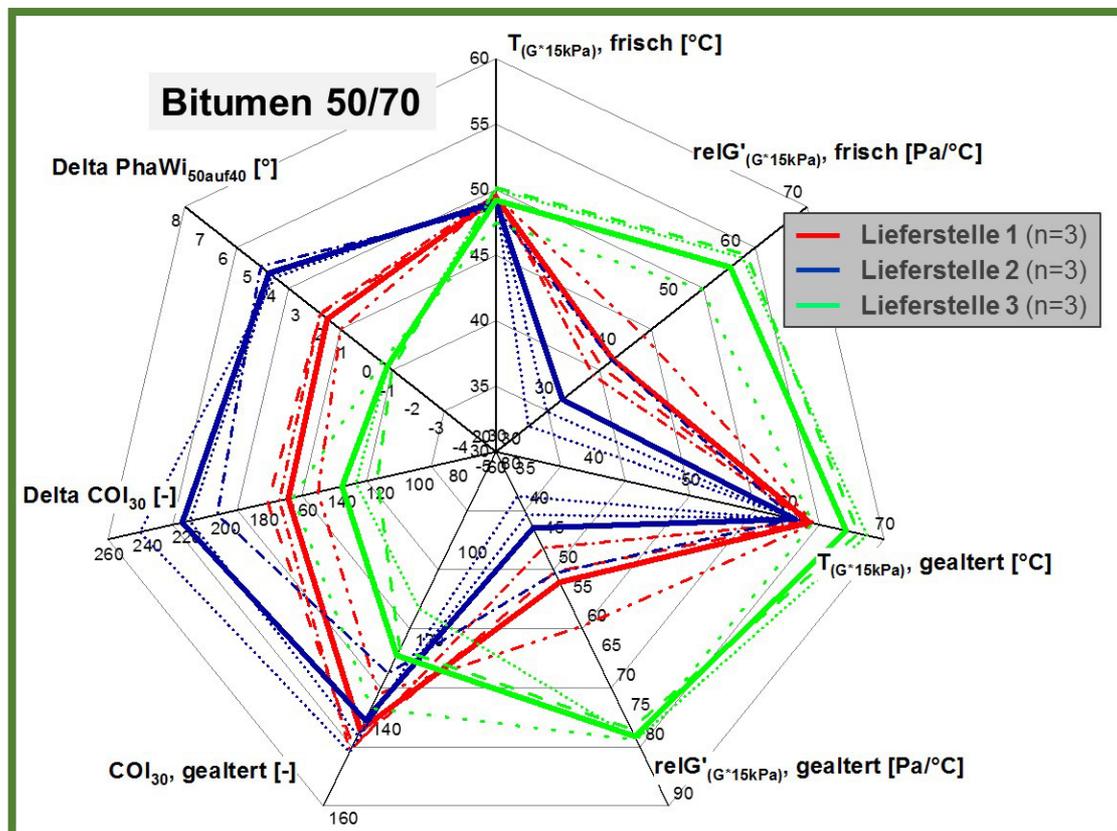


## Detektion der Identität bitumenhaltiger Bindemittel anhand einer Visualisierung in Netzdiagrammen



Bearbeiter: Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg  
 M.Sc. Daniela Breddemann

im Auftrag des Deutschen Asphalt Instituts (DAI), 2019



## Inhaltsübersicht

	Seite
<b>1. Einleitung und Zielsetzung</b>	4
<b>2. Stand der Erkenntnisse</b>	4
2.1 Bindemittelkennwerte aus konventionellen Prüfungen	4
2.2 Bindemittelkennwerte aus rheologischen Prüfungen	6
2.3 Visualisierung von komplexen Materialkennwerten	7
<b>3. Untersuchungsmethodik</b>	9
3.1 Allgemeine Hinweise zur Vorgehensweise	9
3.2 Probenauswahl und Probenbeschaffung	10
<b>4. Ergebnisse</b>	10
4.1 Laboralterungsverfahren	10
4.2 Einfacher Ansatz: Detektion mit Hilfe konventioneller Prüfergebnisse	15
4.3 Erweiterter Ansatz: Detektion mit Hilfe eines einfachen DSR-T-Sweeps	21
4.4 Komplexer Ansatz: Detektion mit Hilfe eines komplexeren T/F-Sweeps	30
<b>5. Empfehlungen und Zusammenfassung</b>	35
<b>Literatur</b>	40
<b>Anhang</b>	41

## 1. Einleitung und Zielsetzung

Durch das/die Rohöl/Rohöle, die Produktionsart/-stätte und die Behandlung bis zur Verwendung können bitumenhaltige Bindemittel gleicher Sorte Unterschiede in ihren Materialkennwerten aufweisen. Hinzu kommen zunehmend komplexere Modifizierungen mit Polymeren oder anderen Stoffen (z.B. Wachsen oder Haftverbesserer), deren Nachweis (qualitativ und quantitativ) nicht oder nur mit sehr aufwendigen Prüfverfahren möglich ist.

Zur Sicherstellung möglichst gleichmäßiger Performance-Eigenschaften der Asphalte hat eine Asphaltmischanlage ein großes Interesse an Bindemittelanlieferungen mit möglichst konstanten Materialkennwerten, insbesondere, wenn durch komplexe Modifikationen besondere Eigenschaften erreicht werden sollen. Mit einfachen Prüfverfahren (Erweichungspunkt Ring und Kugel oder Nadelpenetration) alleine ist eine Wareneingangskontrolle als u.U. fraglich einzustufen. Mit komplexen Untersuchungsmethoden, ggf. einschließlich chemischer Analysen ist dies zwar möglich, aber vom Untersuchungsaufwand sicherlich ungeeignet für eine schnelle Überprüfung der Bindemittelseigenschaften. Die rheologische Charakterisierung von bitumenhaltigen Bindemitteln mit Untersuchungen im DSR liefern nach bisherigem Kenntnisstand umfassendere Materialbeschreibungen, die möglicherweise einen vom Aufwand her noch vertretbaren Ansatz zur Qualitätssicherung bieten.

Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen haben zum Ziel, die Identität (Provenienz/Raffinerie/Bitumensorte) bitumenhaltiger Bindemittel eindeutig zu detektieren und die dazu geeigneten Prüfergebnisse so zu visualisieren, dass eine sichere regelmäßige Qualitätsüberwachung ermöglicht wird. Demzufolge muss der Aufwand (insbesondere zeitlich) so gering wie möglich gehalten werden.

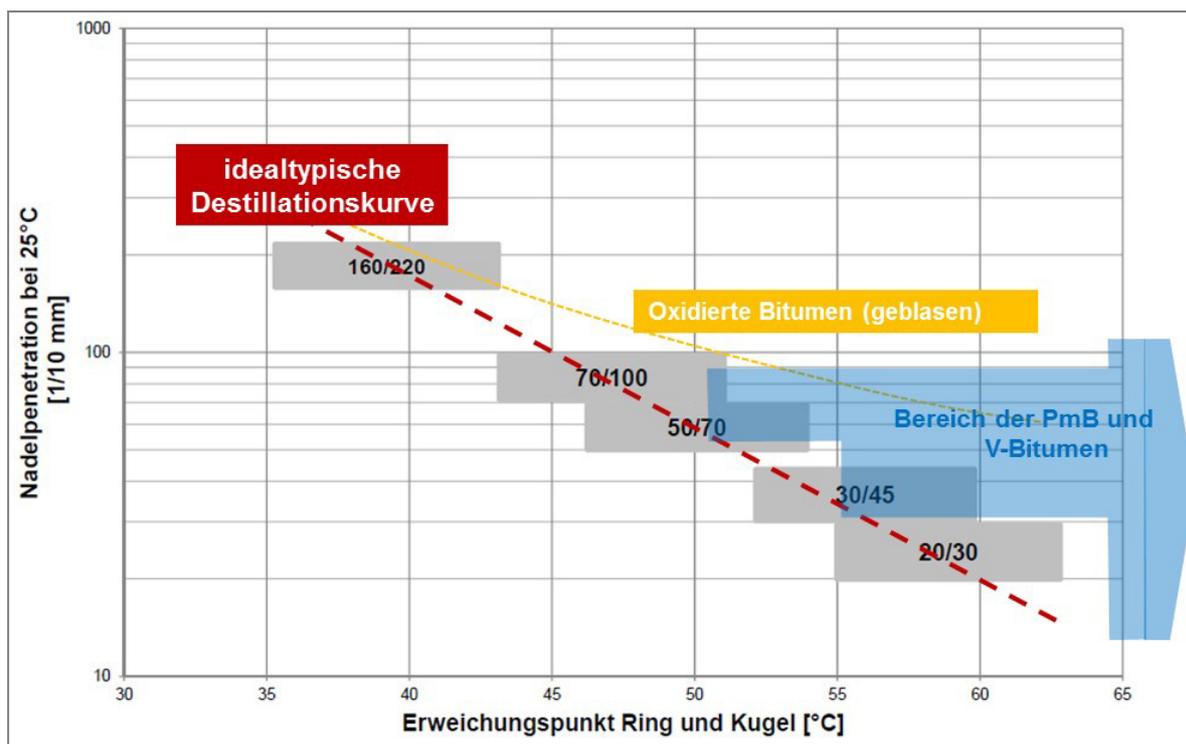
## 2. Stand der Erkenntnisse

### 2.1 Bindemittelkennwerte aus konventionellen Prüfungen

Die Anforderungen an Straßenbaubitumen und gebrauchsfertigen Polymermodifizierten Bitumen, die zur Herstellung von Asphalt verwendet werden, sind in den TL Bitumen-StB 07/13 festgelegt. Hierzu muss der Hersteller (Raffineriebetreiber oder Produzent) mit einer Erstprüfung die entsprechenden Anforderungen nachweisen. Für die Erstprüfung sind die in den Tabellen 1 bis 3 der TL Bitumen-StB 07/13 aufgeführten Bindemittelkenndaten (mit Ausnahme der Parameter zur Erfahrungssammlung) zu ermitteln. Die Untersuchungen sind zu wiederholen, wenn sich die Produktionsbedingungen (Anlage, Verfahren, Rohstoffe) verändern oder die Gültigkeitsdauer (5 Jahre) überschritten ist. Darüber hinaus muss der Hersteller eine regelmäßige Produktionskontrolle durchführen, mit der eine Einhaltung der Anforderungen sichergestellt wird. Mit diesen Untersuchungen werden einfache (konventionelle) Bindemittelkenndaten und auch rheologische Eigenschaften dokumentiert.

Im nächsten Element der Lieferkette steht die Wareneingangskontrolle an einer Asphaltmischanlage. Bis zur Einführung des ARS Nr. 11/2012 [1] und der nachfolgenden Ergänzungen der TL Bitumen-StB 07/13 [2], der TL Asphalt-StB 07/13 [3] und der ZTV Asphalt-StB 07/13 [4] wurden dort überwiegend nur der Erweichungspunkt Ring und Kugel [5] bestimmt. Mit den Erweiterungen des Prüfumfanges an den Asphaltmischanlagen sind weitere konventionelle und auch rheologische Prüfungen zusätzlich durchzuführen. Bezüglich der konventionellen Bindemittelkenndaten stehen somit seit 2013 der Erweichungspunkt Ring und Kugel und die Nadelpenetration [6] jeweils im frischen Zustand, nach RTFOT-Alterung [7] und nach RTFOT+PAV-Alterung [8] als regelmäßige Qualitätsüberwachung an den Asphaltmischanlagen zur Verfügung.

Bei einer Betrachtung des Erweichungspunktes Ring und Kugel in Abhängigkeit zur Nadelpenetration im halblogarithmischen Maßstab wird erkennbar, dass Straßenbaubitumen bei rein destillativer Konzeption mit zunehmender Bindemittelhärte oft einen geradlinigen Zusammenhang zeigen (siehe Abbildung 1)



**Abbildung 1:** Zusammenhang zwischen EP RuK und Nadelpenetration von Straßenbaubitumen

Folglich orientieren sich die Sortenspezifikationen der Straßenbaubitumen (EP RuK und Nadelpenetration) nach den TL Bitumen-StB 07/13 für diese beiden Prüfparameter entlang einer „Destillationskurve“. Weiter ist bekannt, dass bei einer künstlichen Oxidierung eines Bitumens (Anblasen) diese „Destillationskurve“ verlassen wird. Inwieweit sich solche Produktionsbedingungen oder Bitumenveränderungen infolge von Laboralterungen mit den regelmäßigen Prüfungen zur Qualitätsüberwachung an

den Asphaltmischanlagen erkennen lassen, wird mit exemplarischen Auswertungen solcher Ergebnisse in Kapitel 4.1 überprüft. Allerdings kann eine Modifikation des Bitumens (durch Polymere oder Wachse) auch eine mit der künstlichen Oxidation vergleichbaren Verschiebung bewirken (siehe Abbildung 1). Dies ist bei einer Bewertung von Untersuchungsergebnissen (Alterung ↔ Modifikation) zu berücksichtigen.

## 2.2 Bindemittelkennwerte aus rheologischen Prüfungen

Wie bereits in Kapitel 2.1 erwähnt, werden mit den Erweiterungen des Prüfumfanges aufgrund des ARS Nr. 11/2012 von den Betreibern der Asphaltmischanlagen auch rheologische Untersuchungen an den angelieferten Bindemitteln durchgeführt. So werden zum Beispiel Untersuchungen mit dem DSR bei Prüftemperaturen von 30 bis 90 °C [9, 10] durchgeführt, mit denen sich offensichtlich eine gute Zuordnung der Bindemittelarten und -sorten vornehmen lässt (siehe Tabelle 1) [11].

**Tabelle 1:** Vorschläge zur weitergehenden Klassifikation der Bindemittel mit dem DSR [11]

Bindemittel	T bei G* = 15.000 Pa		Phasenwinkel bei G* = 15.000 Pa		Phasenwinkel bei G* = 1.000 Pa	
	min T [°C]	max T [°C]	min δ [°]	max δ [°]	min δ [°]	max δ [°]
30/45	52	58	76	86	85	89
50/70	47	53	76	86	85	89
70/100	42	48	77	86	85	89
160/220	35	41	77	86	85	89
45/80-50 A	48	52	70	74	74	84
25/55-55 A	48	62	62	78	71	86
10/40-65 A	56	68	62	78	73	81
40/100-65 A	48	58	60	72	67	80

Inwieweit die Betrachtung von Bindemittelproben von nur einem Produktionsstandort eine Eingrenzung dieser Spannen ermöglicht, ist zu hinterfragen. Die in der Tabelle 1 vorgeschlagenen Klassifikationsspannen beziehen sich auf Bindemittel im frischen Zustand. Von hohem Interesse sind zudem die durch Alterung verursachten Veränderungen dieser Kennwerte. Dies soll ein wesentlicher Betrachtungsaspekt der hier vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit sein.

## 2.3 Visualisierung von komplexen Materialkennwerten

Die häufigste Form wissenschaftlich basierte Prüfergebnisse und deren Zusammenhänge zu visualisieren ist eine zweiachsige Darstellung (x-y-Diagramm). Liegen mehr als zwei Kennwerte vor, so werden zumeist mehrere zweiachsige Darstellungen verwendet. Bei drei auszuwertenden Kennwerten werden gelegentlich auch räumliche Darstellungen (x-y-z-Diagramme) verwendet. Liegen mehr als drei Kennwerte vor, dann können sogenannte Netzdiagramme verwendet werden, um die Gesamtheit aller Ergebnisse in einer Abbildung darzustellen. Allerdings kann hierbei die Differenzierbarkeit einzelner Kennwerte leiden. Vorteilhaft ist bei dieser Darstellung die Visualisierung komplexer Zusammenhänge zur Identifikation besonderer „Muster“ (Fingerprint).

Bitumenhaltige Bindemittel zur Herstellung von Asphalt haben aufgrund der vielfältigen Nutzungsrandbedingungen (z.B. Temperaturschwankungen) komplexe Anforderungen zu erfüllen. Im Bereich von tiefen Temperaturen müssen hinreichende viskose Dehnbarkeiten vorliegen, um eine Rissbildung zu vermeiden. Bei hohen Gebrauchstemperaturen darf dieser viskose Dehnungsanteil nicht zu hoch sein, da ansonsten bleibende Verformungen entstehen. Mit dem Fokus auf das Tieftemperaturverhalten müssen die Veränderungen der rheologischen Eigenschaften infolge Alterung moderat bleiben. Nicht zuletzt und auch durch die Bezeichnung (Bindemittel) dokumentiert, muss eine ausreichende und dauerhafte Klebkraft (Adhäsion) zwischen bitumenhaltigem Bindemittel und Gesteinsoberfläche vorliegen.

Diese komplexen Gebrauchseigenschaften im Blick, haben van Gooswilligen, et al. und Höppel [12, 13] ein sogenanntes Qualagon (Qualität – Nonagon) entwickelt, mit dem eine visualisierte Bewertung der Qualität eines Straßenbaubitumens in Form eines Netzdiagramms vorgestellt wurde (siehe Abbildung 2).

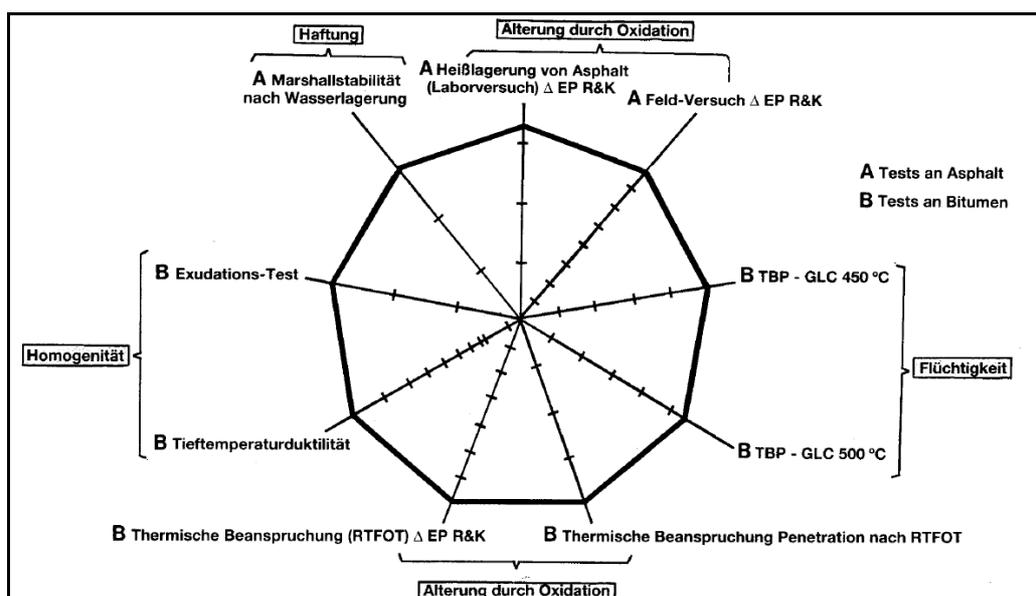
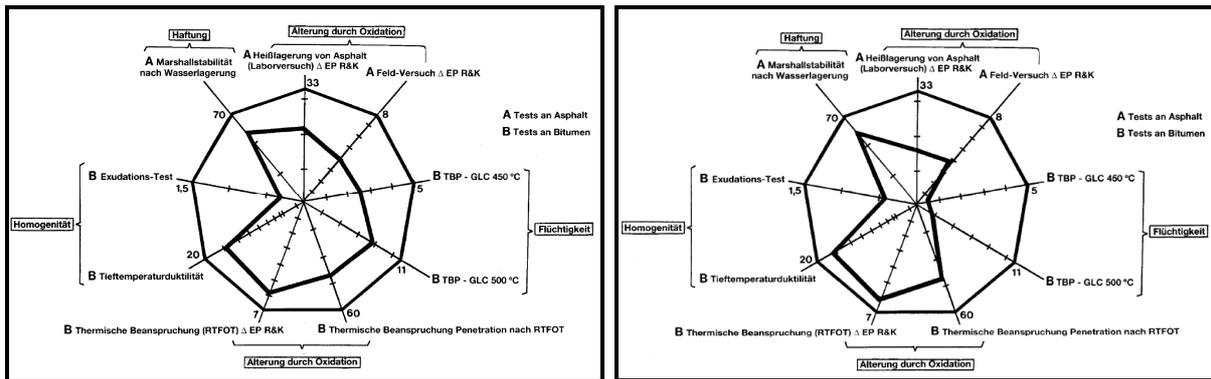


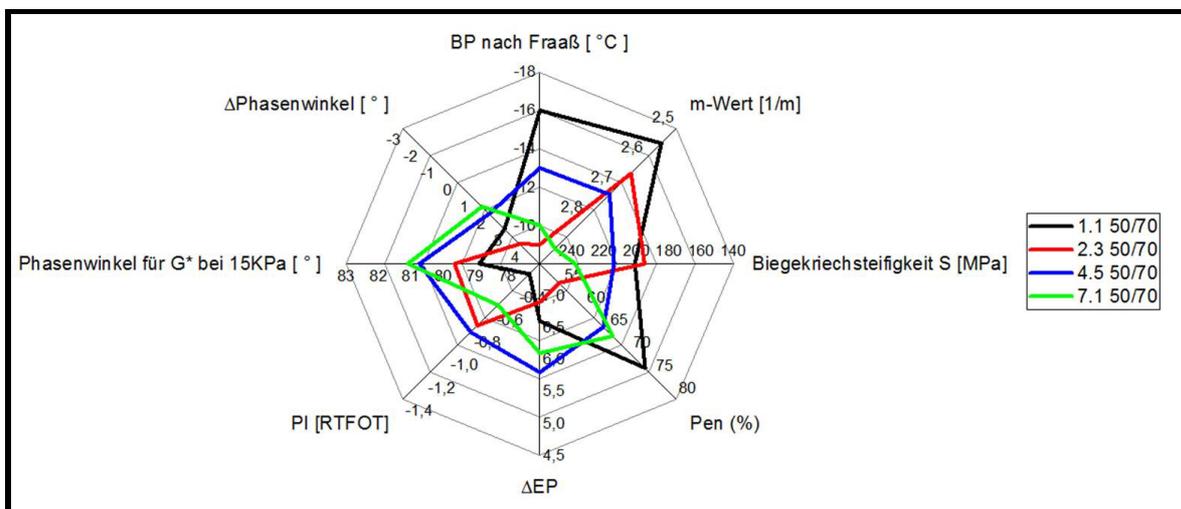
Abbildung 2: Qualagons zur Qualitätssicherung von Straßenbaubitumen [12]



**Abbildung 3:** Bitumen aus venezolanischem Rohöl (links) und Mittelost-Rohöl (rechts) [13]

Diese Art der Darstellung war u.a. dazu geeignet, Bitumen aus unterschiedlichen Provenienzen zu unterscheiden. Mit dem Qualagon wurden Bindemittel- und Asphalteigenschaften dargestellt, was sicherlich wünschenswert ist, aber auch mit hohem Prüfaufwand verbunden ist.

Um die Brauchbarkeit der Grundidee – Visualisierung komplexer Bindemittelkennwerte in Netzdiagrammen – zu überprüfen, wurden im ersten Schritt Prüfergebnisse aus einem Forschungsprojekt in Netzdiagrammen dargestellt [14]. Für dieses AiF-Forschungsprojekt (IGF 16639N) [15] wurden insgesamt 90 Bitumenproben der Sorten 20/30, 30/45, 50/70, 70/100 und 160/220 verteilt auf acht deutsche Raffinerien und zum Teil über zwei Produktionsjahre beschafft und sehr umfassend untersucht. Den Schwerpunkt der Proben bildete das Bitumen der Sorte 50/70. Für diese im Nachgang zum Projekt vorgenommene Auswertung (im Rahmen einer Bachelorarbeit [14]) wurden die Bitumen 50/70 von den Raffinerien näher betrachtet, von denen mindestens 3 Probenahmen vorlagen. Mit einer ersten Auswahl an Materialkennwerten wurden für diese Proben Netzdiagramme erstellt, mit denen die grundsätzliche Möglichkeit der Detektion der Identität der Bindemittel aufgezeigt werden konnte (siehe Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Visualisierung der Materialkennwerte von Bitumen 50/70 aus vier unterschiedlichen Raffinerien (Mittelwerte unterschiedlicher Probenahmen) [14]

Die Vielfalt der hier aufgeführten Prüfparameter und der damit verbundene zeitliche und finanzielle Aufwand eignen sich allerdings nicht für eine Routineprüfung zur regelmäßigen Qualitätsüberwachung an einer Asphaltmischanlage. Die Visualisierung in Netzdiagrammen mit vorgegebenen Achsenskalierungen und Wertebereichen für bestimmte Bindemittelanlieferungen würde aber eine sehr interessante Hilfe bei der Qualitätsüberwachung darstellen, wenn geeignete Bindemittelkennwerte eine hinreichende Differenzierung zulassen. Hierin liegt der zentrale Auswerteanatz der in diesem Projekt ermittelten Prüfergebnisse.

Für die Auswertung zur Visualisierung der Prüfergebnisse wurde das Software-Programm **OriginLab Pro** verwendet. Hiermit können unterschiedliche Achsanzahlen als Netzdiagramm und gleichzeitig jede einzelne Achse mit einer individuellen Skalierung versehen werden.

### 3. Untersuchungsmethodik

#### 3.1 Allgemeine Hinweise zur Vorgehensweise

Das angestrebte Ziel sollte durch ein dreistufiges Untersuchungsprogramm erreicht werden. Mit dem **Einfachen Ansatz** (Detektion mit Hilfe konventioneller Prüfergebnisse) wurde die Möglichkeit einer hinreichenden Charakterisierung anhand der beiden Bindemittelkennwerte Erweichungspunkt Ring und Kugel und Nadelpenetration überprüft. Mit einer ersten Überprüfung dieser Methodik wurden Daten ausgewertet, die die Mitglieder des DAV im Rahmen der Datensammlung gemäß ARS Nr. 11/2012 ermittelt haben. Aus diesen speziellen Daten ließ sich zudem die Herkunft der Bindemittel (Raffinerie) oder ein Rohölwechsel ableiten. Es wurden Bindemittelkennwerte im frischen Zustand, nach RTFOT-Alterung und nach RTFOT+PAV-Alterung betrachtet. Diese durchaus Erfolg versprechenden Auswertungen von vorhandenen Prüfergebnissen sind im Kapitel 4.1 zu finden. Vor diesem Hintergrund wurde entschieden, alle für dieses Projekt beschafften Bindemittelproben auch mit dem Einfachen Ansatz zu untersuchen.

Mit dem **Erweiterten Ansatz** werden die Bindemittel im DSR mit einem konventionellen Temperatur-Sweep (30 bis 90 °C, 1,59 Hz) untersucht, um auch aus diesen Ergebnissen geeignete Kennwerte zur Charakterisierung abzuleiten. Diese Vorgehensweise stellt ebenfalls eine möglichst einfache und schnelle Prüfsystematik dar, wobei eine Alterungsstufe grundsätzlich für alle Ansätze als notwendig erachtet wird.

Mit dem **Komplexen Ansatz** wird die Prüfsystematik im DSR soweit erweitert, dass neben den rheologischen Kennwerten im höheren Temperaturbereich (30 bis 90 °C) zusätzlich ein Kennwert für das Tieftemperaturverhalten vorliegt. Um auch hier keinen unnötig hohen Zeit- und Prüfaufwand zu generieren, soll dieser erweiterte Prüfansatz an der Probe für den einfachen Temperaturansatz (30 bis 90 °C) [10] angesetzt werden.

Unabhängig vom Umfang der rheologischen Kennwerte zur Charakterisierung der Bindemittel im Rahmen der Qualitätsüberwachung an den Asphaltmischanlagen (Einfacher bis Komplexer Ansatz) wurde eine Alterungsmethode als notwendig erachtet, mit der ein hinreichend hoher Alterungseffekt erzeugt wird. Nach bisherigen Erkenntnissen reicht die RTFOT-Alterung hier nicht aus (siehe auch Kapitel 4.1). Somit sind Untersuchungen erforderlich, mit denen, möglichst im Ofen für die RTFOT-Alterung (vielfach vorhanden in Laboratorien), ein Alterungsgrad erreicht wird, der etwa dem der kombinierten Alterung mit RTFOT+PAV entspricht. Dies wurde mit einem separaten Untersuchungsprogramm ergründet.

### 3.2 Probenauswahl und Probenbeschaffung

In Abstimmung mit dem Betreuerkreis für dieses Projekt wurde festgelegt, folgende neun Bindemittelarten und -sorten (siehe Tabelle 2) für die Untersuchungen vorzusehen. Die Bindemittelproben (jeweils 2 x 10 Liter) wurden von Mitgliedern des DAV bei der Anlieferung an die Asphaltmischanlagen entnommen und zur Ruhr-Universität Bochum versandt. Wenn möglich sollten je Bindemittelart und -sorte drei Proben zu unterschiedlichen Anlieferungszeiten je Raffinerie und jeweils mindestens drei unterschiedliche Raffineriestandorte/Produktionsstätten/Lieferstellen beprobt werden.

**Tabelle 2:** Ausgewählte Bindemittelarten und -sorten

Straßenbaubitumen	PmB	VvBitumen
50/70 (9 / 3 Lieferstellen)	25/55-55 A (15 / 4 Lieferstellen)	25/35 V (L/H) (9/ 3 Lieferstellen)
160/220 (9/ 3 Lieferstellen)	45/80-50 A RC (12/ 4 Lieferstellen)	

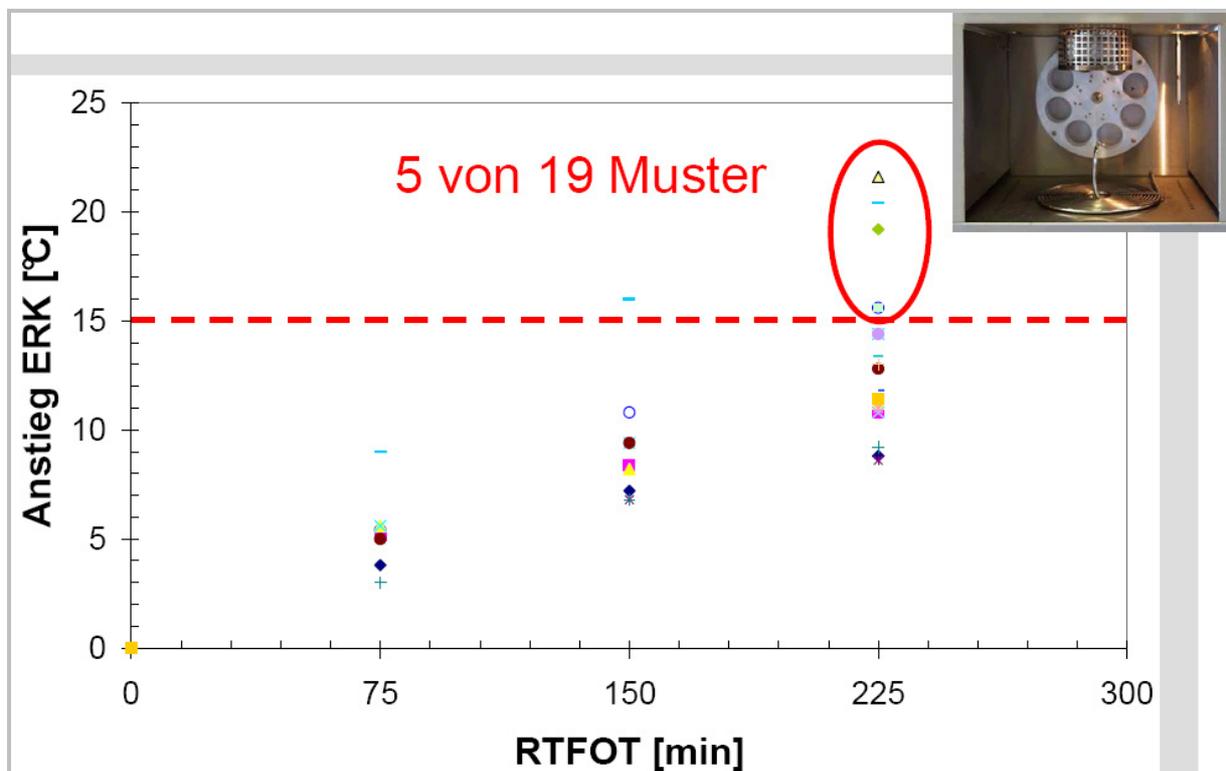
Insgesamt wurden somit 54 Bindemittel im frischen und im gealterten Zustand mit den drei in Kapitel 3.1 benannten Untersuchungsansätzen geprüft. Die Probennahme und den Versand an die Ruhr-Universität Bochum wurde durch die drei Asphaltmischanlagenbetreiber, EUROVIA, Hohenloher Asphalt-Mischwerke und Kemna durchgeführt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Laboralterungsverfahren

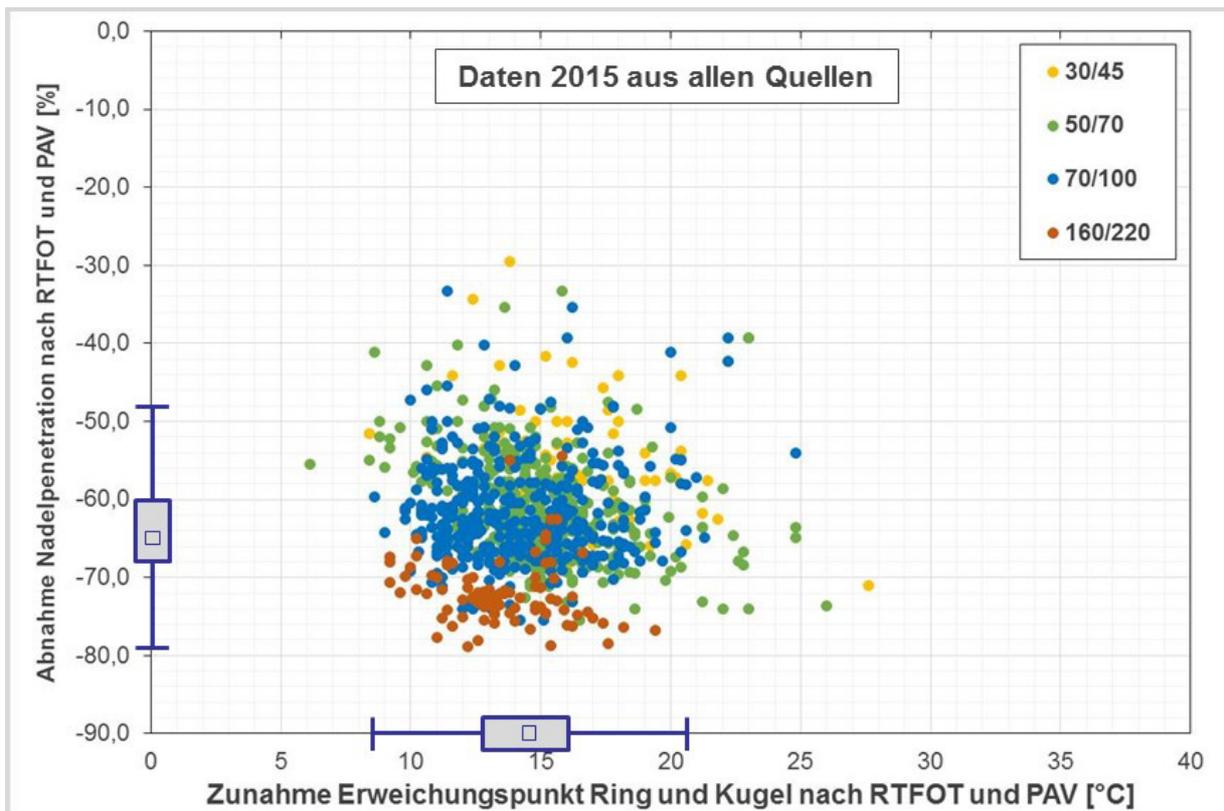
Um einen Unterschied im Gebrauchsverhalten zwischen Bindemitteln gleicher Sorte erkennen zu können, wurden ergänzende Betrachtungen anhand simulierter Alte-

rungsvorgänge festgelegt. Die Alterung mit dem RTFOT-Verfahren stellt dabei im Wesentlichen die simulierte Beanspruchung durch den Heißverarbeitungsprozess dar. Die weitergehende Veränderung durch Alterungsprozesse im Laufe der Nutzungsdauer wird im Labor durch eine zusätzliche Alterungsstufe mit dem PAV simuliert. Dabei scheint sich mit zunehmender Alterungsbeanspruchung eine größere Differenzierbarkeit der Bindemittelqualitäten zu ergeben, sodass für qualitätsüberwachende Untersuchungen eine Aufweitung der Alterungsbeanspruchung über das Maß der RTFOT-Alterung hinaus sinnvoll schien. Um den Aufwand (gerätetechnisch und zeitlich) so gering wie möglich zu halten, wurden z.B. in Österreich erweiterte RTFOT-Alterungen (3 x RTFOT-Alterung), als „Schnelltest“ für das erweiterte Alterungsverhalten untersucht [16]. Die Abbildung 5 zeigt den Anstieg des Erweichungspunktes Ring und Kugel von 19 Straßenbaubitumen der Sorte 70/100 mit drei unterschiedlich langen RTFOT-Alterungen.

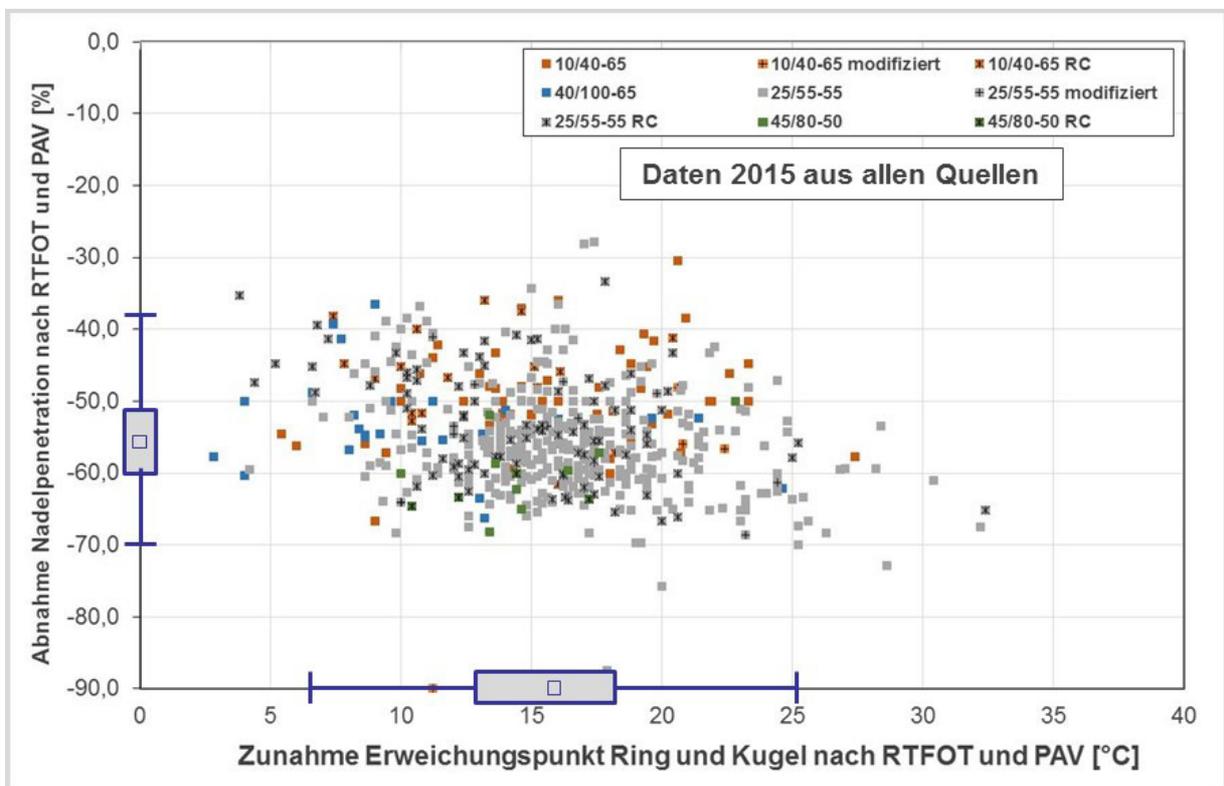


**Abbildung 5:** Anstieg des EP RuK von Bitumen 70/100 bei unterschiedlicher RTFOT-Alterungszeit [15]

Die hier festgestellten Veränderungen des Erweichungspunktes Ring und Kugel bei dreifacher RTFOT-Alterung lagen bezüglich der Schwankungen (min – max) und des Mittelwertes auf einem ähnlichen Niveau wie die Ergebnissen der deutschen Datensammlung bei kombinierter RTFOT+PAV-Alterung [11] (siehe Abbildung 6 und 7).



**Abbildung 6:** Veränderung des EP RuK und der Nadelpenetration von Straßenbaubitumen durch RTFOT- und PAV-Alterung [11]



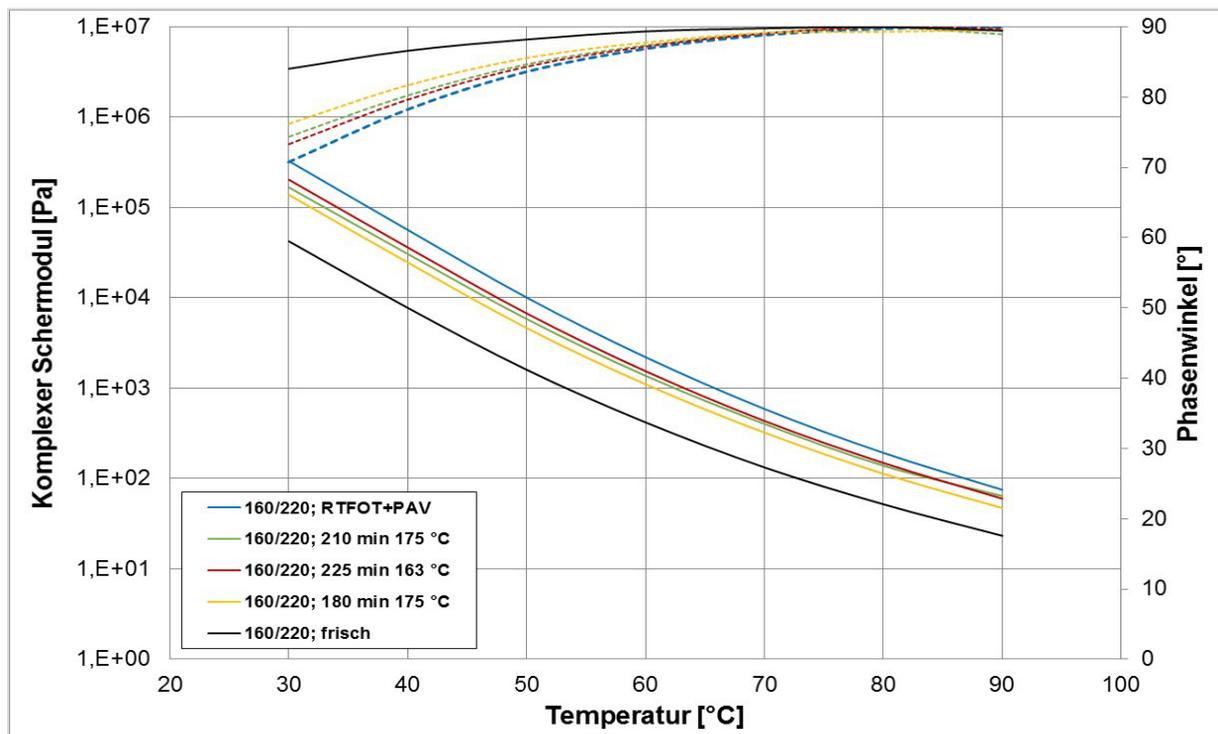
**Abbildung 7:** Veränderung des EP RuK und der Nadelpenetration von Polymermodifizierten Bitumen durch RTFOT- und PAV-Alterung [11]

Auch wenn diese verlängerte RTFOT-Alterung aufgrund des vermutlich hohen destillativen Alterungsanteils weniger für wissenschaftliche Betrachtungen geeignet ist, scheint das Ziel einer erhöhten Differenzierbarkeit für qualitätsüberwachende Untersuchungen durchaus gegeben zu sein. Die in [11] dokumentierten Veränderungen des Erweichungspunktes Ring und Kugel infolge einer kombinierten RTFOT- und PAV-Alterung deuten auf eine vergleichbare Veränderung dieses Prüfwertes bei dreifacher RTFOT-Alterung hin.

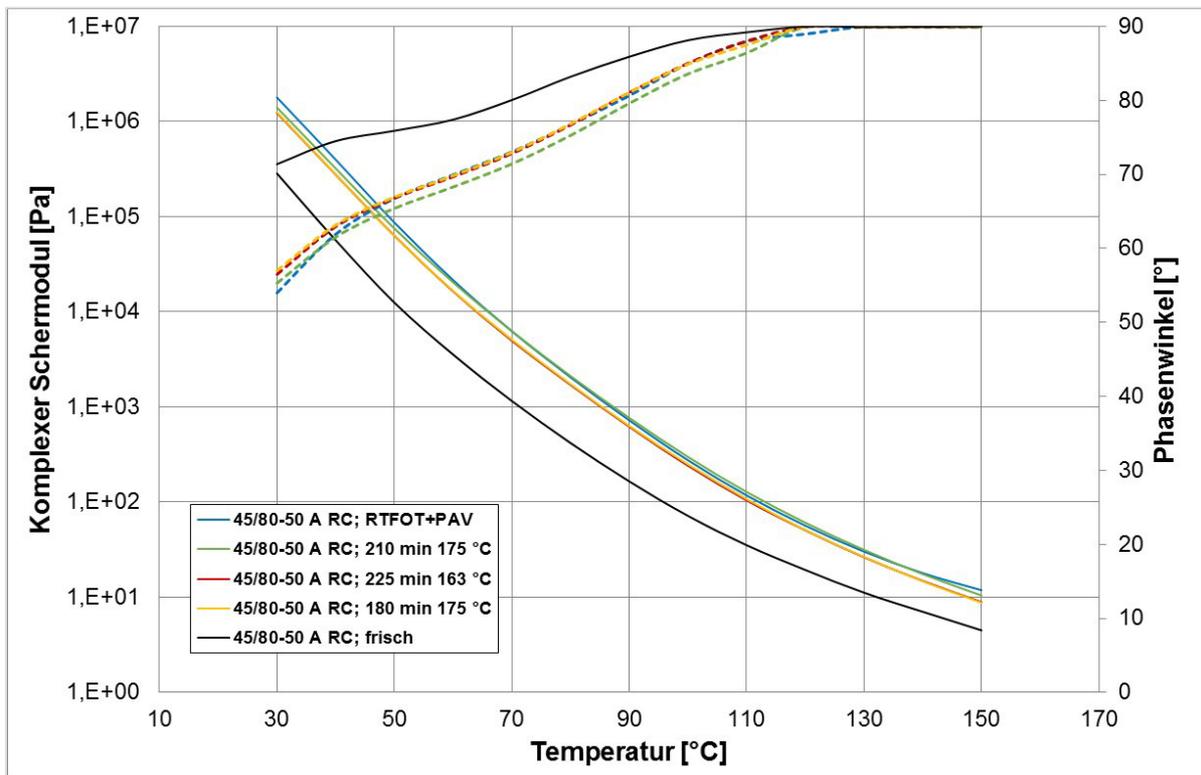
Auch die Veränderungen der Nadelpenetration durch die dreifache RTFOT-Alterungszeit lagen mit diesem Untersuchungsprogramm an 19 Straßenbaubitumen 70/100 im Bereich der Veränderungen infolge RTFOT- und PAV-Alterung. Inwieweit durch eine moderate Erhöhung der Temperatur (z.B. auf 175 °C) eine Verringerung der Alterungszeit und gleichzeitig eine sinnvollere Temperatur für höherviskose Bindemittel (PmB) ermöglicht würde, wurde nach dieser theoretischen Betrachtung auch experimentell untersucht. Für diese Voruntersuchungen zur Festlegung eines geeigneten Alterungsverfahrens wurden die folgenden vier Alterungsverfahren verglichen:

- RTFOT- (75 Minuten bei 163 °C) + PAV-Alterung
- Erweiterte RTFOT-Alterung A (225 Minuten bei 163 °C)
- Erweiterte RTFOT-Alterung B (210 Minuten bei 175 °C)
- Erweiterte RTFOT-Alterung C (180 Minuten bei 175 °C)

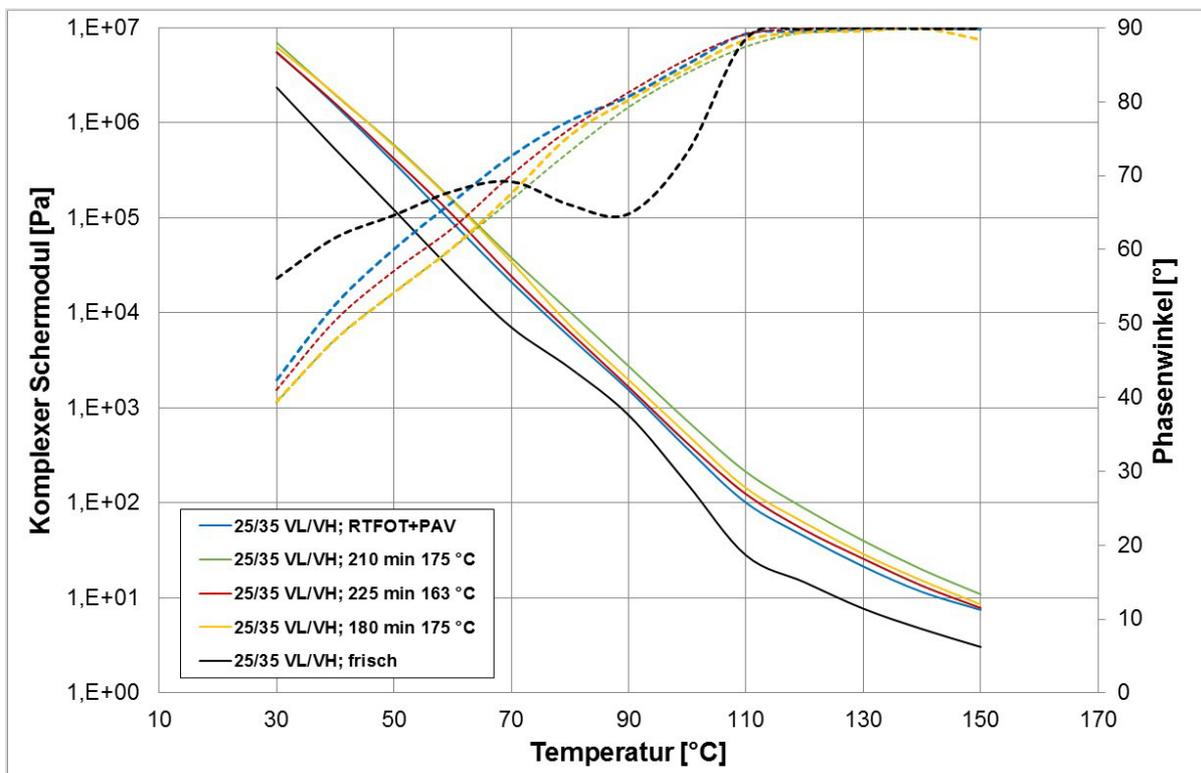
Dieser Vergleich erfolgte an jeweils einem Bindemitteln der Sorte 160/220, 45/85-50 A RC und 25/35 V. Die Veränderungen der rheologischen Eigenschaften sind in den Abbildungen 8 bis 10 dargestellt.



**Abbildung 8:** Veränderung des Komplexen Schermoduls und des Phasenwinkels infolge unterschiedlicher Laboralterungsverfahren, Bitumen 160/220



**Abbildung 9:** Veränderung des Komplexen Schermoduls und des Phasenwinkels infolge unterschiedlicher Laboralterungsverfahren, PmB 45/85-50 A RC



**Abbildung 10:** Veränderung des Komplexen Schermoduls und des Phasenwinkels infolge unterschiedlicher Laboralterungsverfahren, VvBitumen 25/35 V

Unter Berücksichtigung der Vergleichbarkeit zur RTFOT+PAV-Alterung und der Prozessdauer wurde die erweiterte RTFOT-Alterung C (180 Minuten bei 175 °C) gewählt, wobei auch die „Österreichische Methode“ bei den hier untersuchten Bindemitteln eine gute Übereinstimmung mit den Kennwerten nach RTFOT+PAV-Alterung ergab.

## 4.2 Ansatz 1 (Einfacher Ansatz): Detektion mit Hilfe konventioneller Prüfergebnisse

Die Möglichkeit einer brauchbaren Detektion der Bindemittelart, -sorte und -provenienz anhand der konventionellen Prüfergebnisse Erweichungspunkt Ring und Kugel und Nadelpenetration wurde mit Hilfe von Prüfergebnissen der DAV-Mitglieder überprüft, die im Rahmen der Datensammlung zum ARS Nr. 11/2012 gefordert wurden. Hierzu konnten für die Bindemittel 50/70 vier Bezugsquellen (Raffinerien) mit mindestens 8 Proben je Bezugsquelle die Ergebnisse für den Erweichungspunkt Ring und Kugel sowie die Nadelpenetration jeweils frisch, RTFOT-gealtert und RTFOT+PAV-gealtert ausgewertet werden.

Die Abbildung 11 zeigt den Zusammenhang zwischen diesen beiden Prüfparametern im halblogarithmischen Maßstab. Zudem sind die Verläufe für ausgewählte Penetrationsindizes dargestellt, um eine Visualisierung für mögliche Gruppenbildungen zu vereinfachen.

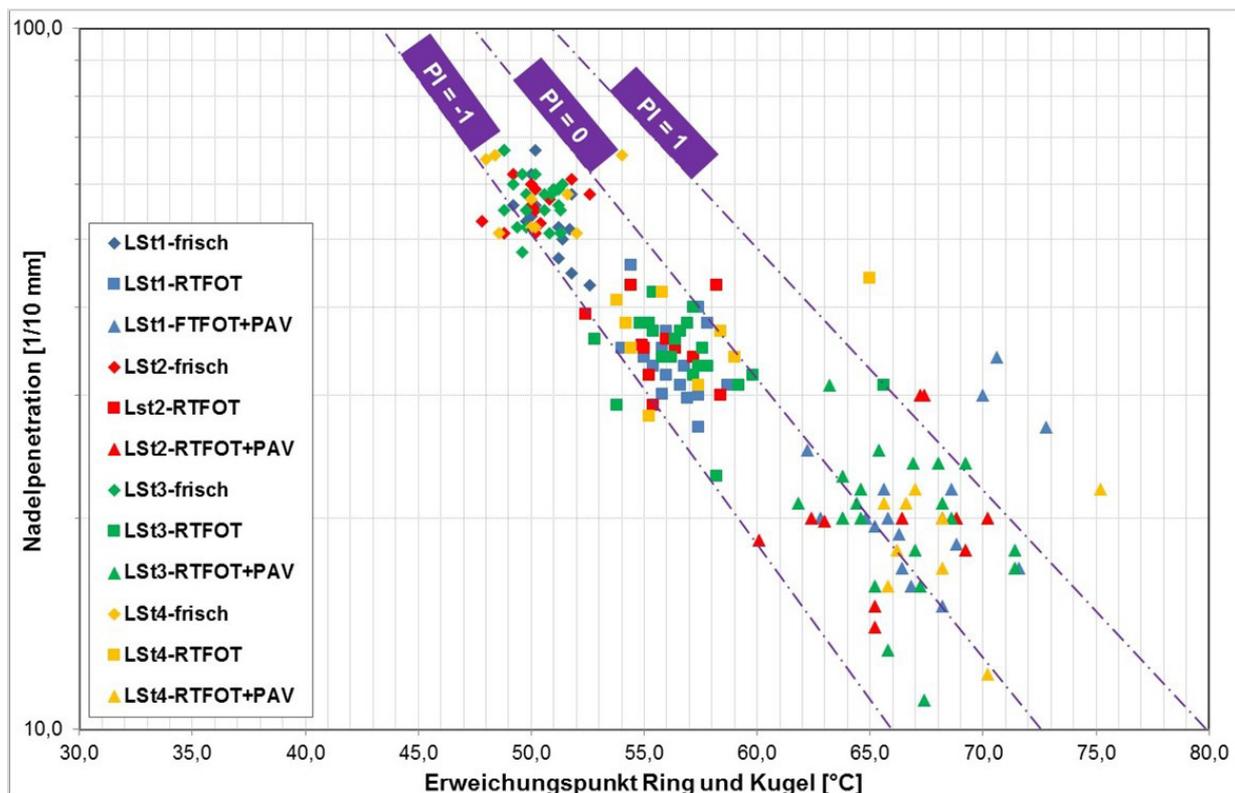
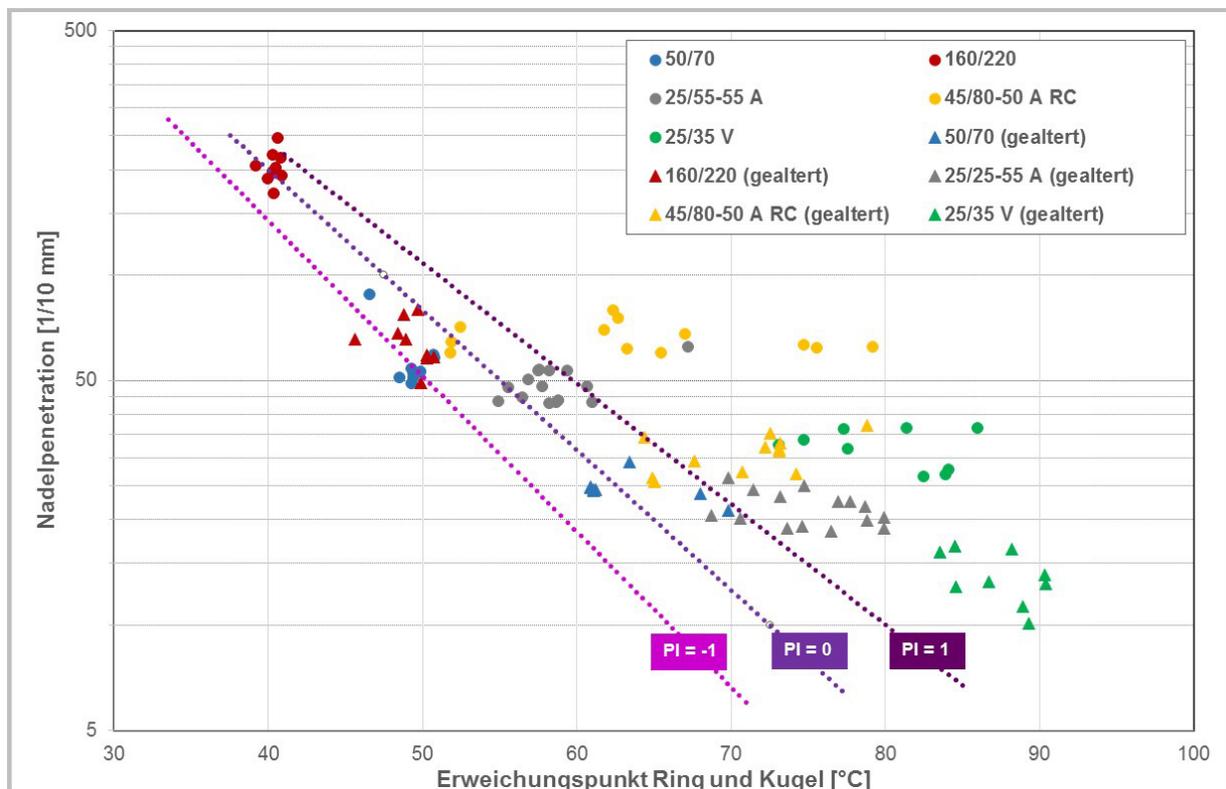


Abbildung 11: EP RuK und Nadelpenetration von Bitumen 50/70 (frisch und gealtert)

Eine raffinerieabhängige Zuordnung der Prüfergebnisse mit den konventionellen Bindemittelkennwerten für das Straßenbaubitumen 50/70 (Abbildung 3) lässt sich hieraus nicht ableiten. Allerdings lassen die Prüfergebnisse nach Alterung mit RTFOT+PAV erkennen, dass eine nennenswerte Anzahl an Proben den erwarteten Verlauf entlang der „Destillationskurve“ verlassen hat (Verlagerung zu einem höheren Penetrationsindex) und damit ein eher untypisches Alterungsverhalten für ein Straßenbaubitumen erkennbar wird. Dies ist nach Kurzzeitalterung (RTFOT) noch nicht erkennbar, so dass eine zielführende Alterungsbeanspruchung vermutlich einen höheren Alterungsgrad aufweisen muss.

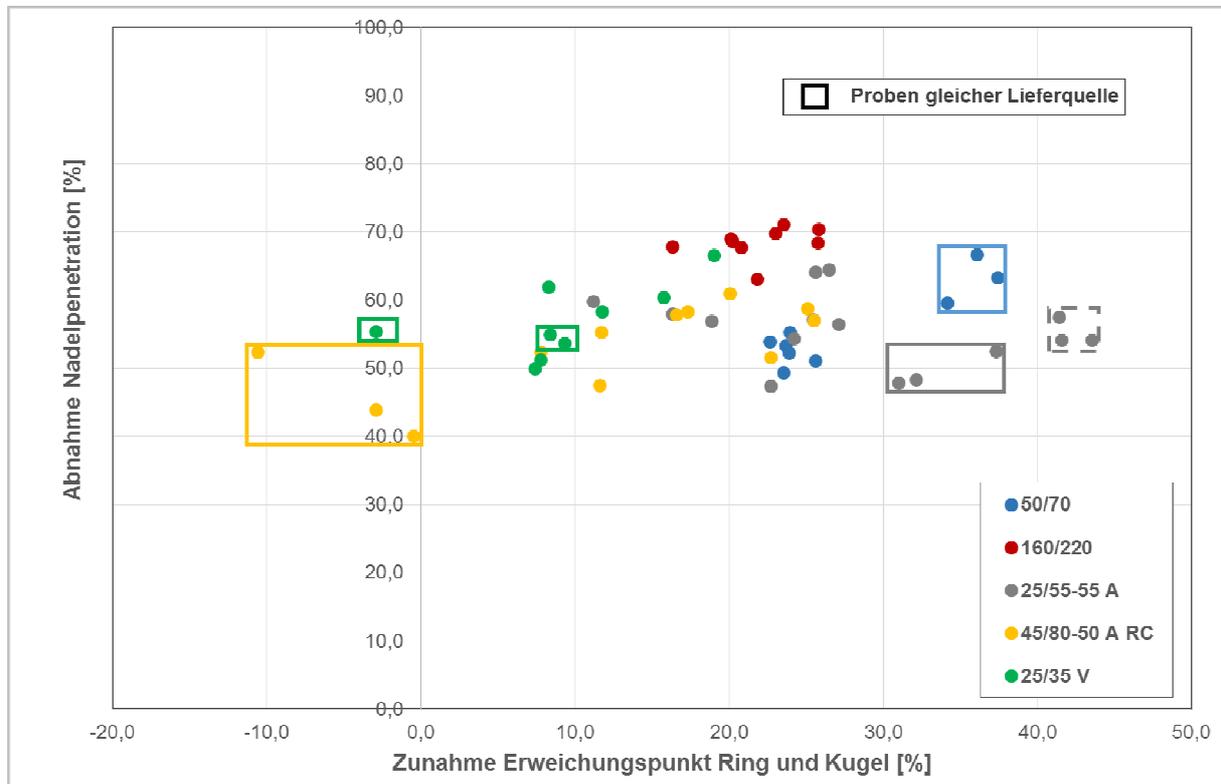
Die Untersuchungen an den 54 Bindemittelproben vor und nach Alterung (erweiterte RTFOT-Alterung C) bestätigen die Erkenntnisse weitgehend (siehe Abbildung 12). Während die Bitumen 160/220 nach der Alterung eine Verschiebung entlang der „idealtypischen Destillationskurve“ zeigen, da sie nach der Alterung etwa auf dem Niveau der Bitumen 50/70 vor der Alterung liegen, zeigen einige Bitumen der Sorte 50/70 ein leichtes Abweichen von der „Destillationskurve“. Dies kann auch durch die Erhöhung des Penetrationsindex infolge der Alterung erkannt werden.



**Abbildung 12:** EP RuK und Nadelpenetration der 54 untersuchten Bindemittel (frisch und gealtert (erweiterte RTFOT-Alterung C))

Mit der Abbildung 12 wird zudem verdeutlicht, dass die modifizierten Bitumen bereits im frischen Zustand mit einem höheren Penetrationsindex starten, der sich durch die

Alterung teilweise weiter erhöht, teilweise aber auch gleich bleibt oder sogar verringert. Um diese Veränderungen deutlicher hervorzuheben, wurden die prozentualen Veränderungen der Nadelpenetration und des Erweichungspunktes Ring und Kugel aufgetragen (Abbildung 13).

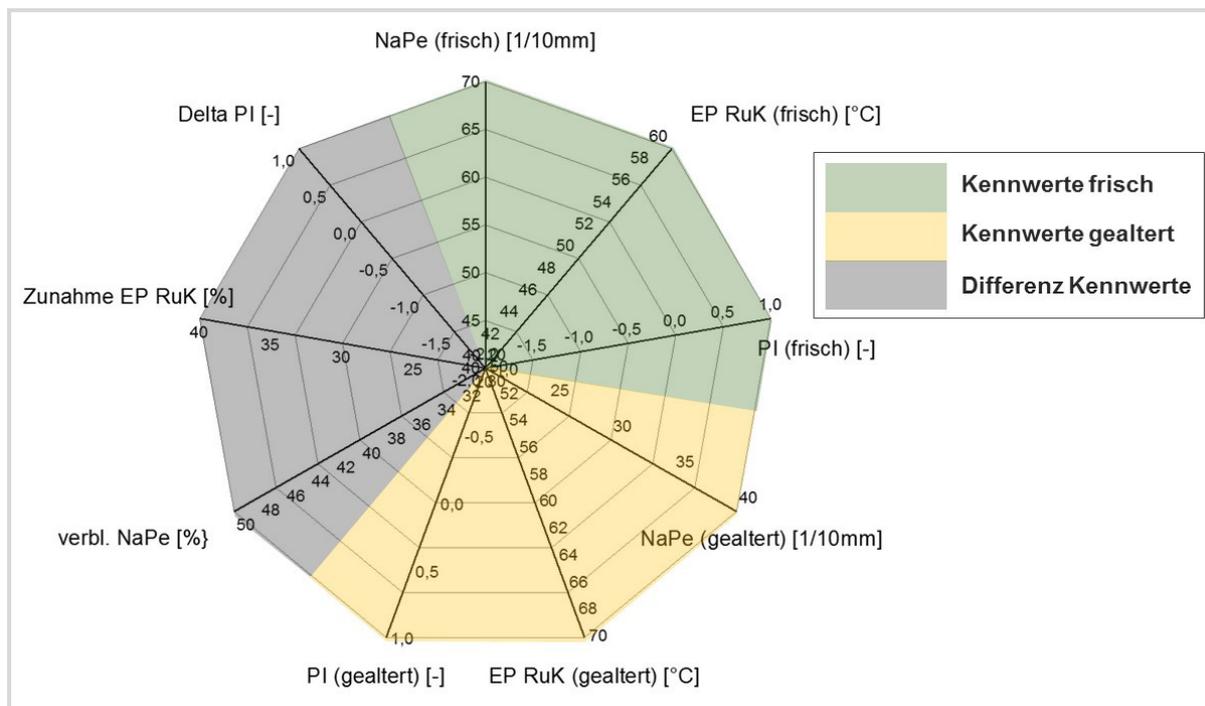


**Abbildung 13:** Prozentuale Veränderung der Nadelpenetration und des EP RuK durch erweiterte RTFOT-Alterung C

Während die prozentualen Veränderungen der Nadelpenetration (Abnahme) bei den meisten untersuchten Bindemitteln zwischen 50 und 70 % liegt, streut die prozentuale Veränderung des Erweichungspunktes Ring und Kugel (Zunahme) deutlich stärker (von -10 % bis 45 %). Dadurch ergeben sich Gruppen, die vergleichbare Veränderungen aufweisen, von einer Lieferstelle stammen und sich damit von anderen Bindemitteln gleicher Sorte separieren lassen. Zwei Lieferstellen des Bindemittels 25/55-55 A und jeweils eine Lieferstelle der Bindemittel 50/70 und 45/85-50 A RC können so vom übrigen Datenkollektiv separiert werden (Identifikation).

Inwieweit eine weiter gehende Visualisierung der konventionellen Prüfdaten die Identifikationsmöglichkeiten verbessert, wurde dann anhand von Netzdiagrammen untersucht. Zunächst wurde hierzu die Netzeinteilung definiert. Mit dem Ansatz 1 werden die Nadelpenetration und der Erweichungspunkt Ring und Kugel experimentell und der Penetrationsindex rechnerisch jeweils vor und nach der Alterung bestimmt. Mit den daraus errechneten Veränderungen ergeben sich insgesamt neun Parameter, aus denen dann ein 9achsiges Diagramm (Nonagon/Nonagramm) gebildet werden kann (siehe Abbildung 14).

Die Skalierung der einzelnen Achsen erfolgte individuell. Hierbei wurde darauf geachtet, einerseits die Bandbreite der Ergebnisse hinreichend differenzieren zu können, andererseits aber nicht unmittelbar die Minimal- und Maximalwerte als begrenzen- de Skalierung zu wählen. Grundsätzlich gilt dies für alle nachfolgenden Netzdia- gramme. Darin sollte aber keine Festlegung der Skalierung gesehen werden, die je nach Fragestellung, Bindemittelart und -sorte sowie Untersuchungsumfang jeweils individuell gewählt werden sollte.



**Abbildung 14:** Netzdiagramme - Einteilung der Achsen für den Ansatz 1

Die Abbildungen 15 bis 17 zeigen die in das Nonagramm eingetragenen Prüfergebnisse des Bitumens 50/70 getrennt für die Lieferstellen. Die Darstellung erfolgte mit transparenten Flächen, sodass Abweichungen von einzelnen Prüfwerten anhand der Farbintensität erkennbar werden.

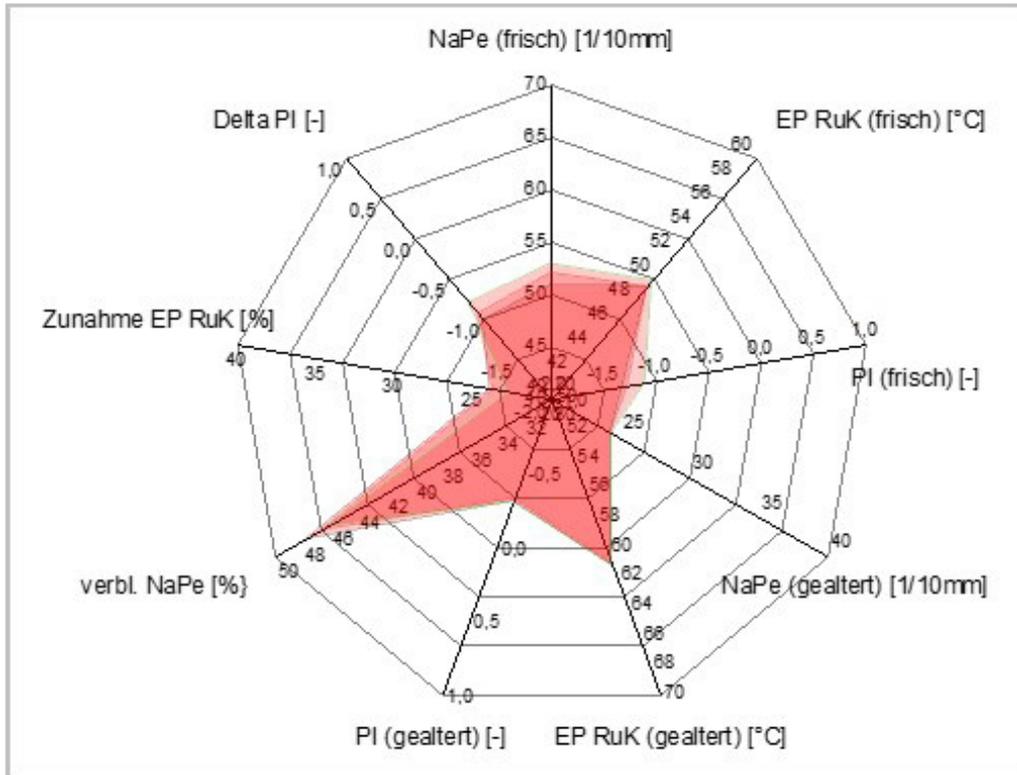


Abbildung 15: Netzdiagramm, Ansatz 1, 50/70 (Lieferstelle 1)

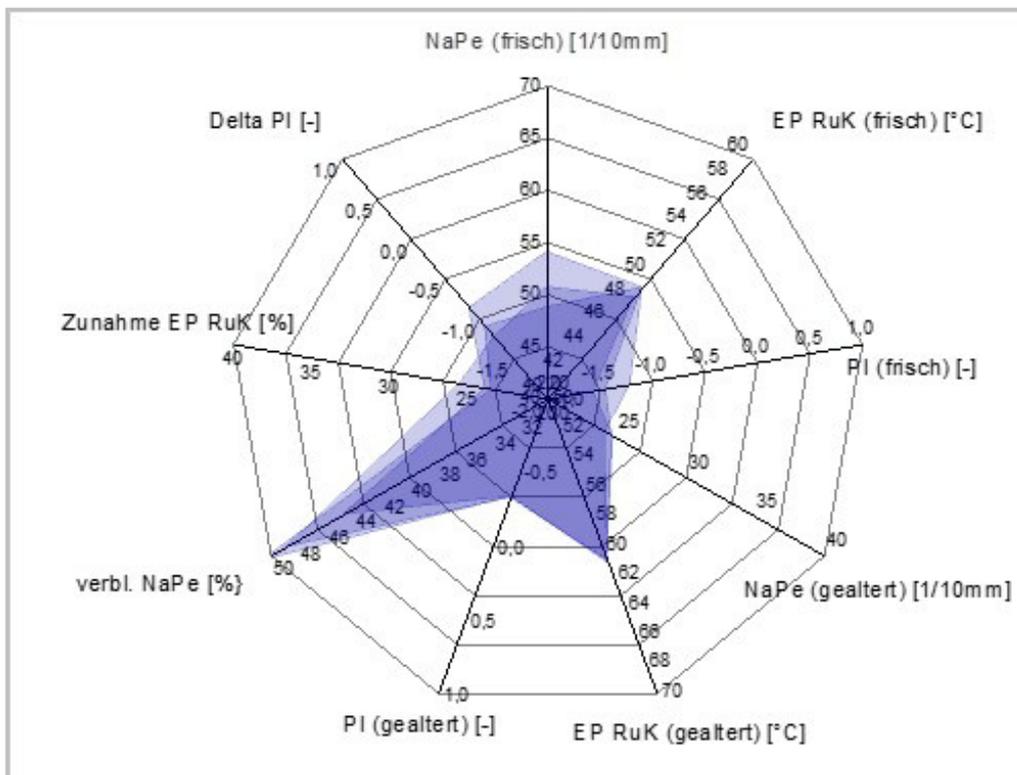
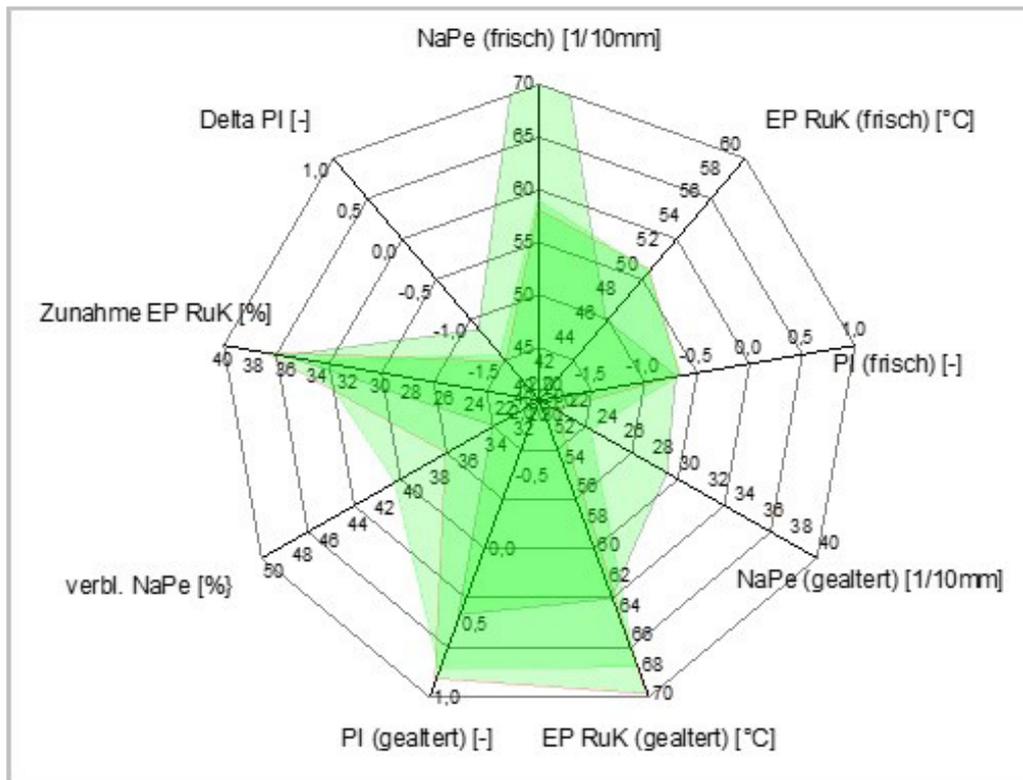


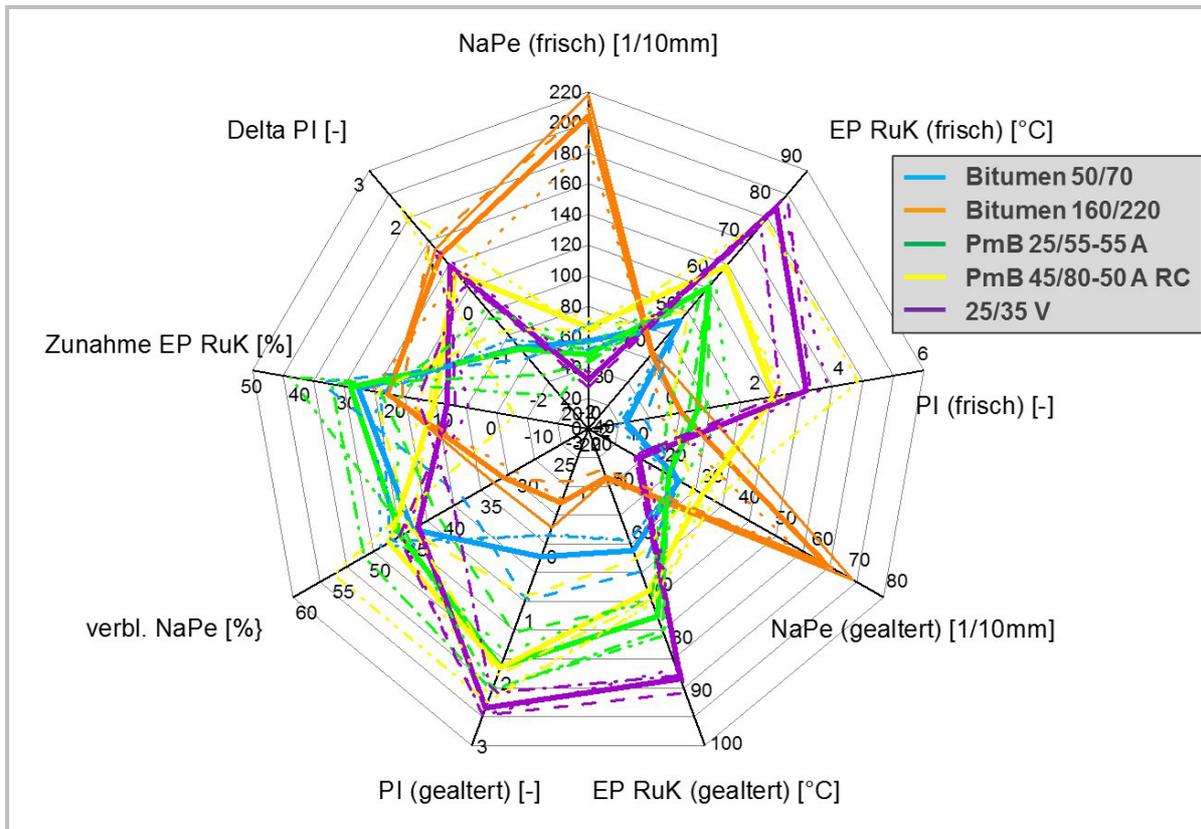
Abbildung 16: Netzdiagramm, Ansatz 1, 50/70 (Lieferstelle 2)



**Abbildung 17:** Netzdiagramm, Ansatz 1, 50/70 (Lieferstelle 3)

Die entsprechenden Netzdiagramme der anderen Bindemittel sind dem Anhang 1 zu entnehmen.

Zur Visualisierung der Unterschiede der verschiedenen Bindemittelarten und -sorten sind in einem weiteren Netzdiagramm (Abbildung 18) die Mittelwerte der Prüfergebnisse je Art und Sorte aufgetragen. In diesem Diagramm sind die Prüfergebnisse mit einer Liniendarstellung abgebildet.



**Abbildung 18:** Netzdiagramm, Ansatz 1, Mittelwerte je Art und Sorte

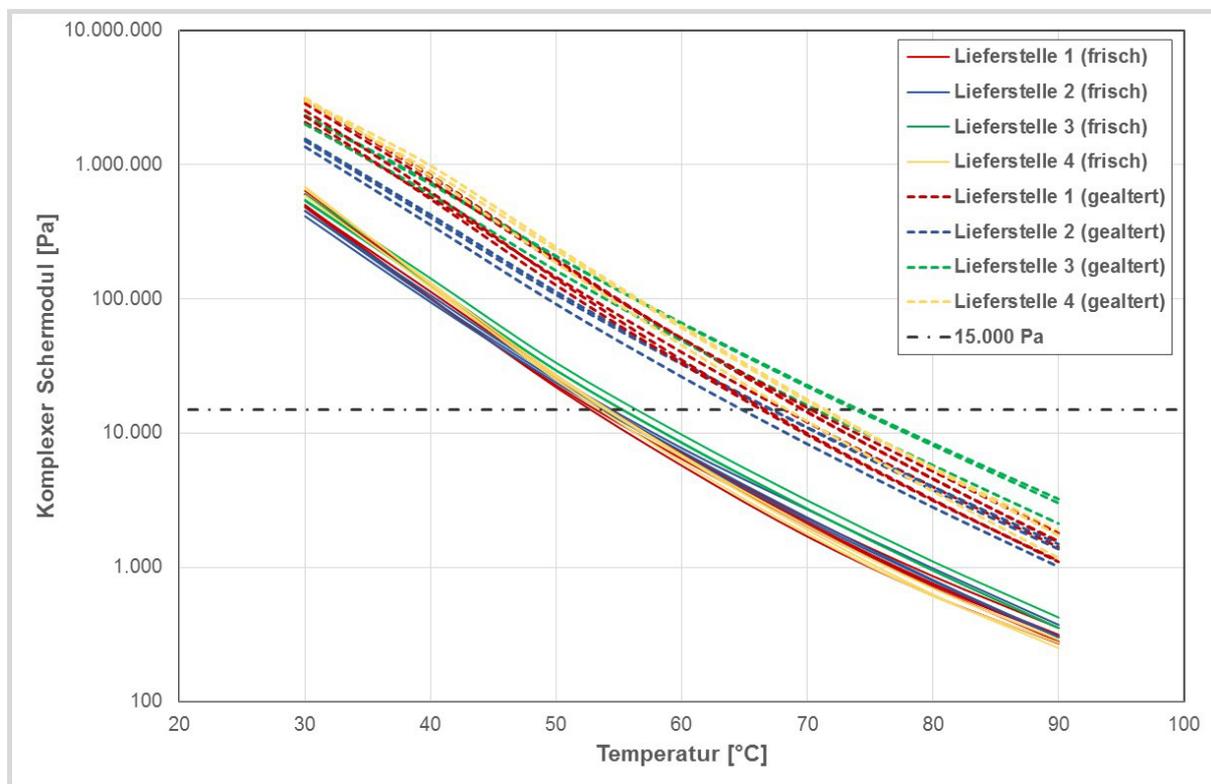
Aus Gründen der Erkennbarkeit wurden zwar alle Bindemittel mit einbezogen, aber nur jeweils die Mittelwerte je Lieferstelle (linierte/punktierte dünnere Linien) und die Gesamtmittelwerte je Bindemittelart und -sorte (dickere durchgezogene Linien) dargestellt. Anhand des Verlaufes der Mittelwerte können alle untersuchten Bindemittelarten und -sorten hinreichend separiert werden. Allerdings ergeben sich Überschneidungen bei einer Betrachtung der Mittelwerte je Lieferstelle. Bei Einbeziehung aller Einzelwerte wären die Überschneidungen noch ausgeprägter.

### 4.3 Ansatz 2 (Erweiterter Ansatz): Detektion mit Hilfe eines einfachen DSR-T-Sweeps

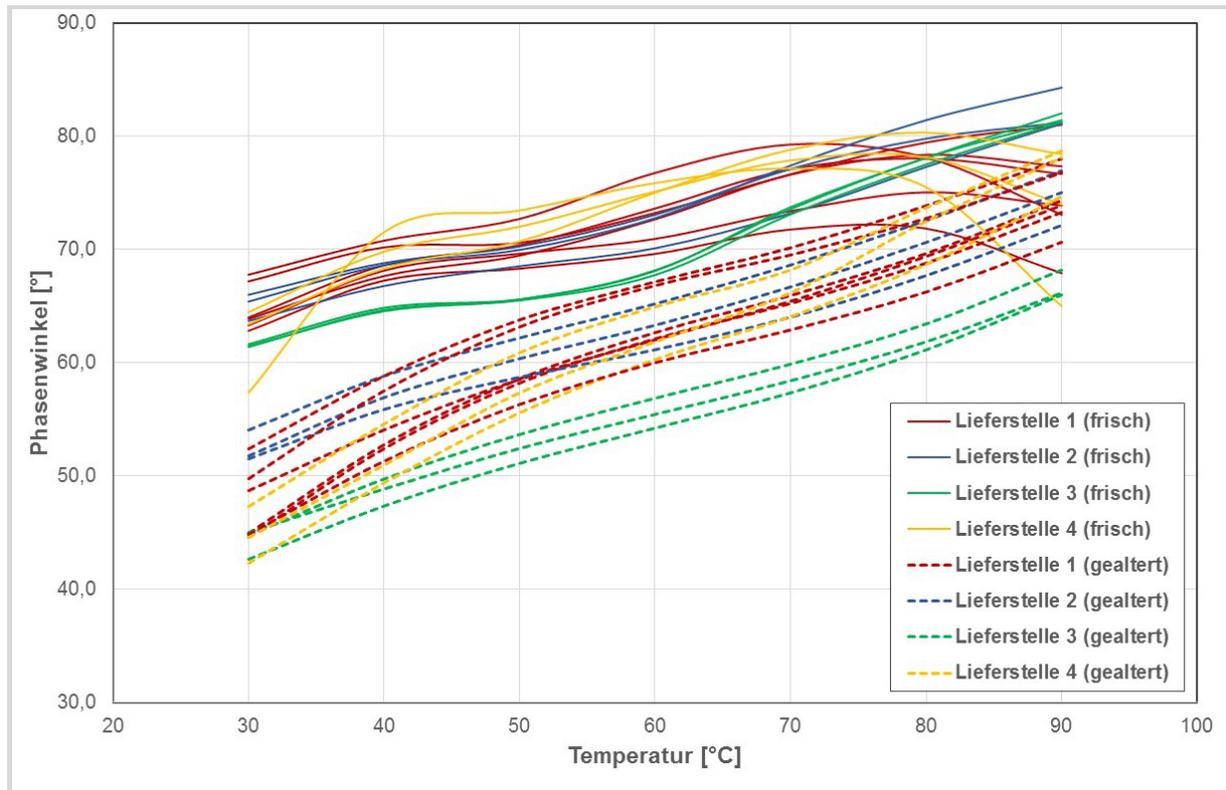
Der Untersuchungsansatz 2, die Detektion der Bindemittel mit Hilfe eines einfachen Temperatur-Sweeps im Dynamischen Scherrheometer (DSR) erfolgte gemäß AL DSR-Prüfung (T-Sweep), Ausgabe 2014 [10]. Hiermit werden konkrete rheologische Kennwerte zwischen 30 und 90 °C mit einer Prüffrequenz von 1,59 Hz vor und nach Alterung ermittelt, womit eine hohe Vielfalt an potenziellen Materialkennwerten zur Detektion der Bindemittel vorliegt.

Mit welchen der geprüften Parametern sich eine größtmögliche Differenzierung der Bindemittel ergibt, ist dabei die zentrale Fragestellung. Die typische Darstellung der Prüfergebnisse aus solchen Untersuchungen ist der temperaturabhängige Verlauf des Komplexen Schermoduls (halblogarithmisch) und des Phasenwinkels (linear). Für die untersuchten PmB 25/55-55 A ist diese Art der Ergebnisdarstellung den Abbildungen 19 und 20 zu entnehmen. Die entsprechenden Abbildungen der übrigen untersuchten Bindemittel sind dem Anhang 2 zu entnehmen.

Die Darstellung der Ergebnisse zeigt, dass der Verlauf des Komplexen Schermoduls innerhalb einer Bindemittelart oder -sorte vergleichsweise identisch ist. Nach der Bindemittelalterung zeigt sich eine etwas größere Spannweite der Prüfergebnisse. Noch größere Unterschiede ergeben sich jedoch beim Phasenwinkel, insbesondere unter Berücksichtigung der Veränderung infolge der Alterung.



**Abbildung 19:** Komplexe Schermodule der PmB 25/55-55 A vor und nach Alterung



**Abbildung 20:** Phasenwinkel der PmB 25/55-55 A vor und nach Alterung

Die Verläufe der Phasenwinkel der sechs Bindemittelproben der Lieferstelle 1 zeigen ein recht großes Ergebnisspektrum. Außerdem mussten die zeitlich letzten drei Proben dieser Lieferstellen von anderen Personen beschafft werden. Vor diesem Hintergrund wurde im Nachgang versucht, die tatsächliche Herkunft der sechs Bindemittel zu ergründen. Dabei stellte sich heraus, nur die ersten drei Bindemittel eindeutig einer Lieferstelle zugeordnet werden kann. Hierdurch lassen sich größere Bandbreiten der Ergebnisse der sechs Bindemittel 25/55-55 A der Lieferstelle 1 nicht nur durch Produktionsungenauigkeiten erklären.

Bei der Suche nach charakterisierenden oder identifizierenden rheologischen Kennwerten fiel das Augenmerk auf zwei Werte, bei denen der Phasenwinkel eine dominierende Bedeutung einnimmt.

**Kennwert 1:** Relativer Speichermodul bei Äquisteifigkeitstemperatur,  $\text{rel}G'_{(G^*15kPa)}$

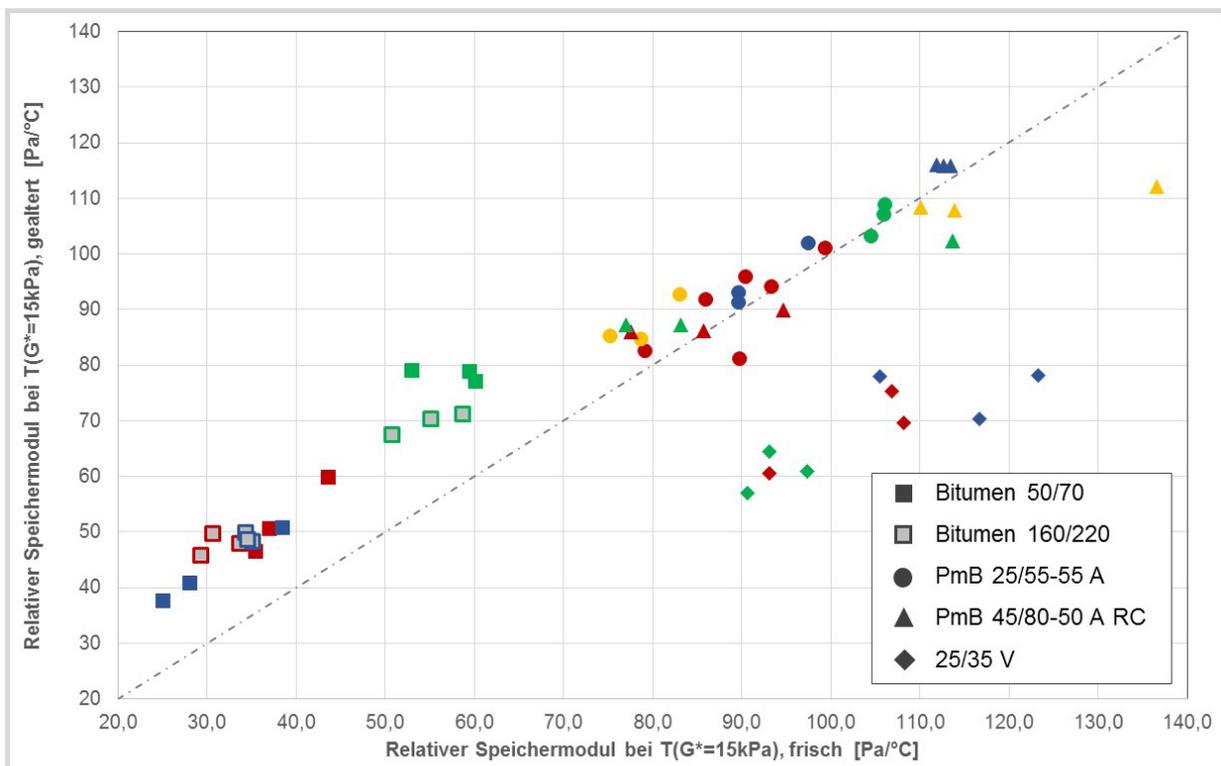
Mit dem Speichermodul wird der elastische Steifigkeitsanteil des Komplexen Schermoduls quantifiziert. Für die Berechnung muss dazu der Komplexe Schermodul mit dem Cosinus des Phasenwinkels multipliziert werden.

$$G' = G^* \cdot \cos \delta \quad [\text{Pa}]$$

Diese Berechnung erfolgt konstant für alle Bindemittel bei 15 kPa. Die variable Größe ist dann der Phasenwinkel. Anschließend wird das Ergebnis, der Speichermodul bei dieser Äquisteifigkeitstemperatur durch diese Temperatur dividiert.

$$\text{rel}G'(G^*=15\text{kPa}) = G'(G^*=15\text{kPa})/T(G^*=15\text{kPa}) \quad [\text{Pa}/^\circ\text{C}]$$

Die relativen Speichermodule bei der Äquisteifigkeitstemperatur wurden so für alle untersuchten Bindemittel jeweils vor und nach Alterung errechnet. Aufgetragen in einem X-Y-Diagramm ergeben sich die in Abbildung 21 aufgeführten Differenzierungen der Bindemittel.



**Abbildung 21:** Relativer Speichermodule bei der Äquisteifigkeitstemperatur vor und nach Alterung

Mit dieser Abbildung wird deutlich, dass sich die Bindemittelart (Modifizierung) sehr eindeutig trennen und nachweisen lässt. Die Straßenbaubitumen, die Polymermodifizierten Bitumen und die viskositätsveränderten Bitumen bilden jeweils eine abgetrennte Gruppe. Darüber hinaus ist aber auch vielfach eine Gruppenbildung der einzelnen Lieferstellen zu erkennen (durch die Farbe der Symbole), die teilweise sehr eindeutig ist. Damit ist der Nachweis einer guten Differenzierbarkeit dieses Kennwertes erbracht.

Auch wenn mit der Äquisteifigkeitstemperatur  $T(G^*=15\text{kPa})$  ein mit dem relativen Speichermodul verbundener Kennwert zusätzlich schon vorhanden ist, wird mit dem relativen Speichermodul eine deutlich höhere Differenzierung erreicht.

## **Kennwert 2:** Cross-Over-Index bei 30 °C, **COI<sub>30</sub>**

Ergänzend zu den heute schon üblichen Kennwerten bei einer festgelegten Steifigkeit (Äquisteifigkeitstemperatur  $T(G^*=15\text{kPa})$ ) wurde ein zusätzlicher Parameter bei der niedrigsten Temperatur des Ansatzes 2 (30 °C) gesucht.

Ein Bindemittel, das durch die mechanischen Eigenschaften von Bitumen dominiert wird, zeigt ein temperaturveränderliches Verhältnis zwischen elastischem und viskosem Steifigkeitsanteil (Speichermodul/Verlustmodul). Dieses Verhältnis lässt sich mit dem Phasenwinkel berechnen. Bei einem Phasenwinkel von 45° sind der Speichermodul (elastischer Steifigkeitsanteil) und der Verlustmodul (viskoser Steifigkeitsanteil) identisch ( $G' = G''$ ). Diese Kennstelle wird als Cross-Over-Punkt bezeichnet und definiert einen Temperaturpunkt des jeweiligen Bindemittels. Die untersuchten Bindemittel zeigten im betrachteten Temperaturbereich (30 bis 90 °C) teilweise einen Phasenwinkel von 45° und kleiner (nur im gealterten Zustand), womit sich ein Cross-Over-Punkt definieren ließe. Dies war aber selbst im gealterten Zustand nur bei wenigen Bindemitteln der Fall. Vor diesem Hintergrund wurde der Phasenwinkel und damit das Verhältnis Speichermodul zu Verlustmodul bei 30 °C betrachtet, welches als Cross-Over-Index bei 30 °C (**COI<sub>30</sub>**) bezeichnet wurde.

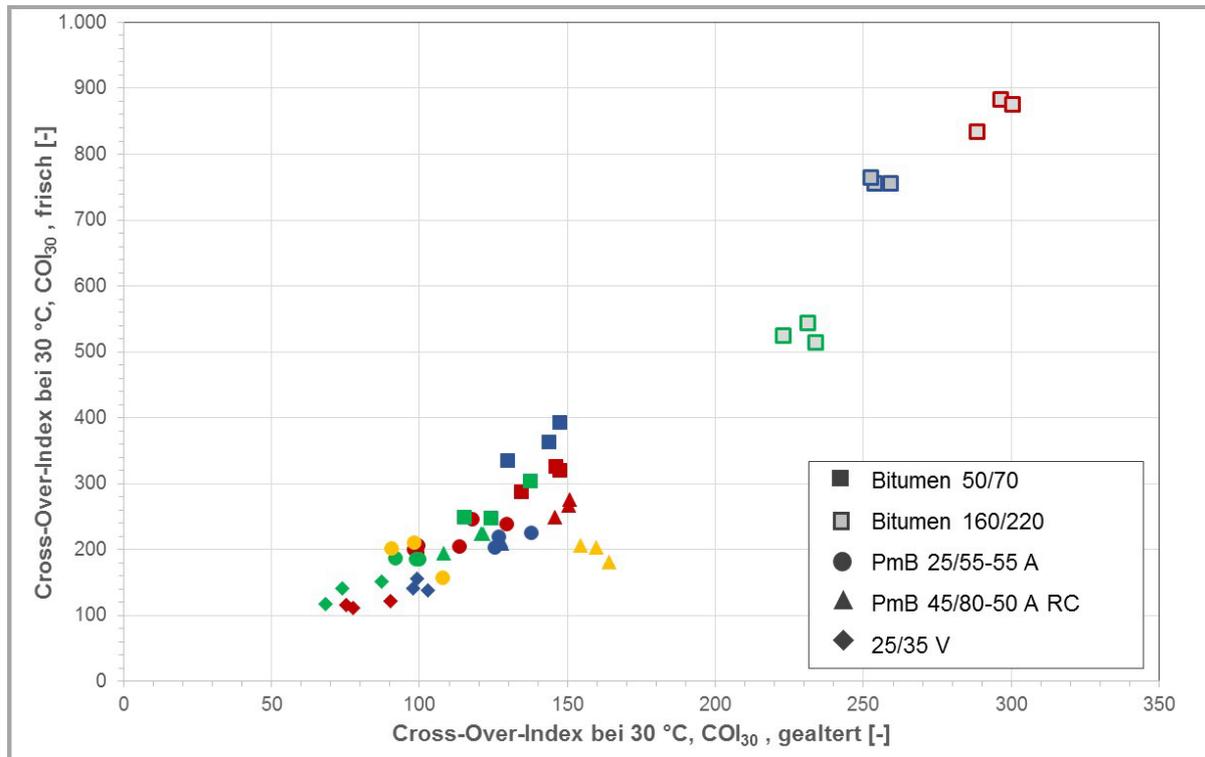
$$\text{COI}_{30} = \frac{\text{Verlustmodul bei 30 °C}}{\text{Speichermodul bei 30 °C}} \times 100 \quad [-]$$

Ein COI<sub>30</sub> von 100 bedeutet somit, dass der Phasenwinkel bei 30 °C exakt 45° beträgt. Bei einem COI<sub>30</sub> von über 100 liegt ein Phasenwinkel bei 30 °C von mehr als 45 ° vor, während COI<sub>30</sub> von unter 100 einen Phasenwinkel bei 30 °C von weniger als 45 ° ausweisen.

Der COI<sub>30</sub> definiert somit das mechanische Verhalten des Bindemittels bei der niedrigsten Temperatur des gewählten Spektrums, womit eine tendenzielle Aussage zum Verhalten bei tieferen Temperaturen erwartet wird. Ob dies sogar soweit möglich ist, dass das Kälteverhalten abgeschätzt werden kann, muss durch vergleichende Kälteversuche an den Bindemitteln geklärt werden.

Die Abbildung 22 zeigt die COI<sub>30</sub> vor und nach Alterung für alle untersuchten Bindemittel. Die zusammengehörigen Bindemittel (Lieferstellen) sind wiederum durch entsprechende Farben der Symbole identifizierbar.

Während mit dem relativen Speichermodul bei Äquisteifigkeitstemperatur im Wesentlichen die Modifizierungsart und die Veränderung infolge Alterung separiert werden konnten, ermöglicht der COI<sub>30</sub> eine zusätzliche Differenzierung der „Bindemittelhärte“. Die Bitumen der Sorte 160/220 lassen sich hiermit sehr eindeutig von den übrigen Bindemitteln und in die einzelnen Lieferstellen differenzieren. Bei einigen weiteren Bindemitteln (45/85-50 A RC, 50/70 und 25/35 V) lassen sich ebenfalls einzelne Lieferstellen gut abgrenzen.



**Abbildung 22:** Cross-Over-Index bei 30 °C vor und nach Alterung

Auch die Veränderung der beiden Kennwerte  $relG'_{(G*15kPa)}$  und  $COI_{30}$  infolge Alterung wurde auf Brauchbarkeit als Kennwert zur Differenzierung der Bindemittel herangezogen. Die Abbildung 23 zeigt diesen Zusammenhang und die jeweiligen Möglichkeiten Bindemittelart, -sorte und -lieferstelle zu differenzieren. Auffällig sind die hohen negativen Veränderungen des relativen Speichermoduls bei den viskositätsveränderten Bitumen und bei einem PmB 45/85-50 A RC.

Inwieweit diese Vielzahl an möglichen Kennwerten dann in verschiedensten Kombinationen zu einer eindeutigen Differenzierung aller Lieferstellen führt, wurde dann im Rahmen der Visualisierung in mehrachsigen Diagrammen intensiv untersucht. Auch die direkten Prüfwerte (Komplexer Schermodul und Phasenwinkel bei den jeweiligen Prüftemperaturen) wurde in diese Betrachtung mit einbezogen. So ist beispielsweise die Steigung des Phasenwinkels zwischen 40 und 50 °C (siehe Abbildung 20) unter Berücksichtigung der Veränderungen infolge des Alterungsprozesses bereits bei visueller Betrachtung der Verläufe ein mögliches Unterscheidungsmerkmal der Polymermodifizierten Bindemittel.

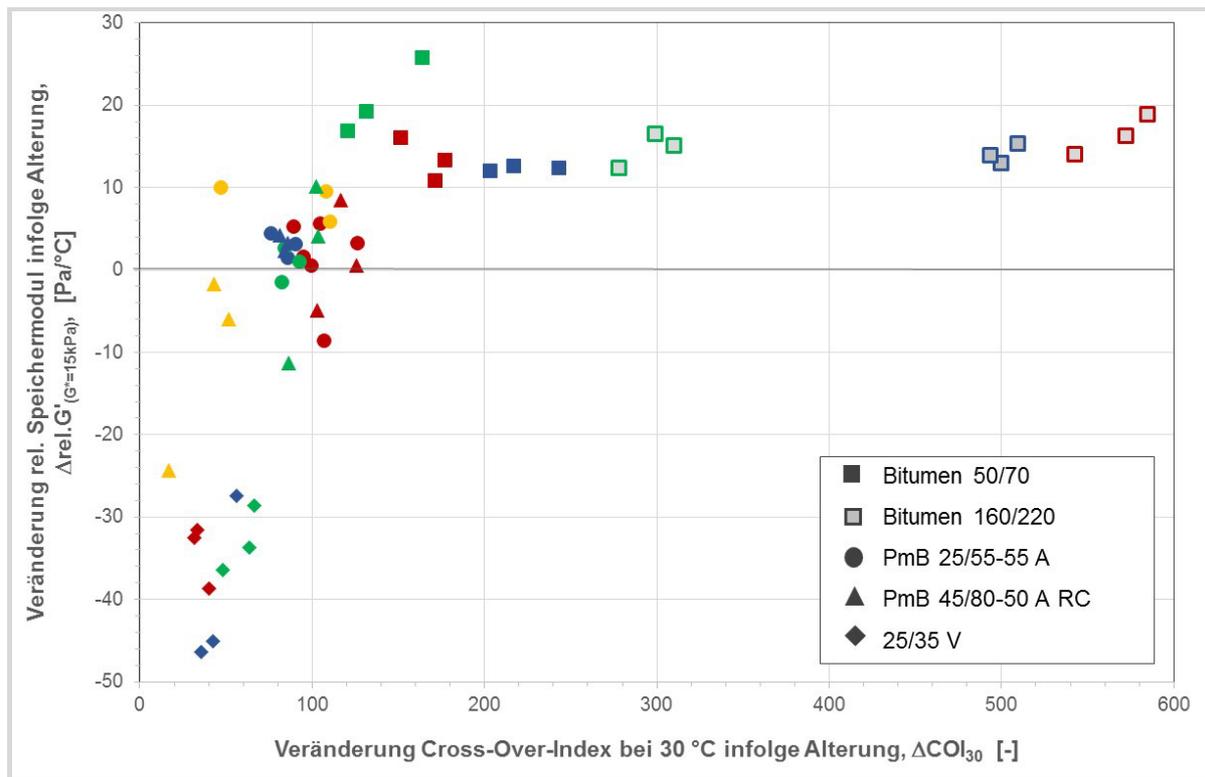


Abbildung 23: Veränderung des  $\text{COI}_{30}$  und des  $\text{rel}G'_{(G=15\text{kPa})}$  infolge Alterung

Im ersten Schritt wurde versucht, mit einer möglichst geringen Anzahl an Achsen (fünf) eine größtmögliche Differenzierung zu erreichen (siehe Abbildung 24).

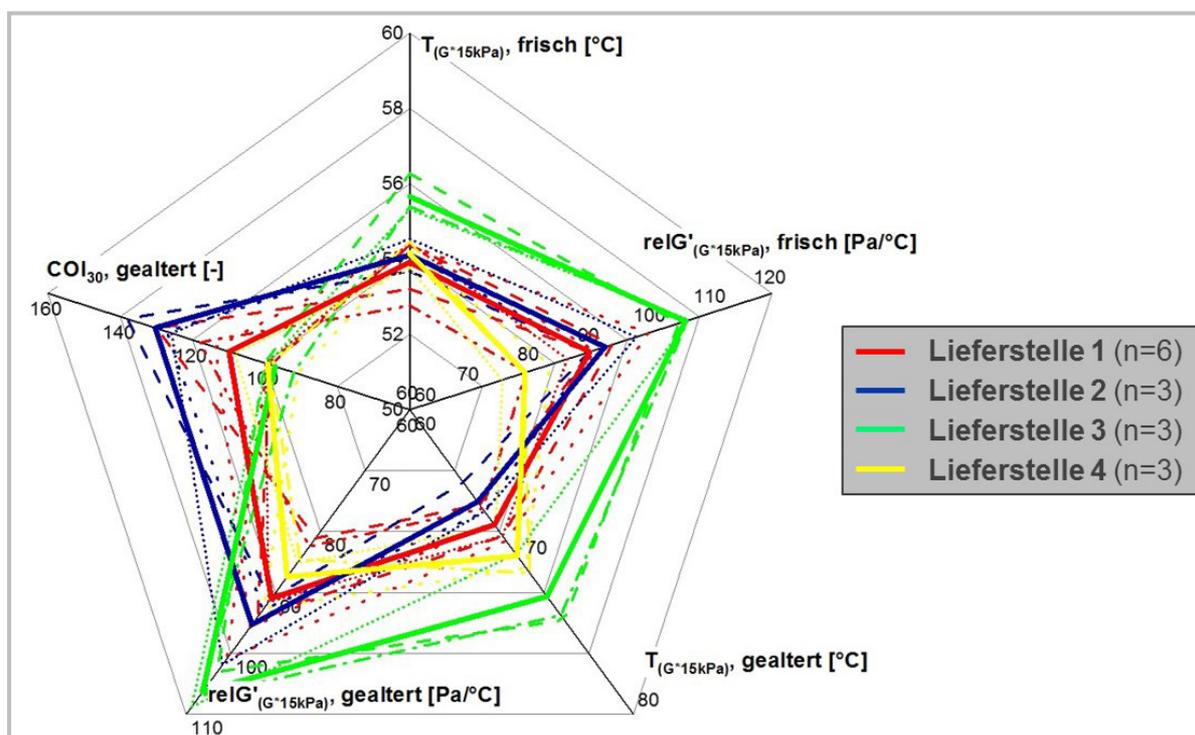
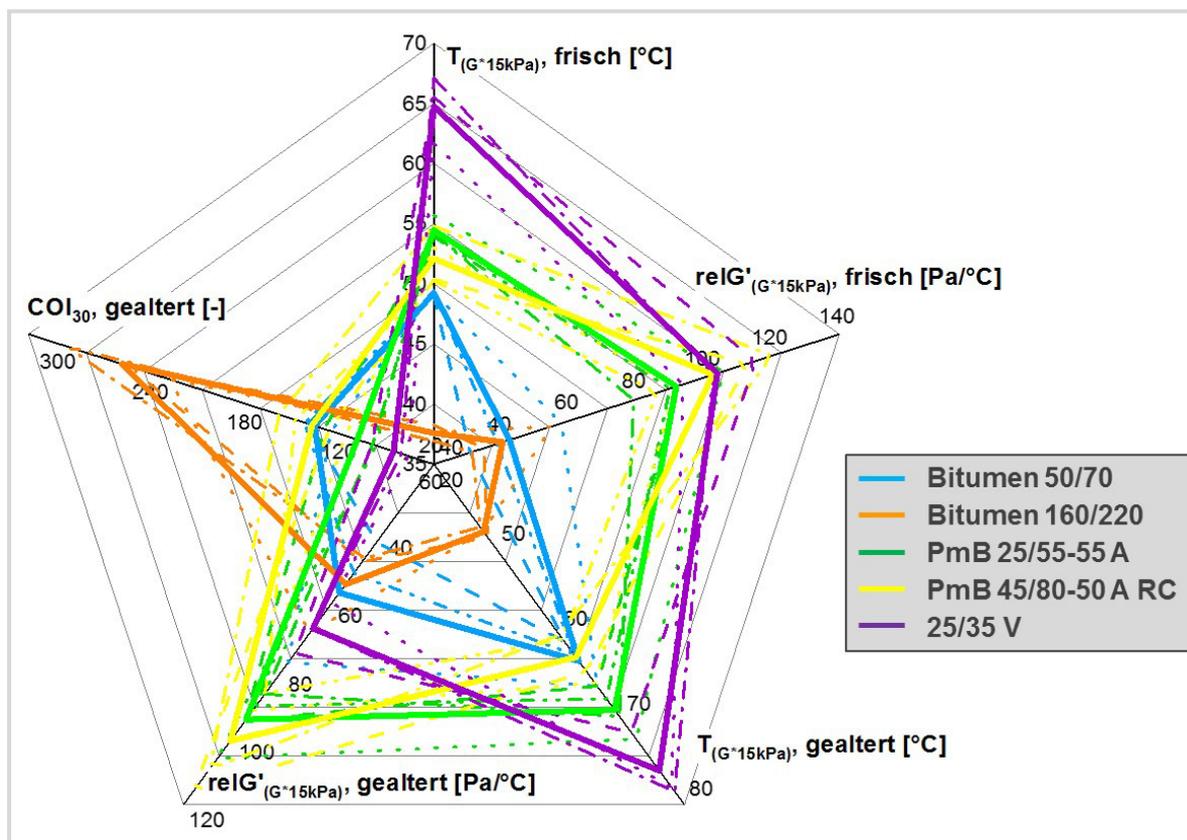


Abbildung 24: Netzdiagramm (Pentagramm) zur Identifikation der PmB 25/55-55 A

Das in Abbildung 24 dargestellte Netzdiagramm zeigt alle untersuchten PmB 25/55-55 A mit einer farblichen Trennung der vier Lieferstellen. Als Achsen wurden die Äquisteifigkeitstemperatur bei 15 kPa und der relative Speichermodul jeweils vor und nach Alterung sowie der Cross-Over-Index nach Alterung herangezogen. Die Mittelwerte je Lieferstelle sind durchgezogen und mit einer dickeren Strichstärke dargestellt, während die dünneren, strichlinierten/strichpunktieren Linien die dazugehörigen Einzelwerte bilden. Aus der Abbildung geht hervor, dass anhand der Mittelwerte durchaus charakteristische Verläufe je Lieferstelle zu erkennen sind. Unter Berücksichtigung der Einzelwerte ist allerdings nicht für alle Lieferstellen eine eindeutige Zuordnung möglich. Die entsprechenden Netzdiagramme der übrigen Bindemittelarten und -sorten sind dem Anhang 3 zu entnehmen.

Bei Betrachtung aller untersuchten Bindemittel, wobei hier aus Gründen der Erkennbarkeit nur die Mittelwerte je Lieferstelle und die Gesamtmittelwerte je Bindemittelarten und -sorten herangezogen wurden, zeigt sich das in Abbildung 25 aufgeführte Bild.



**Abbildung 25:** Netzdiagramm (Pentagramm) zur Identifikation der Bindemittelart und -sorte

Eine Zuordnung der Bindemittelart und -sorte ist in fast allen Fällen möglich. Lediglich die PmB der Sorte 25/55-55 A und 45/85-50 A RC zeigen Überschneidungen, die keine vollständige Differenzierung der beiden Sorten ermöglichen. Hierzu stellte sich im Nachhinein heraus, dass die sechs Proben der Lieferstelle 1 nicht alle von einer Produktionsstelle stammten.

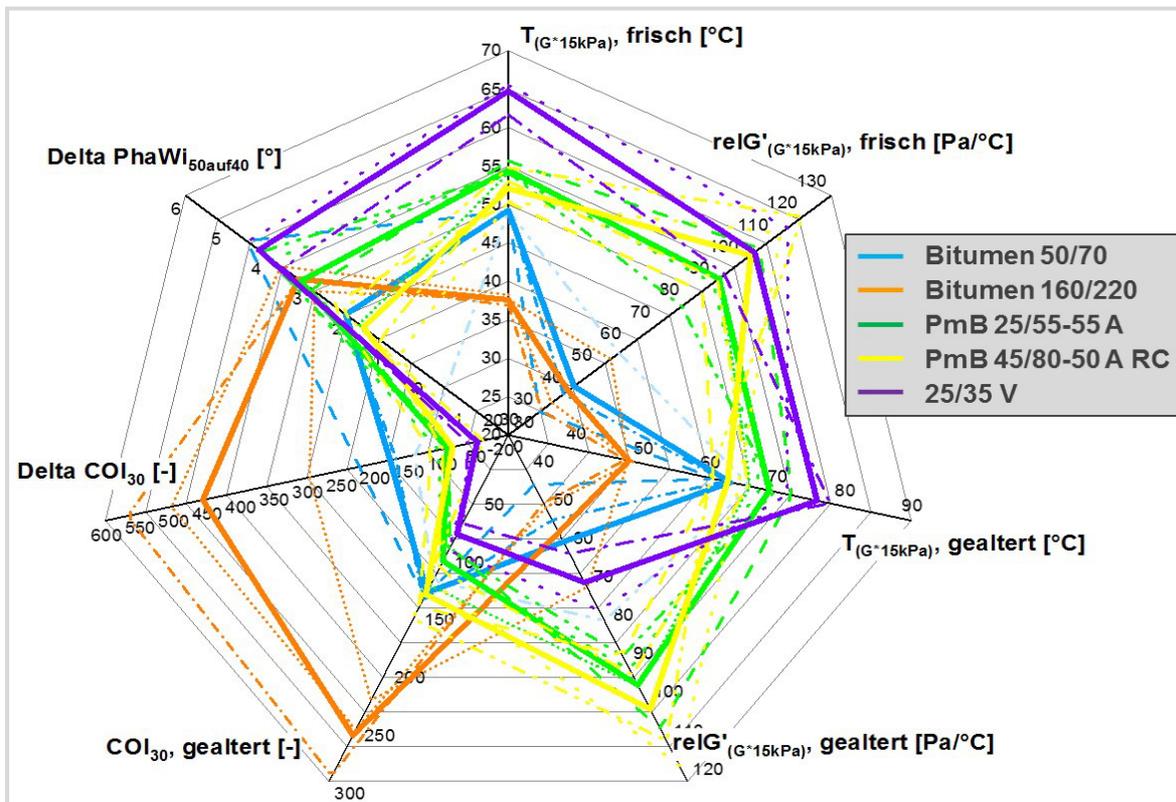
Bei der Betrachtung innerhalb einer Bitumenart und -sorte ist eine brauchbare bis gute Differenzierung aller Lieferstellen bei den Bitumen 160/220, bei den PmB 45/85-50 A RC und bei den viskositätsveränderten Bindemitteln 25/35 V möglich. Bei den Bitumen 50/70 und den PmB 25/55-55 A ist die Unterscheidung zwischen Lieferstelle 1 und 2 nicht möglich.

Mit dem Ziel, die bisher noch nicht eindeutige Differenzierung einiger Lieferstellen mit dem Untersuchungsansatz 2 zu ermöglichen, wurde die Auswertung der Ergebnisse des Untersuchungsansatzes 2 erweitert. Hinzugenommen wurde die Veränderung des Phasenwinkels zwischen 40 und 50 °C. Hier zeigen insbesondere die modifizierten Bindemittel häufig un stetige oder besondere Verläufe, die sich dann noch durch den Alterungsprozess signifikant verändern. Daher wurde hier die durch die Alterung verursachte Veränderung des Phasenwinkelunterschiedes gewählt.

$$\text{Delta PhaWi}_{50\text{auf}40} = ((\text{PhaWi } 50^\circ_{\text{gealtert}} - \text{PhaWi } 40^\circ_{\text{gealtert}}) - (\text{PhaWi } 50^\circ_{\text{frisch}} - \text{PhaWi } 40^\circ_{\text{frisch}})) \quad [^\circ]$$

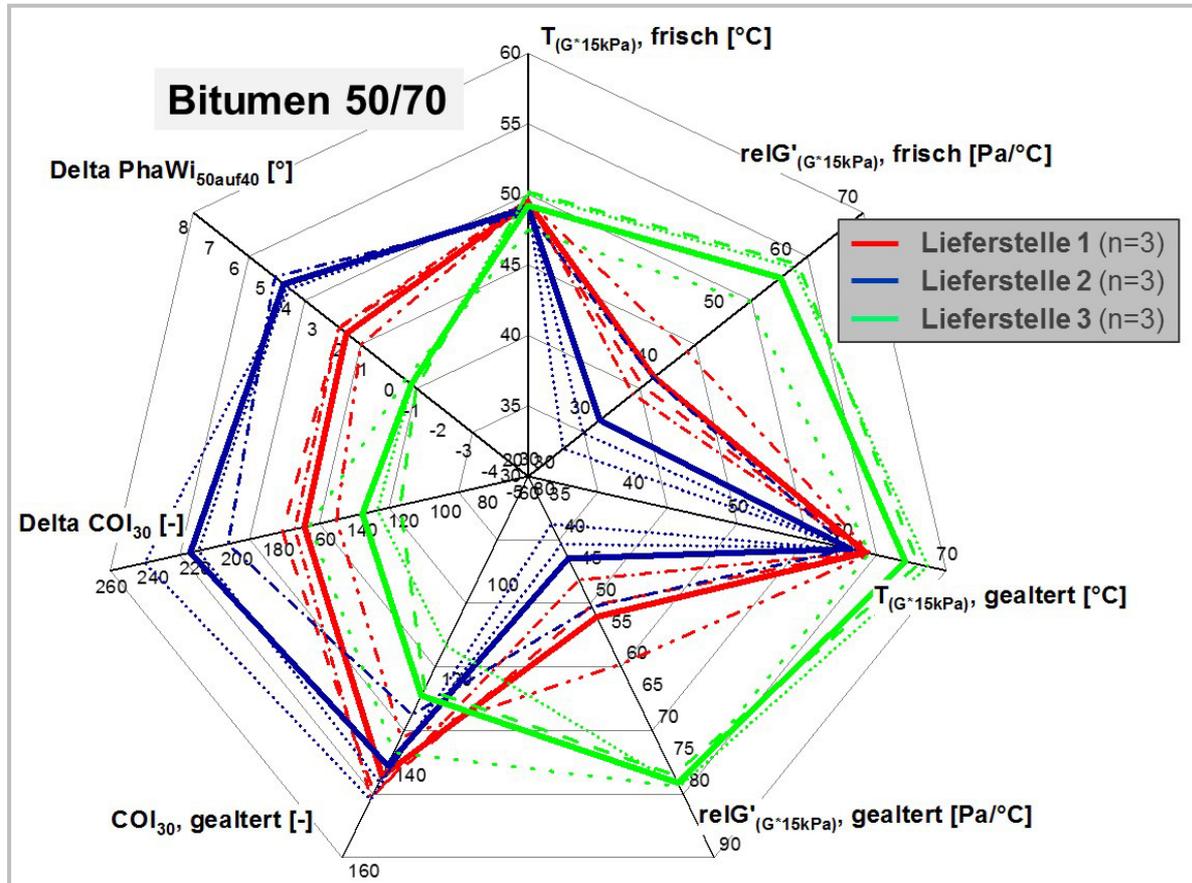
Darüber hinaus wurde die durch den Alterungsprozess bedingte Veränderung des Cross-Over-Indexes mit in die Auswertung eingebunden. Hierdurch ergibt sich ein 7achsiges Diagramm (Heptagramm). Dabei dokumentieren zwei Achsen das Bindemittel im frischen Zustand, drei Achsen berücksichtigen Kennwerte nach der Alterung und zwei Achsen zeigen die Veränderung infolge der Alterung.

Die mit dieser Achsenwahl vorgenommene Auswertung der Mittelwerte der Lieferstellen und der Gesamtmittelwerte je Bindemittelart und -sorte zeigt die Abbildung 26.



**Abbildung 26:** Netzdiagramm (Heptagramm) zur Identifikation der Bindemittelart und -sorte

Die Abbildung 27 zeigt die Ergebnisse der Bitumen 50/70, bei der die Differenzierung zwischen den Lieferstellen 1 und 2 bisher noch nicht gelungen war.



**Abbildung 27** Netzdiagramm (Heptagramm) zur Identifikation der Bitumen 50/70

Die Aufweitung der Auswertung auf sieben Achsen zeigt somit eine deutliche Verbesserung der Identifikation der untersuchten Bindemittel. Der Unterschied der Phasenwinkel zwischen 50 und 40 °C vor und nach Alterung zeigt eine klare Abgrenzung der drei Lieferstellen der Bitumen 50/70. Bei den Polymermodifizierten Bitumen 25/55-55 A kann durch die Aufweitung auf sieben Achsen ebenfalls eine hinreichende Identifizierung der Lieferstellen erreicht werden, auch wenn hier die Abgrenzung nicht ganz so deutlich ist (siehe Anhang 4). Die Auswertung der übrigen Bindemittel, getrennt nach den Lieferstellen, ist dem Anhang 4 zu entnehmen.

#### 4.4 Ansatz 3 (Komplexer Ansatz):

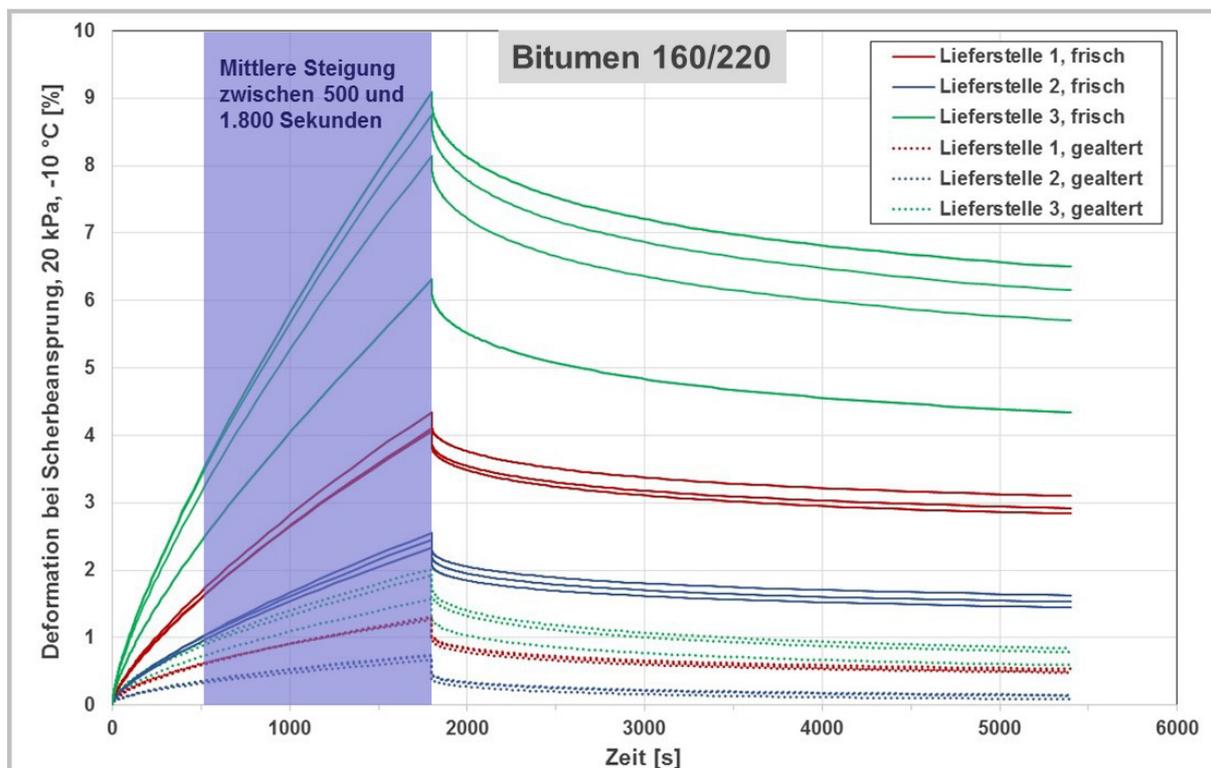
Detektion mit Hilfe eines komplexeren T/F-Sweeps

Mit dem dritten Untersuchungsansatz sollten neben dem einfachen Temperatur-Sweeps im Dynamischen Scherrheometer (DSR) gemäß AL DSR-Prüfung (T-Sweep), Ausgabe 2014 weitere Kennwerte im unteren Gebrauchstemperaturbereich bestimmt werden. Somit war der Untersuchungsansatz 2 die Basis, die um ei-

nen Scher-Kriechversuch bei  $-10\text{ °C}$  erweitert wurde. Wichtig war an dieser Stelle, dass dabei keine zwei getrennten Untersuchungsabläufe mit zwei Proben notwendig sind, sondern dies an einer Probe in einem komplexeren Untersuchungsablauf vorgenommen werden kann. Dazu wird mit der PP25-Geometrie (Platte-Platte-System mit 25 mm Durchmesser) zunächst der Scher-Kriechversuch bei  $-10\text{ °C}$  durchgeführt und anschließend wird die Temperatur für den Sweep nach AL DSR zwischen  $30$  und  $90\text{ °C}$  angefahren. Eine Beschreibung des Untersuchungsablaufes befindet sich in Anlage 5.

Auch wenn das primäre Ziel dieser Arbeit eine möglichst differenzierende Identifikation der Bindemittel(-art/-provenienz) ist, so stellen diese zusätzlichen Ergebnisse im Tieftemperaturbereich doch auch eine Basis zur komplexen Charakterisierung der Gebrauchseigenschaften dar. Möglicherweise können hiermit auch weitergehende Aussagen zur Performance der mit diesen Bindemitteln hergestellten Asphalte gemacht werden.

Die Scher-Kriechversuche wurden kraftgesteuert durchgeführt, da aufgrund der sehr unterschiedlichen Härten der untersuchten Bindemittel eine einheitliche Wegsteuerung – ohne Gefahr der Zerstörung der Probe – als nicht realistisch bzw. nicht hinreichend differenzierbar angesehen wurde. Dazu wurde eine einheitliche Kraft von  $20\text{ kPa}$  gewählt, bei der eine Schädigung der Bindemittelprobe nicht zu erwarten war. Zunächst wurde die Last von  $20\text{ kPa}$  für  $1.800$  Sekunden konstant gehalten (Kriechphase), um danach in einer Entlastungsphase von  $3.600$  Sekunden den elastischen und den viskoelastischen Rückverformungsanteil zu ermitteln. Die Abbildung 28 zeigt die Zeit-Dehnungsverläufe der untersuchten Bitumen 160/220 im frischen Zustand.



**Abbildung 28:** Zeit-Dehnungsverläufe der Bitumen 160/220 bei  $-10\text{ °C}$ , kraftgesteuert

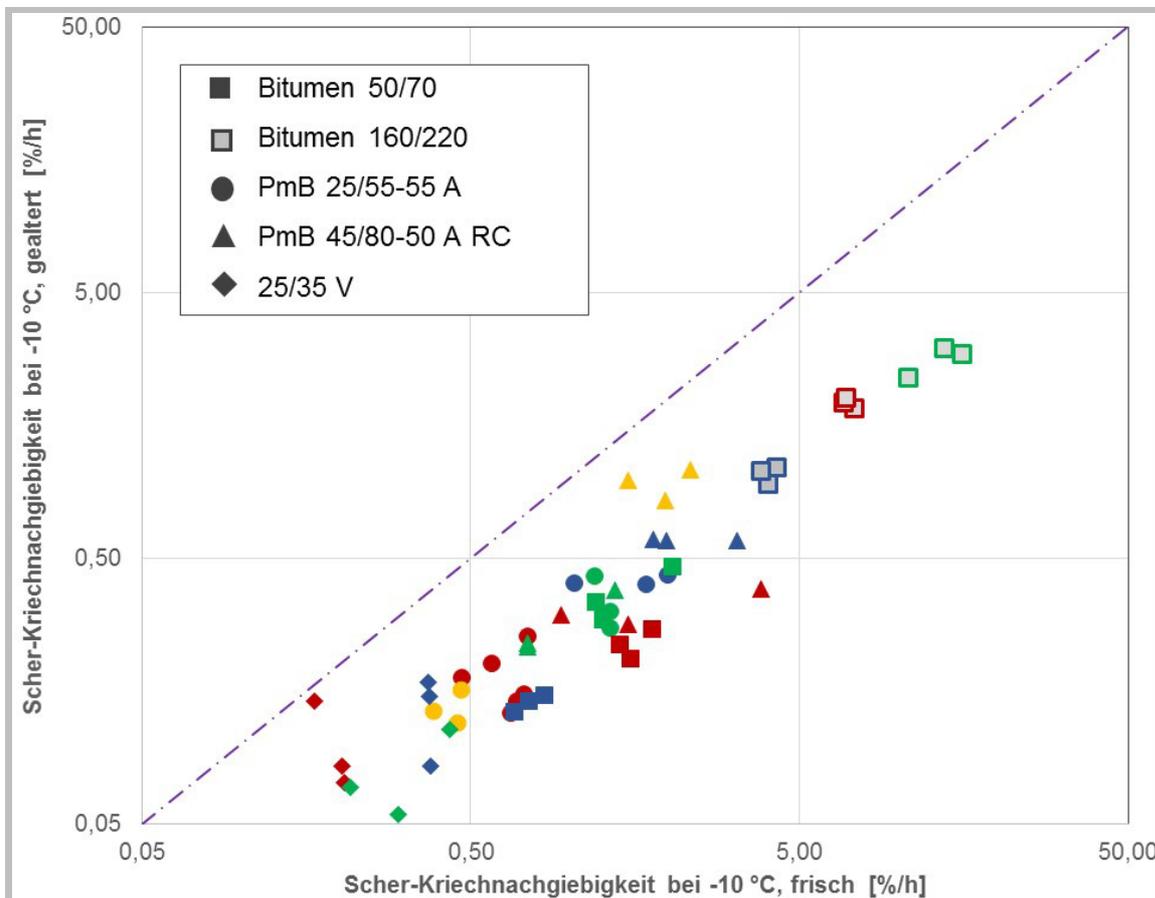
Nach der Auswertung aller Versuche wurde festgelegt, dass die Steigung der Deformation im Zeitfenster zwischen 500 und 1.800 Sekunden eine geeignete Kenngröße zur Beurteilung der Bindemittel im Tieftemperaturbereich zu sein scheint. Um dabei sinnvolle Dezimalzahlen zu bekommen, wurde eine Einheit in %/Stunde gewählt. Der so ermittelte Wert wird als Scher-Kriechnachgiebigkeit SKN<sub>-10</sub> bezeichnet.

$$\text{SKN}_{-10} = \frac{\text{Deformation (500 bis 1.800 Sekunden) [\%]}}{0,36111 \text{ [Stunden]}} \quad [\%/h]$$

Somit lagen für den Untersuchungsansatz 3 zwei weitere Kennwerte zur Identifikation der Bindemittel vor.

In der Abbildung 29 sind die Prüfergebnisse der frischen und der gealterten Proben in einem zweiachsigen Diagramm dargestellt.

Da die Prüfergebnisse in einem sehr großen Wertebereich liegen, wurde eine logarithmische Darstellung gewählt. Die Ergebnisse zeigen grundsätzlich die erwartete Gruppierung gemäß der Bindemittelhärte. Die Bitumen 160/220 haben demzufolge die höchste Kriechnachgiebigkeit, wobei die drei Lieferstellen durchaus signifikante Unterschiede zeigen (logarithmischer Maßstab!). Mit der Darstellung der „45-Grad-Linie“ kann zudem der Effekt der Alterung (Abstand zu dieser Linie) abgeschätzt werden.



**Abbildung 29:** Scher-Kriechnachgiebigkeiten bei -10 °C vor und nach Alterung

Die Entlastungsphase von einer Stunde, zur Ermittlung der elastischen und der viskoelastischen Rückverformungsanteile ergab keinen zusätzlichen Informationsgewinn. Im Sinn der möglichst kurzen Gesamtuntersuchungsdauer ist dieser Untersuchungsteil entbehrlich.

Einige der untersuchten Bindemittel zeigten unmittelbar mit der Lastaufbringung einen Dehnungssprung (siehe Anhang 6.1 und 6.2), der unter Berücksichtigung der Prüfbedingungen, der jeweiligen Bindemittelhärten und der Höhe der Sprünge nicht zwingend als elastischer Dehnungsanteil eingestuft werden kann. Eine eindeutige Erklärung hierfür konnte abschließend nicht gefunden werden. Da nur der Wertebereich von 500 bis 1.800 Sekunden auswerterelevant ist, sind die Sprünge für den gewählten Kennwert nicht von Bedeutung.

Mit den Erkenntnissen zur Gestaltung der Netzdiagramme aus den Ergebnissen des Untersuchungsansatzes 2 wurde dann eine sinnvolle Auswahl und Anzahl an Achsen für den Untersuchungsansatz 3 gesucht. Dabei fiel die Auswahl auf die Veränderung der Scher-Kriechnachgiebigkeit infolge der Laboralterung.

$$\text{Delta SKN}_{-10} = \text{SKN}_{-10, \text{frisch}} - \text{SKN}_{-10, \text{gealtert}} \quad [\%/h]$$

Abschließend wurden die sieben Achsen des Untersuchungsansatzes 2 um eine weitere Achse erweitert, sodass zur Visualisierung der Ergebnisse des Ansatzes 3 8achsige Diagramme (Oktagramme) verwendet wurden. Die Abbildung 30 zeigt die Mittelwerte der Lieferstellen und die Gesamtmittelwerte der untersuchten Bindemittelarten und -sorten in dieser Darstellung. Am Beispiel der PmB 25-55-55 A sind in Abbildung 31 alle Einzelwerte der Lieferstellen und die jeweiligen Mittelwerte aufgetragen. Die entsprechenden Darstellungen der anderen Bindemittel sind dem Anhang 7 zu entnehmen.

Mit der zusätzlichen Ergebnisachse aus den Untersuchungen im Tieftemperaturbereich konnte nur noch ein vergleichsweise geringer Informationszugewinn für die Identifikation der Bindemittel gewonnen werden. Allerdings liegt mit diesen zusätzlichen Untersuchungen ein Kennwert vor, der ggf. das Kälteverhalten bitumenhaltiger Bindemittel beschreibt. Dies müsste anhand von vergleichenden Untersuchungen mit anerkannten Prüfmethode zur Bestimmung des Kälteverhaltens validiert werden (z.B. BBR).

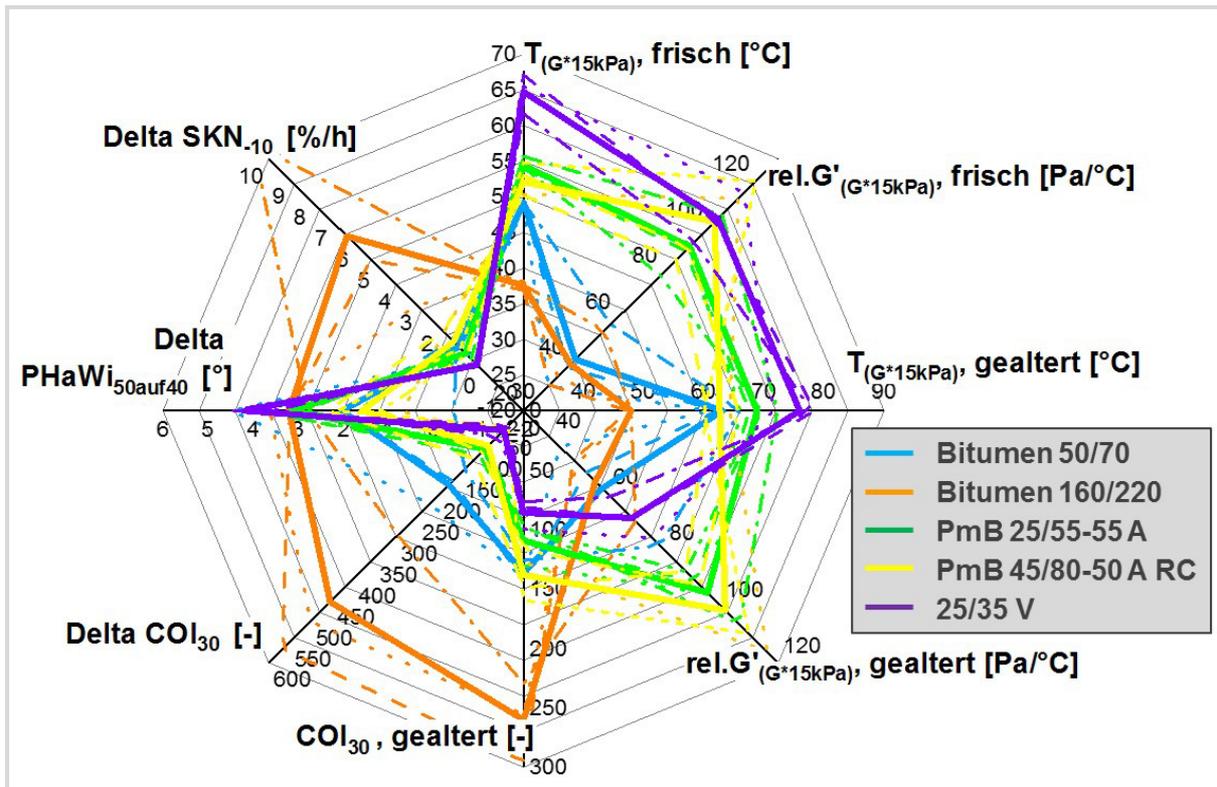


Abbildung 30: Netzdiagramm (Oktagramm) zur Identifikation der Bindemittelart und -sorte

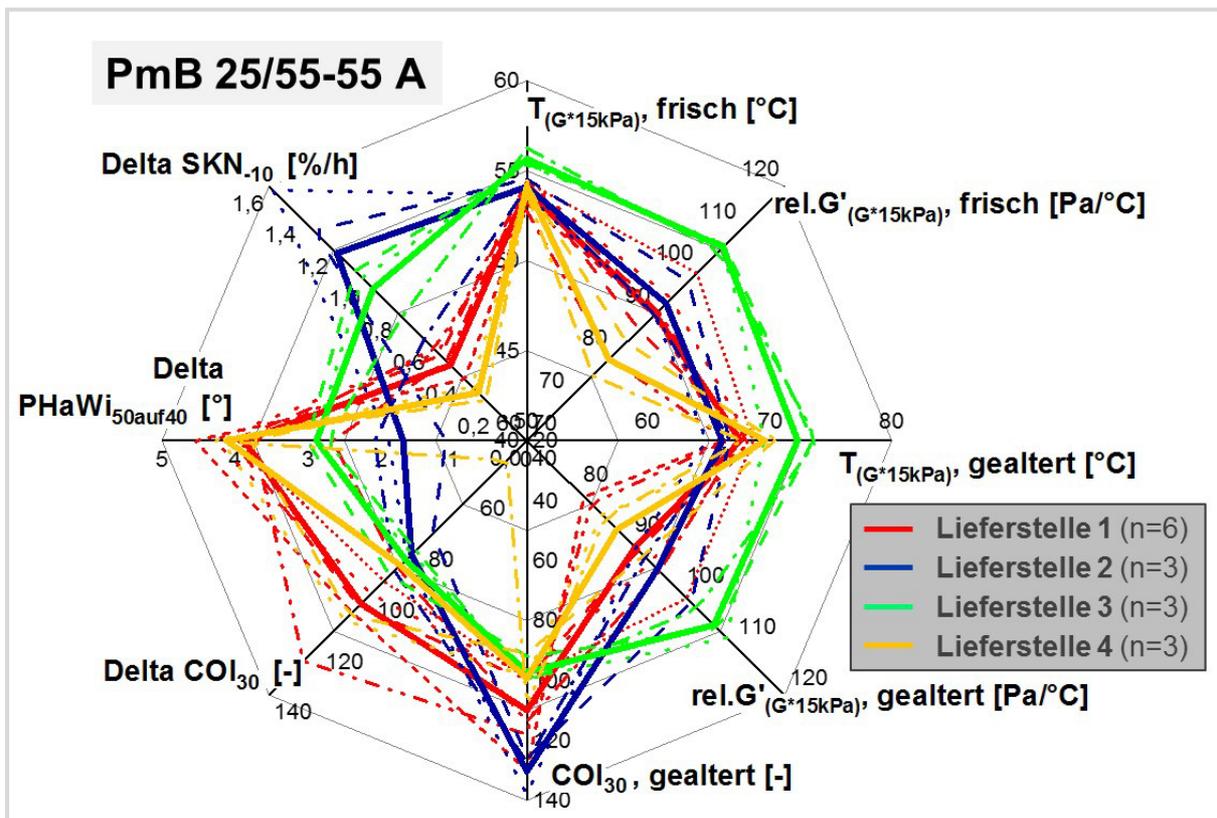


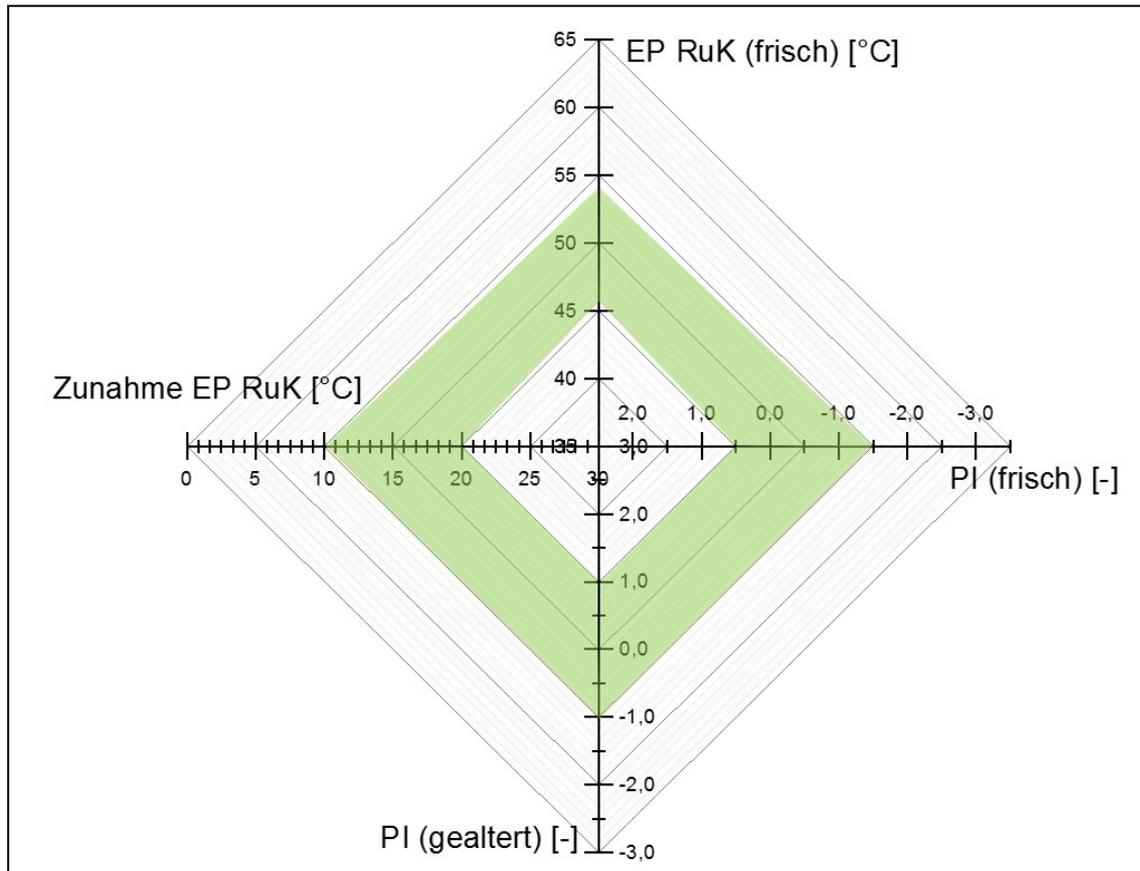
Abbildung 31: Netzdiagramm (Oktagramm) zur Identifikation der PmB 25/55-55 A

## 5. Empfehlungen und Zusammenfassung

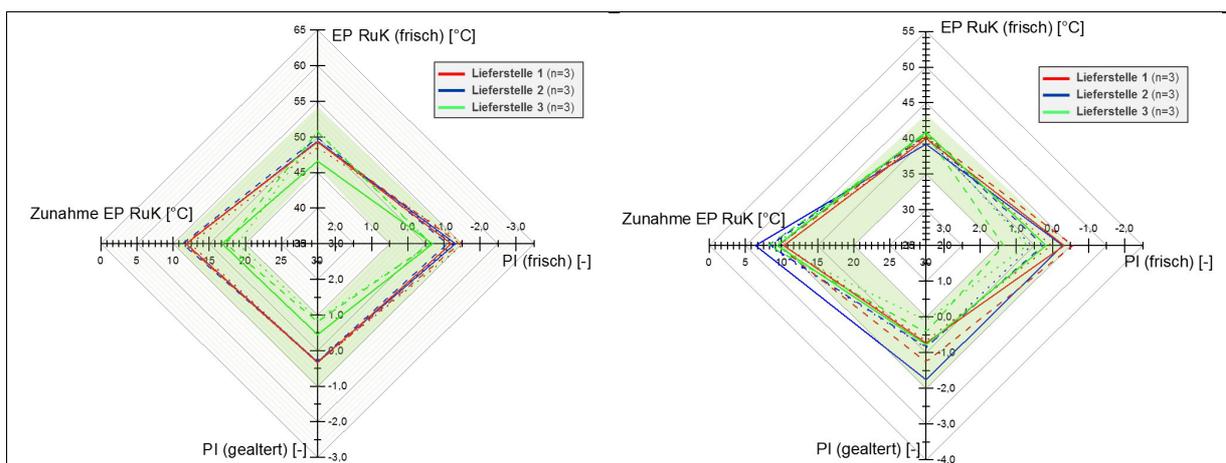
Mit den Untersuchungen zur Identifikation (Provenienz/Raffinerie/Bitumensorte) bitumenhaltiger Bindemittel konnte gezeigt werden, dass bereits mit den konventionellen Untersuchungsmethoden (Erweichungspunkt Ring und Kugel sowie Nadelpenetration) ein brauchbarer Ansatz hierzu vorliegt. Allerdings ist hierzu die Untersuchung der Bindemittel jeweils vor und nach einer erweiterten RTFOT-Alterung (180 Minuten bei 175 °C) notwendig. Nach bisherigen Erkenntnissen reicht eine einfache RTFOT-Alterung nicht aus, um eine hinreichende Differenzierung zu erreichen. Eine brauchbare Äquivalenz zur kombinierten RTFOT-/PAV-Alterung wurde im Rahmen von Voruntersuchungen nachgewiesen. Erst durch diesen Behandlungsschritt ergeben sich Möglichkeiten einer Differenzierung auch zwischen unterschiedlichen Lieferstellen. Die Bestimmung des Penetrationsindex (Rechenwerte aus den beiden Prüfergebnissen) hat sich als hilfreicher Kennwert herausgestellt. Des Weiteren lassen sich durch eine prozentuale Darstellung der Veränderungen infolge Alterung (siehe Abbildung 13) einige individuelle Unterschiede von Bindemitteln gleicher Sorte erkennen. Der Ansatz 1 – anhand der konventionellen Prüfmethode – ermöglicht allerdings bei einigen Lieferstellen keine hinreichende Differenzierung. Auch die umfassende Darstellung aller Untersuchungsergebnisse in einem mehrachsigen Diagramm verbessert die Differenzierbarkeit nicht. Bei Betrachtung der Mittelwerte der Bindemittelarten und -sorten ergibt sich mit dieser 9achsigen Darstellung aber eine recht gute Identifikationsmöglichkeit der Art und Sorte.

Für den einfachen Ansatz kann entweder die in Kapitel 4.2 beschriebene zweiachsige Darstellung verwendet werden, oder die in der Abbildung 32 dargestellte vierachsige Visualisierung. Das in der Abbildung 32 aufgeführte Beispiel wäre für ein Bitumen 50/70 geeignet. Hier ist z.B. für den Erweichungspunkt Ring und Kugel die Markierung des erforderlichen Grenzbereichs möglich, während für drei weiteren Kriterien vorläufige Erfahrungswerte definiert wurden. Der Grenz- bzw. Erfahrungsbereich ist grün hinterlegt. Die Achsen wurden so skaliert, dass der Grenz-/Erfahrungsbereich etwa in der Mitte der Achse liegt. Eine bedingte Wertung ist durch die Richtung der Skalierung vorgenommen worden. So wurde die Veränderung des Erweichungspunktes Ring und Kugel umgekehrt skaliert, womit außen liegende Messwerte eine vermutlich bessere Qualität dokumentieren.

In der Abbildung 33 sind die Messergebnisse der Bitumen 50/70 und 160/220 aufgetragen. Hierzu wurden unterschiedliche Diagrammskalierungen gewählt. Ausgenommen hiervon wurde die Veränderung des Erweichungspunktes Ring und Kugel infolge der modifizierten RTFOT-Alterung. Denkbar wäre aber auch hier eine sortenspezifische Skalierung.



**Abbildung 32:** Empfohlene vierachsige Darstellung mit Grenz-/Erfahrungsbereichen für ein Bitumen 50/70



**Abbildung 33:** Darstellung der Messergebnisse (50/70 links, 160/220 rechts) mit Grenz-/Erfahrungsbereichen

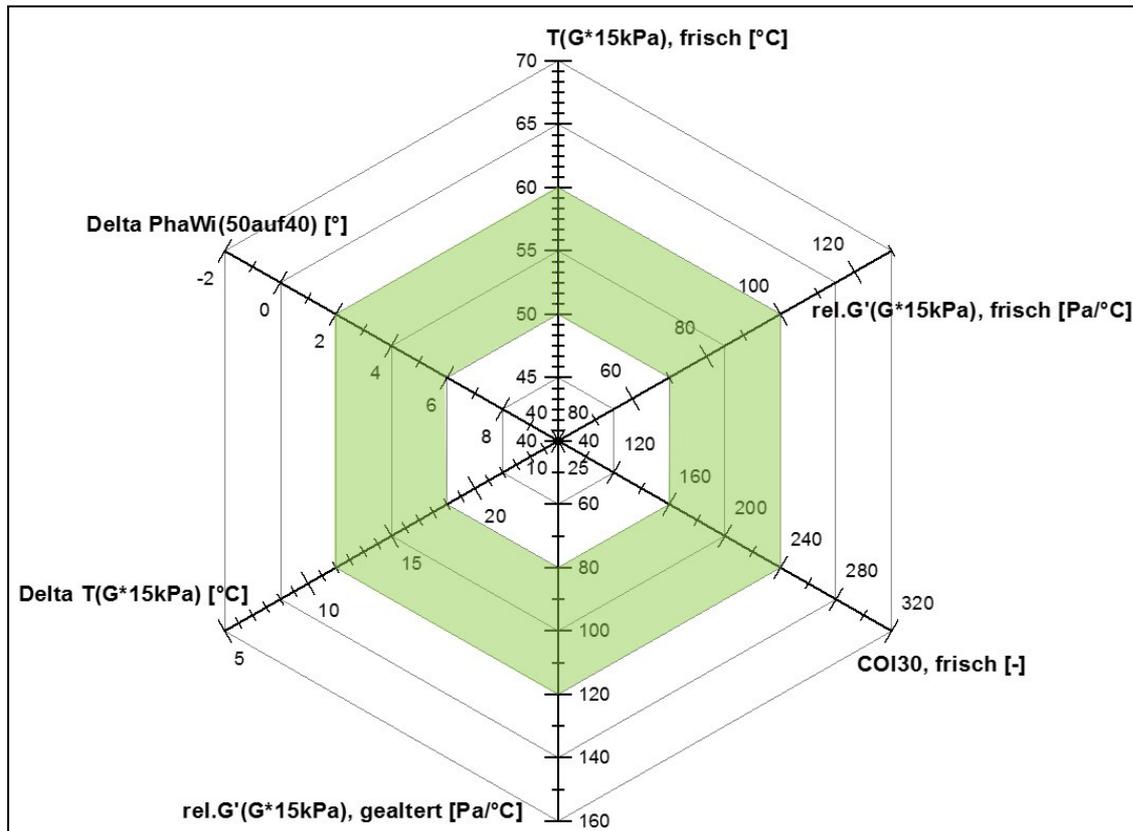
Der Untersuchungsansatz 2 basiert auf den Ergebnissen eines Temperatursweeps im DSR nach der AL DSR-Prüfung (T-Sweep) [10]. Die Prüfungen liefern umfassende Kennwerte im höheren und hohen Gebrauchstemperaturbereich und darüber hinaus. Kennwerte zum mittleren oder tiefen Gebrauchstemperaturbereich können hieraus nicht oder nur sehr perspektivisch abgeleitet (extrapoliert) werden. Diese Prüfungen werden seit 2013 regelmäßig im Rahmen der zusätzlichen Bindemitteluntersuchungen, die gemäß [1, 2, 3, 4] gefordert werden, durchgeführt. Allerdings wurden diese Versuche bisher nur an frischen Bindemittelproben durchgeführt, sodass diese Datenbasis in den hier durchgeführten Betrachtungen nicht mit herangezogen werden konnten. Auch für den Ansatz 2 wird eine Laboralterung als zwingend notwendig erachtet, um die erforderliche Differenzierbarkeit zu erreichen. Mit der Auswertung der Daten vor und nach Laboralterung wurden Kennwerte gesucht, die eine möglichst gute Differenzierbarkeit und damit die Identifikation der einzelnen Bindemittelproben ermöglichen. Die für die Untersuchungen nach [10] als typisch und bereits bekannt eingestufte Äquisteifigkeitstemperatur bei einem Komplexen Schermodul ( $G^*$ ) von 15 kPa ( $T_{(G^*15\text{kPa})}$ ) wurde als Kennwert für die „Härte“ des Bindemittels festgelegt (im frischen Zustand sowie die Veränderung durch Alterung). Bei der Suche nach weiteren sinnvollen Kennwerten fiel die Wahl auf den relativen Speichermodul bei  $G^*$  von 15 kPa ( $\text{rel}G'_{(G^*15\text{kPa})}$ ). Auch hier wurden die Werte vor und nach Laboralterung ausgewählt, wobei sich hier der absolute Wert nach der Alterung als differenzierender dargestellt hat.

Bei einem temperaturveränderlichen viskoelastischen Material kann i.a. ein Temperaturpunkt definiert werden, bei der der Speichermodul (elastischer Steifigkeitsanteil) und der Verlustmodul (viskoser Steifigkeitsanteil) identisch ( $G' = G''$ ) sind. Bei diesen Bedingungen beträgt der Phasenwinkel  $45^\circ$ . Da diese Temperaturkennstelle (Cross-Over-Punkt) bei vielen der untersuchten Bindemittel erst unter  $30^\circ\text{C}$  erreicht wird, wurde eine Indexdarstellung mit Bezug auf dieses Verhältnis bei  $30^\circ\text{C}$  gewählt (Cross-Over-Index bei  $30^\circ\text{C}$ ,  $\text{COI}_{30}$ ). Gewählt wurde hier nur der Wert im frischen Zustand.

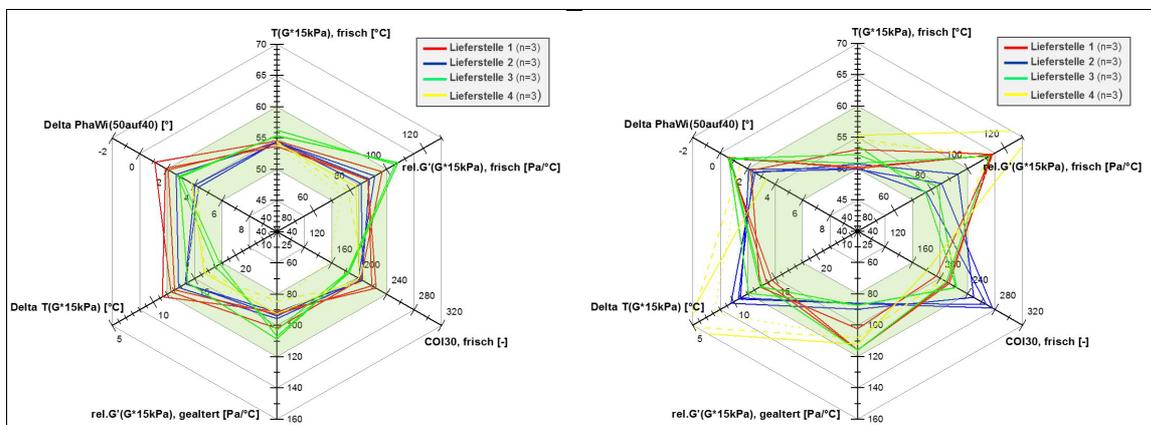
Der letzte ausgewählte Kennwert des Untersuchungsansatzes 2 berücksichtigt die Differenz der Phasenwinkel zwischen  $50$  und  $40^\circ\text{C}$ . In diesem Temperaturbereich lassen sich häufig unstetige Kurvenverläufe erkennen, die sich nach der Alterung (siehe z.B. Abbildung 20 und Anhang 2.3) oftmals signifikant verändern. Daher wurde als Kennwert die durch Alterung hervorgerufene Veränderung der Differenz der Phasenwinkel gewählt.

Analog zum Netzdiagrammvorschlag für den einfachen Ansatz wurde auch für den erweiterten Ansatz mit sechsachsiger Darstellung ein Skalierungsbereich und ein vorläufiger Erfahrungsbereich (grün hinterlegt) sortenabhängig definiert. Die Abbildung 34 zeigt eine solche sechsachsige Darstellung, die für ein Polymermodifiziertes Bitumen 25/55-55 A ausgelegt wurde. In der Abbildung 35 sind die Messwerte in eine solche Diagrammvorlage eingetragen. Abgebildet sind die Messwerte der Polymer-

modifiziertes Bitumen 25/55-55 A und der 45/85-50 A RC. Für beide Bindemittelsorten wurde in eine identische Diagrammvorlage eingetragen, womit die Unterschiede der recht ähnlichen Bindemittelsorten deutlicher werden. Besonders hervorzuheben ist hier der Verlauf der Bindemittelproben der Lieferstelle 4 des 45/85-50 A RC, bei dem ein hoher Elastifizierungsgrad vermutet werden kann.

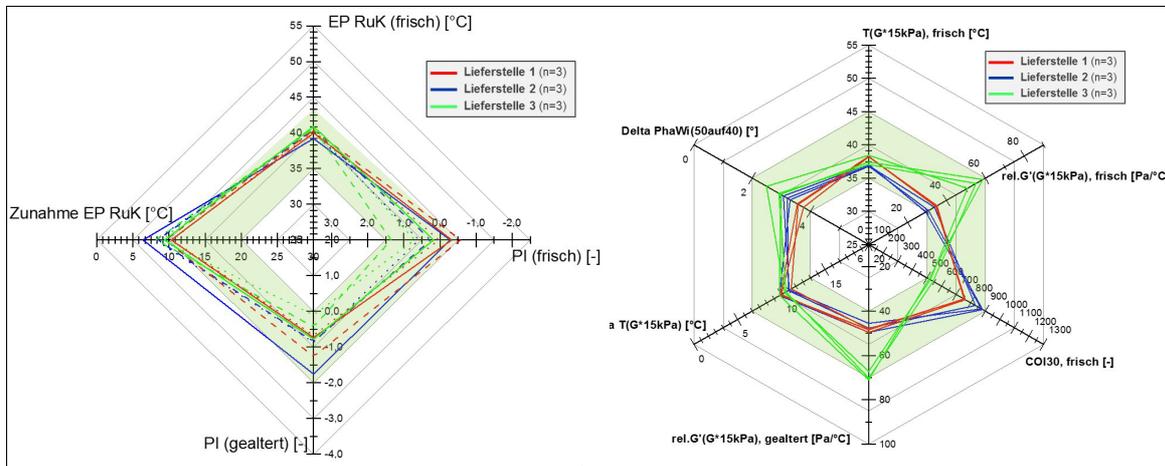


**Abbildung 34:** Empfohlene sechssachsig Darstellung mit Erfahrungsbereichen für ein Polymermodifiziertes Bitumen 25/55-55 A



**Abbildung 35:** Darstellung Messergebnisse (25/55-55 A links, 45/85-50 A RC rechts) mit Erfahrungsbereichen (beides für 25/55-55 A)

Abschließend zeigt die Abbildung 36 eine Gegenüberstellung der beiden Prüf- und Auswertemethoden anhand einer Bitumensorte (hier 160/220).



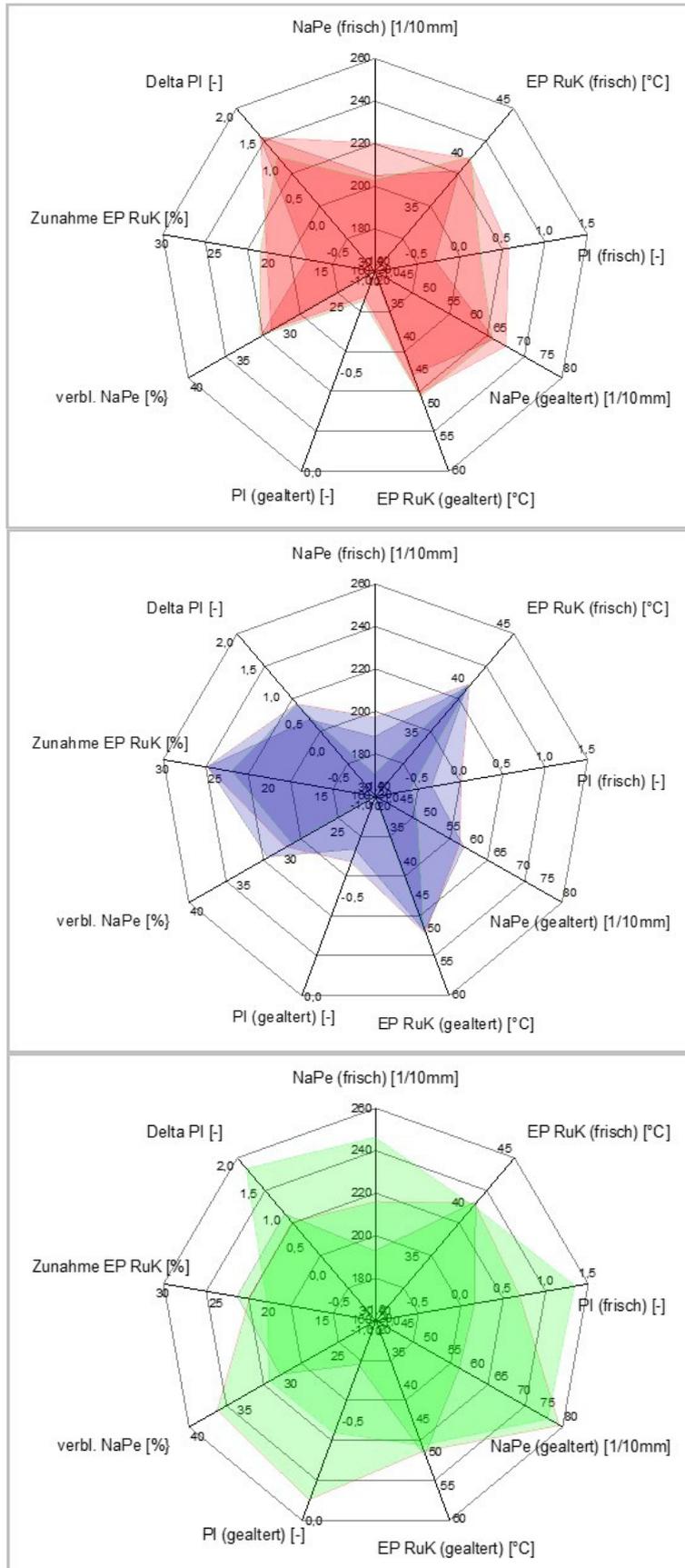
**Abbildung 36:** Darstellung Messergebnisse mit den beiden Untersuchungsansätzen (jeweils 160/220) mit Erfahrungsbereichen

Hieran wird deutlich, dass mit dem erweiterten Untersuchungsansatz (2) ein höheres Identifikationspotential gegenüber dem einfachen Untersuchungsansatz (1) vorliegt. Insbesondere mit den neuen, stark differenzierenden Parametern „relativer Speichermodul bei Äquisteifigkeitstemperatur“ und „Cross-Over-Index bei 30 °C“ lassen sich die rheologischen Besonderheiten der Lieferstellen gut herausstellen.

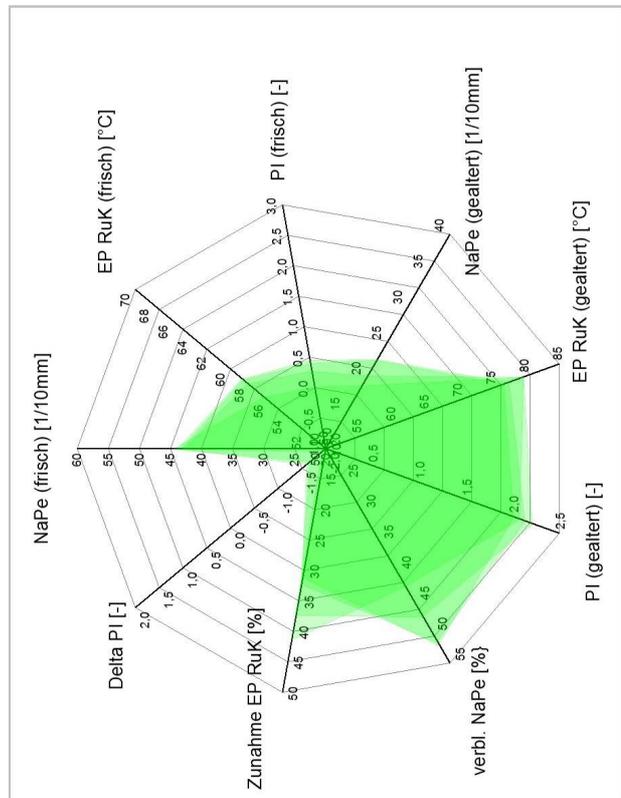
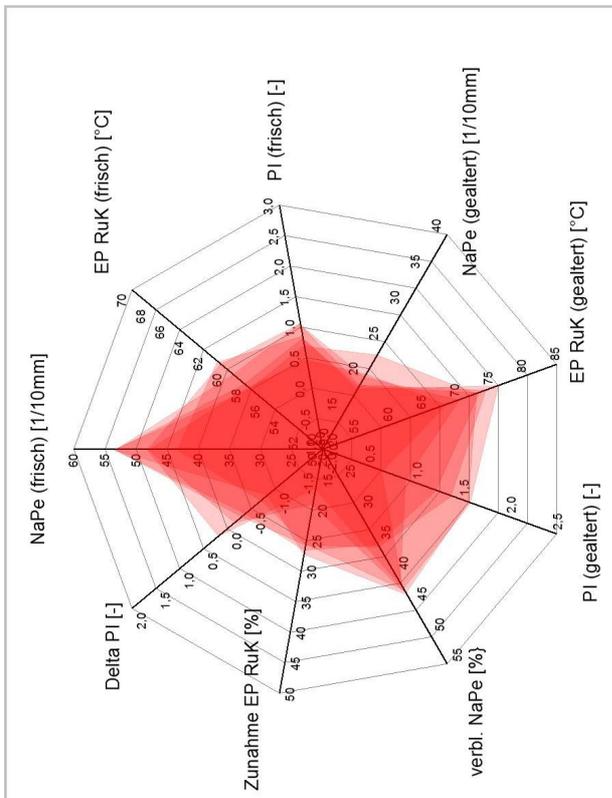
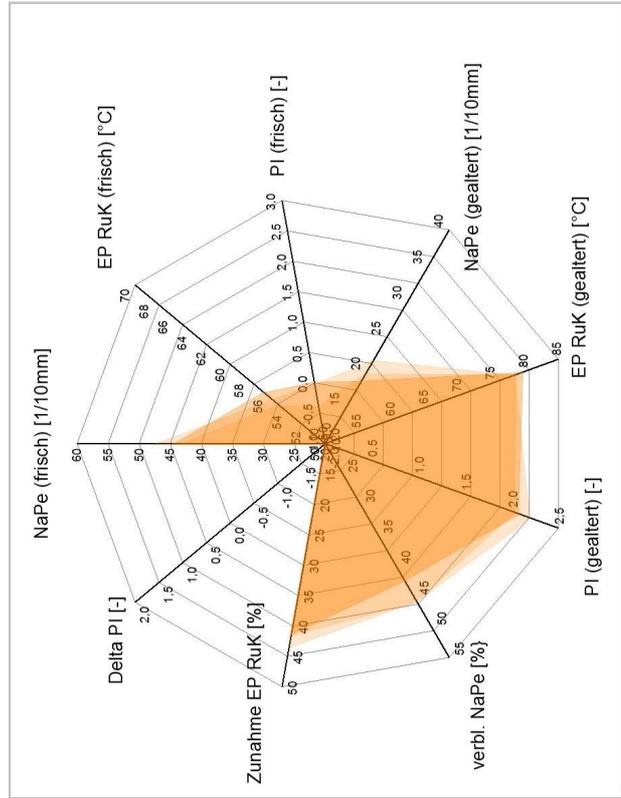
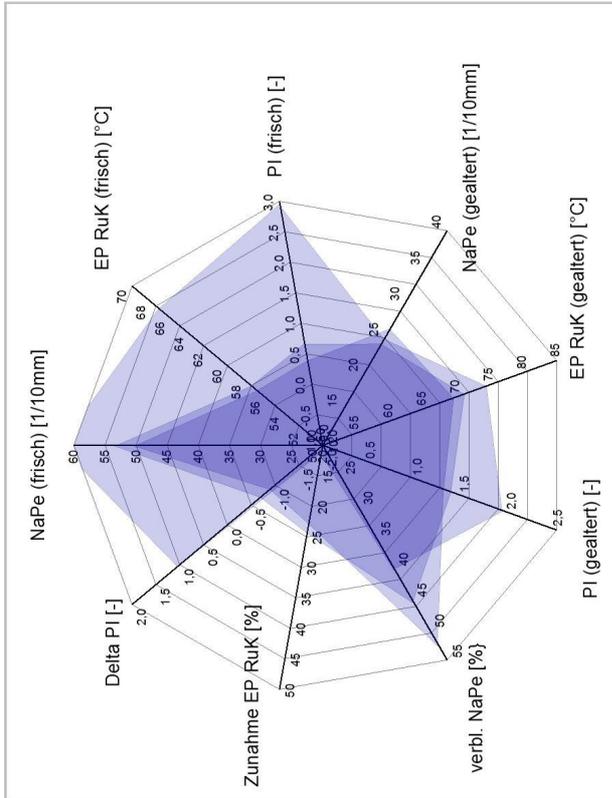
## Literatur

- [1] **ARS 11/2012:** Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 11/2012 (ARS 11/2012)-Änderungen und Ergänzungen des Technischen Regelwerkes Asphaltstraßen. s.l. : Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2012
- [2] **TL Asphalt-StB 07/13:** Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln, Ausgabe 2007, Fassung 2013
- [3] **TL Bitumen-StB 07/13:** Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln, Ausgabe 2007, Fassung 2013
- [4] **ZTV Asphalt-StB 07/13:** Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln, Ausgabe 2007, Fassung 2013
- [5] **DIN EN 1427. 2007:** Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung des Erweichungspunktes - Ring- und Kugel-Verfahren. Berlin : Beuth Verlag, 2007.
- [6] **DIN EN 1426. 2007:** Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Nadelpenetration. Berlin : Beuth Verlag, 2007
- [7] **DIN EN 12607-1. 2007:** Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft - Teil 1: RTFOT-Verfahren. Fassung 2014. Berlin : Beuth Verlag, 2007
- [8] **DIN EN 14769. 2012:** Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Beschleunigte Langzeit-Alterung mit einem Druckalterungsbehälter (PAV). Berlin : Beuth Verlag, 2012
- [9] **DIN EN 14770. 2012.** Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung des komplexen Schermoduls und des Phasenwinkels - Dynamisches Scherrheometer (DSR). Berlin : Beuth Verlag, 2012
- [10] **AL DSR-Prüfung (T-Sweep):** Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Verformungsverhaltens von Bitumen und bitumenhaltigen Bindemitteln im Dynamischem Scherrheometer (DSR) – Durchführung im Temperatursweep, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) und Arbeitsgruppe „Asphaltbauweisen“, Köln, Ausgabe 2014
- [11] **Radenberg, M.; Drewes, B.:** Erweiterte Bitumenprüfungen – Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus der Erfahrungssammlung, FGSV Asphaltstraßentagung 2017, Vortrag
- [12] **Van Gooswilligen, G.; De Bats, FTh.; Harrison, T.:** Quality of paving grade bitumen – a practical approach in terms of functional tests, Proceedings of the 4th Eurobitume Symposium, Madrid, pp. 290-297, 1989
- [13] **Höppel, H.-E.:** Qualität von Straßenbaubitumen – Gedanken zu einer neuen Betrachtungsweise, Bitumen, Heft 1, 1991
- [14] **Bednarek, P.:** Beurteilung der Bitumenqualität auf Basis eines komplexen Netzdiagramms, Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Verkehrswegebau der Ruhr-Universität Bochum, Bochum 2015 (unveröffentlicht)
- [15] **AiF-Projekt 16639 N/1. 2014:** Einfluss der chemischen, rheologischen und physikalischen Grundeigenschaften von Straßenbaubitumen auf das Adhäsionsverhalten unterschiedlicher Gesteinskörnungen – Schlussbericht, *Vorhaben 16639 N/1*, Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswegebau, Ruhr Universität Bochum, 2014
- [16] **Spiegl, M.; Steidl, H.:** Entwicklungen von gebrauchsvorhaltensorientierten Bitumenspezifikationen, GESTRATA Bauseminar 2009

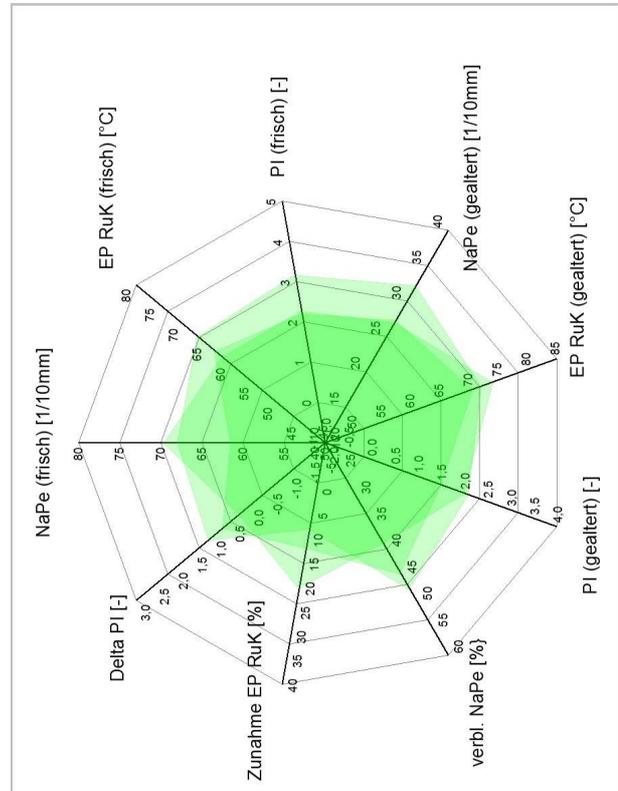
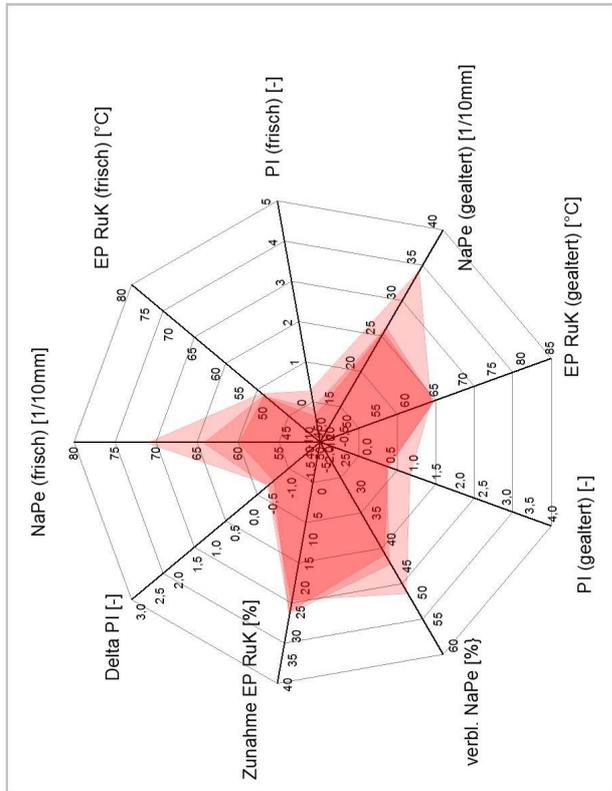
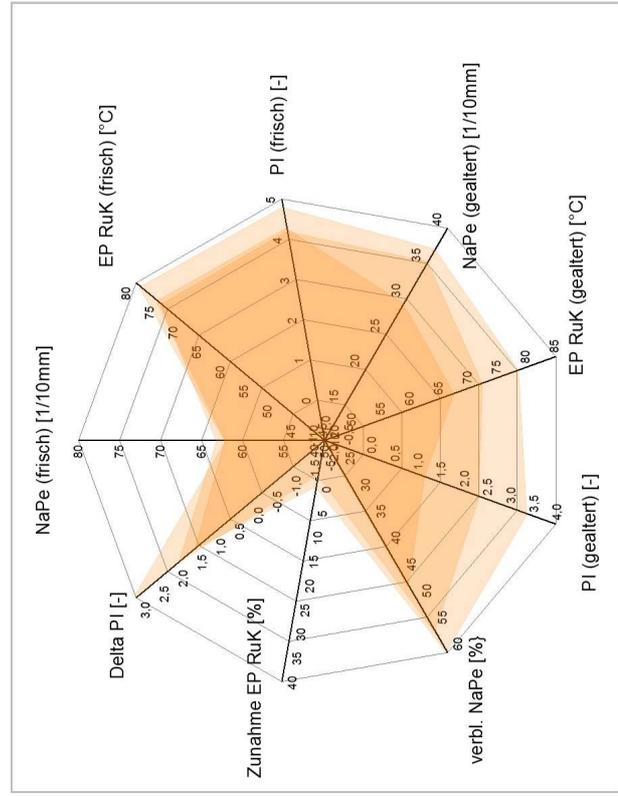
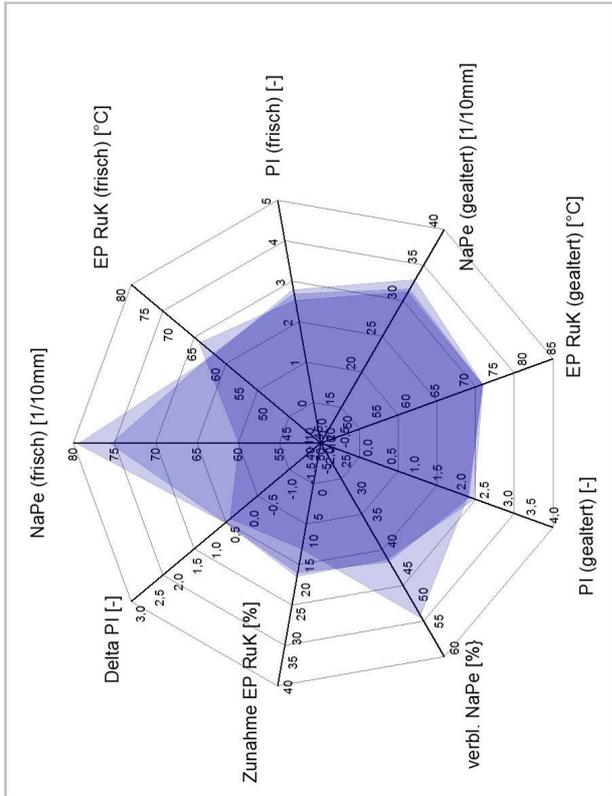
**Anhang 1.1: Netzdiagramme – Ansatz 1 – Bitumen 160/220 (getrennt nach Lieferstellen)**



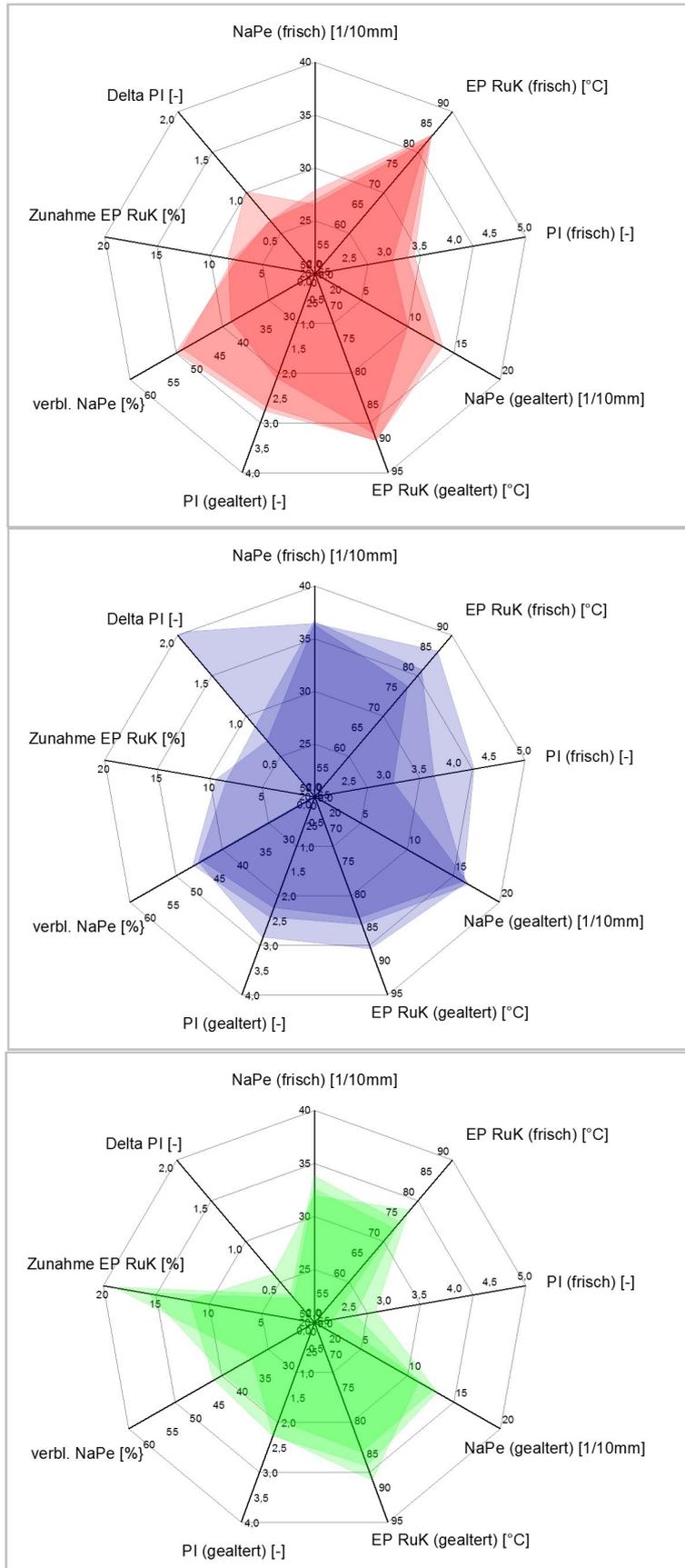
Anhang 1.2: Netzdiagramme – Ansatz 1 – PmB 25/55-55 A (getrennt nach Lieferstellen)



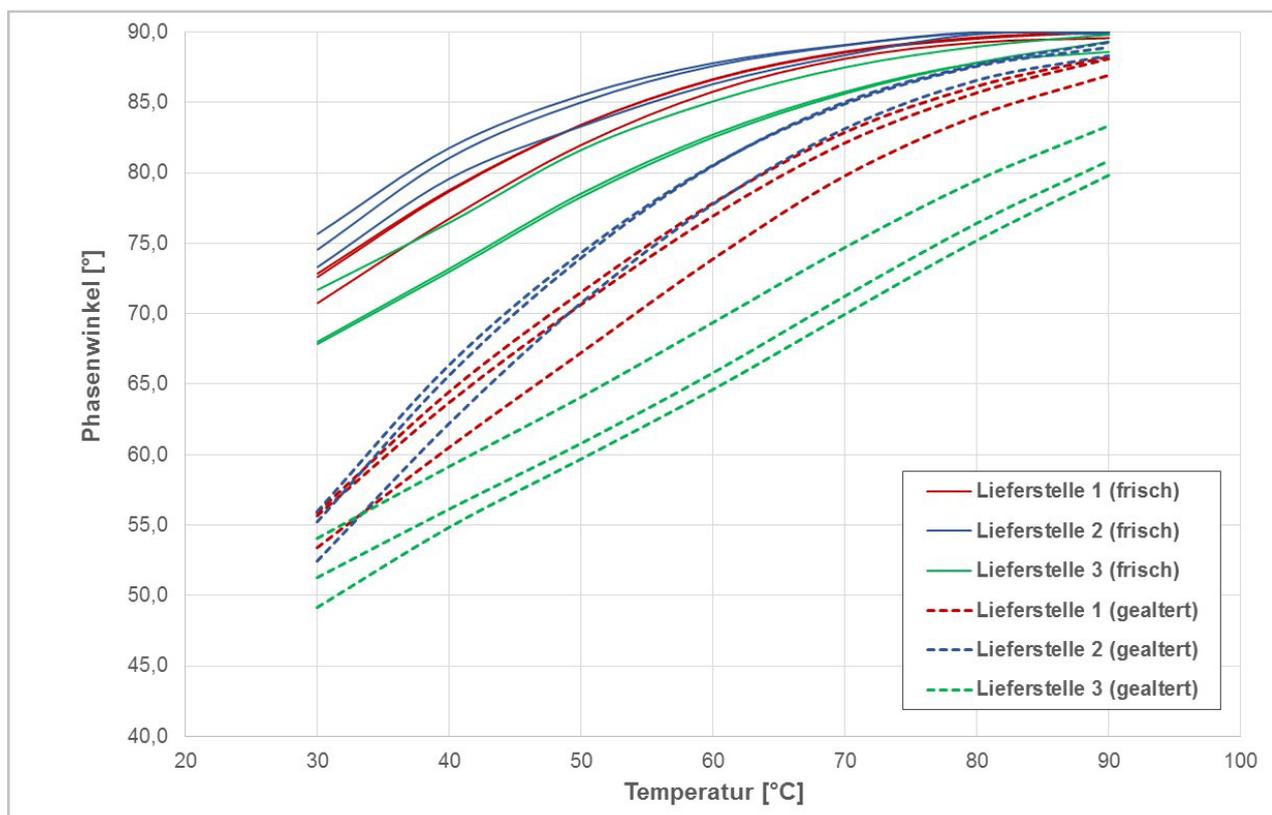
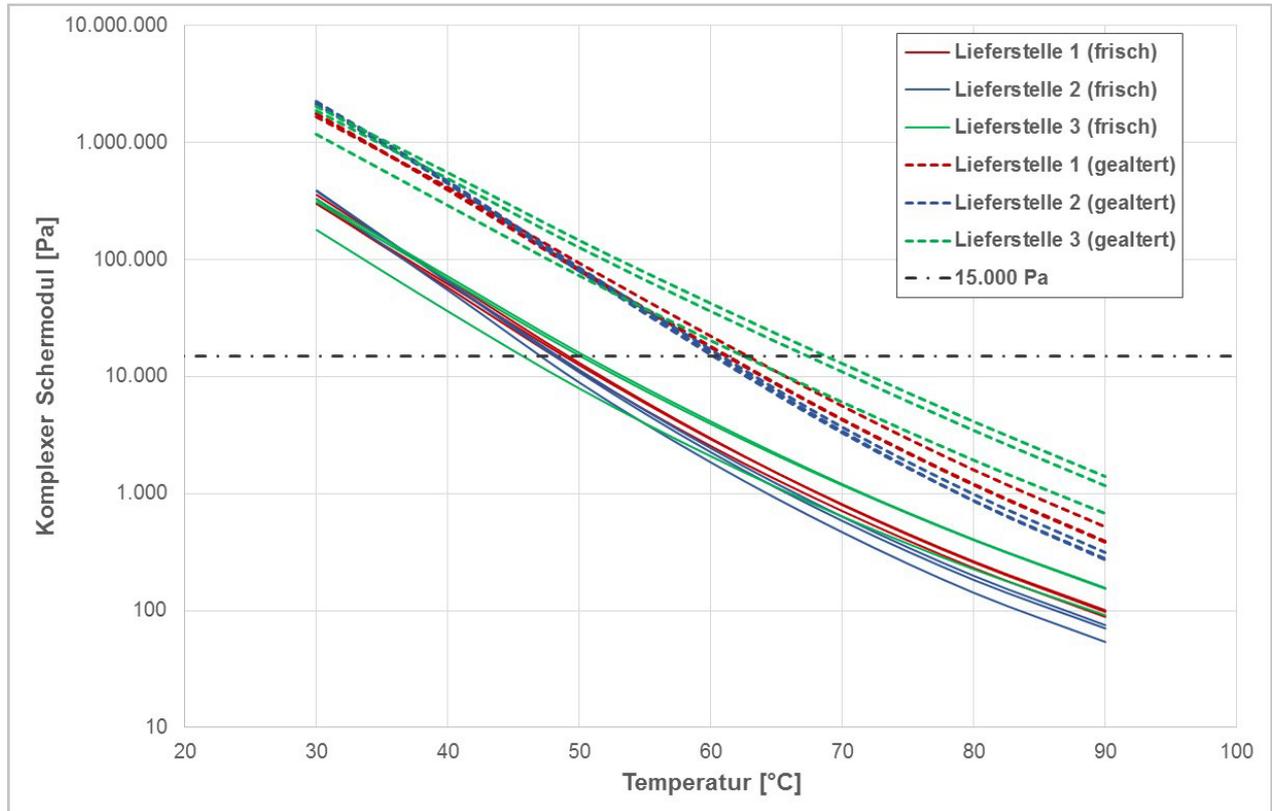
Anhang 1.3: Netzdiagramme – Ansatz 1 – PmB 45/85-50 A RC (getrennt nach Lieferstellen)



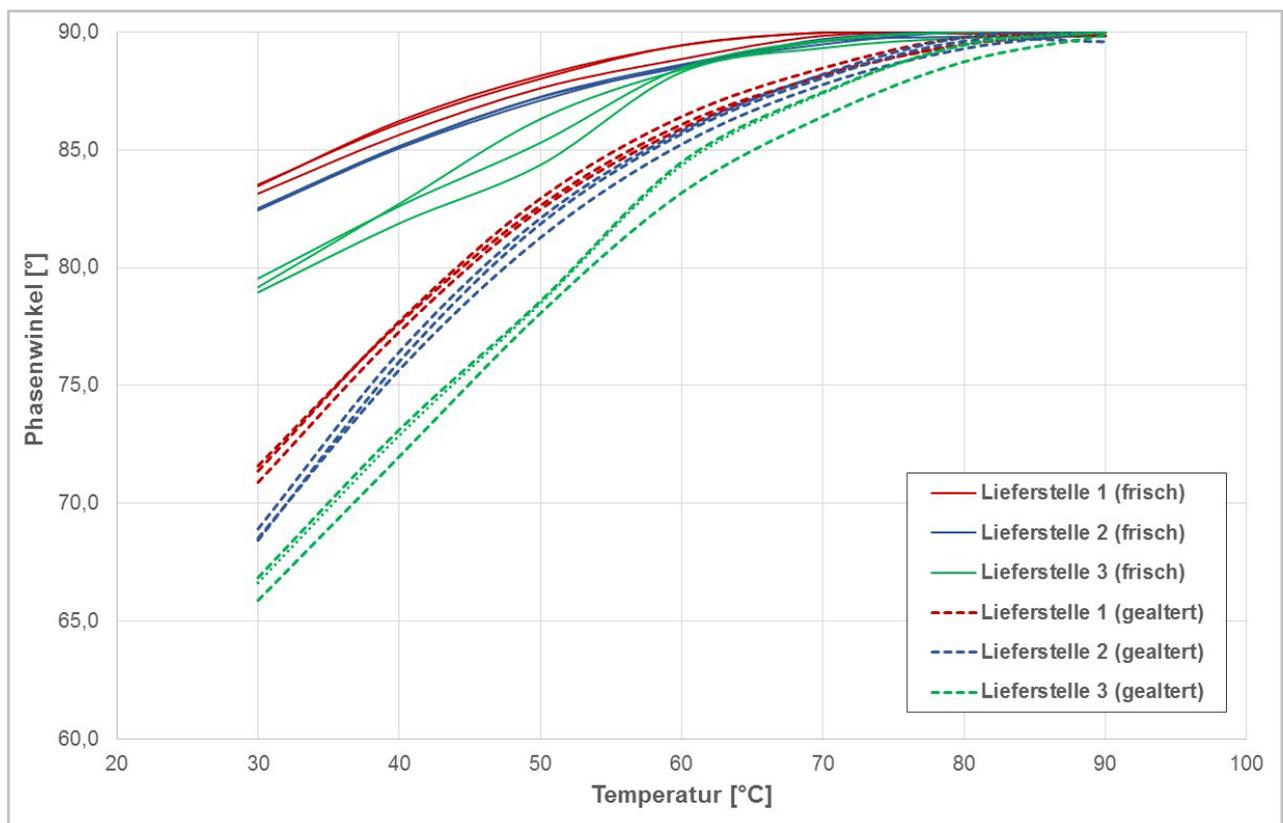
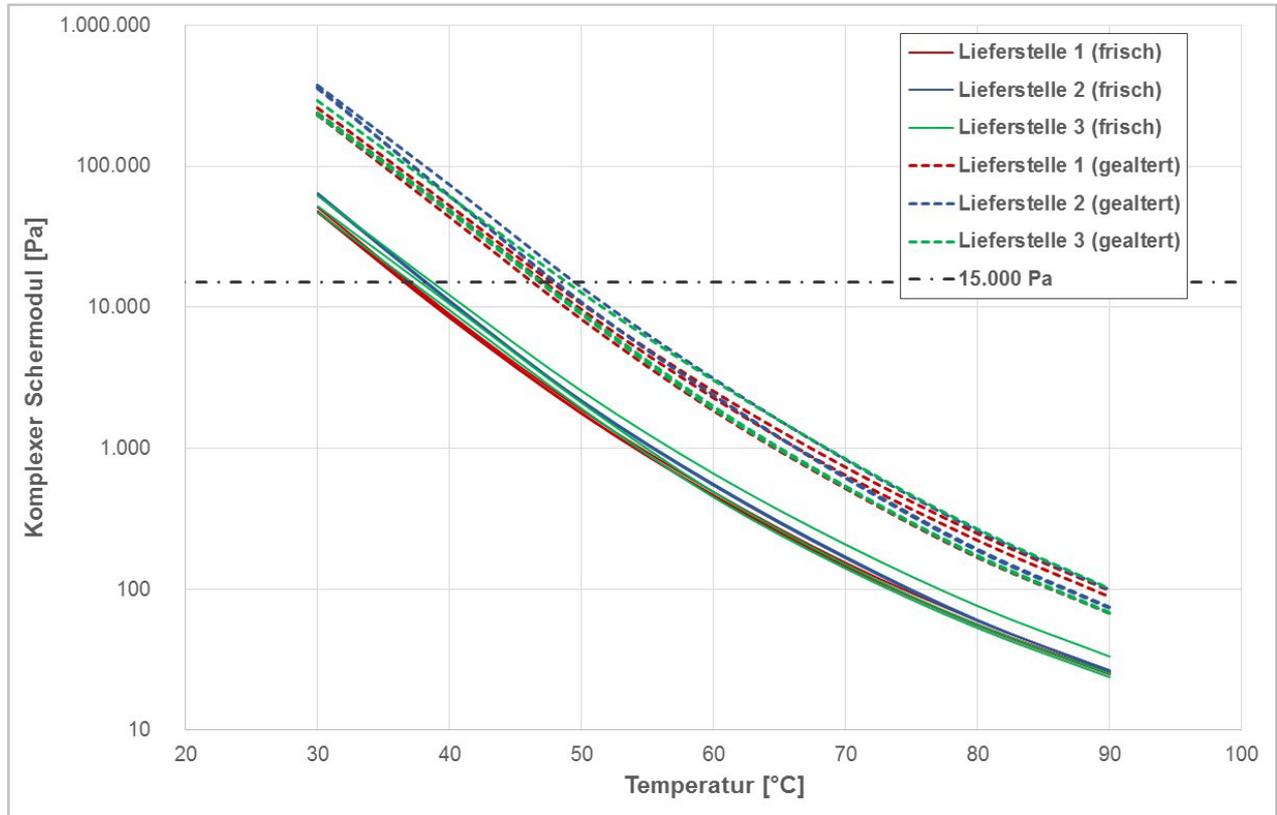
Anhang 1.4: Netzdiagramme – Ansatz 1 – 25/35 V (getrennt nach Lieferstellen)



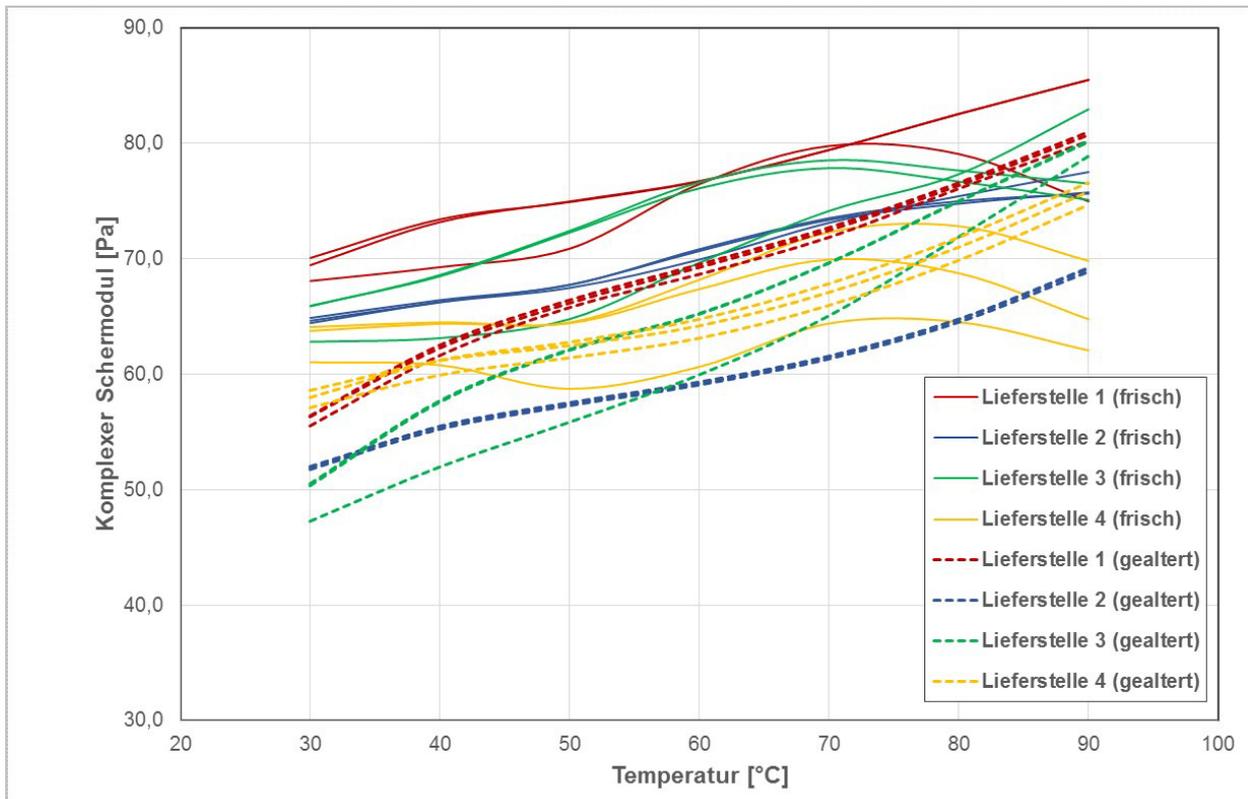
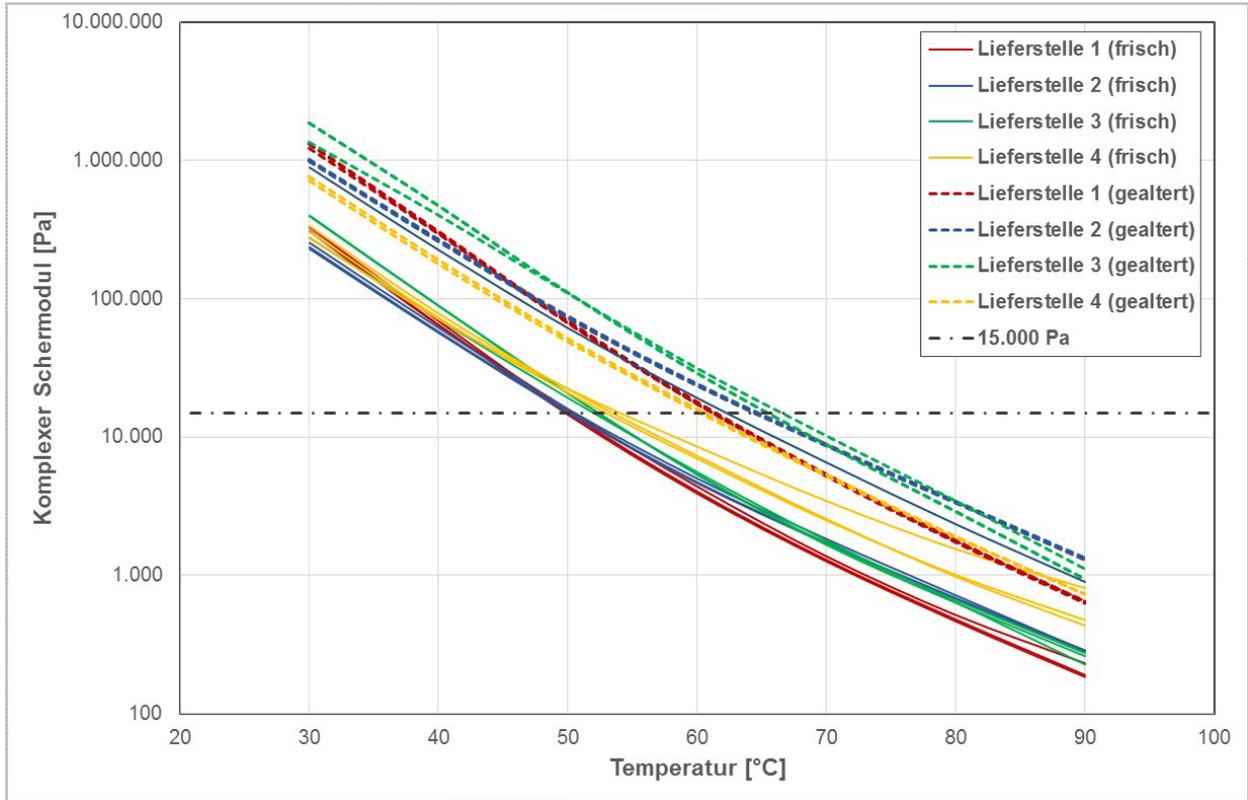
### Anhang 2.1: Komplexe Schermodule und Phasenwinkel – Bitumen 50/70



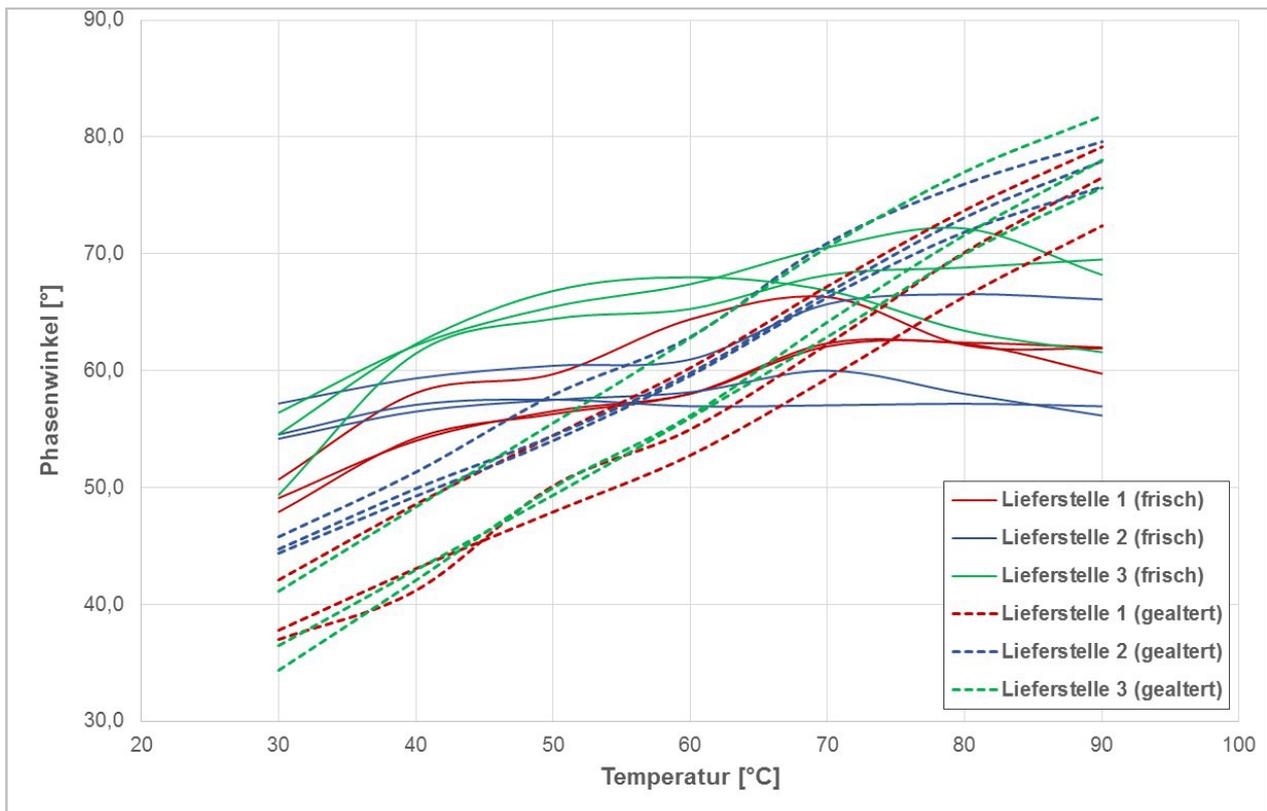
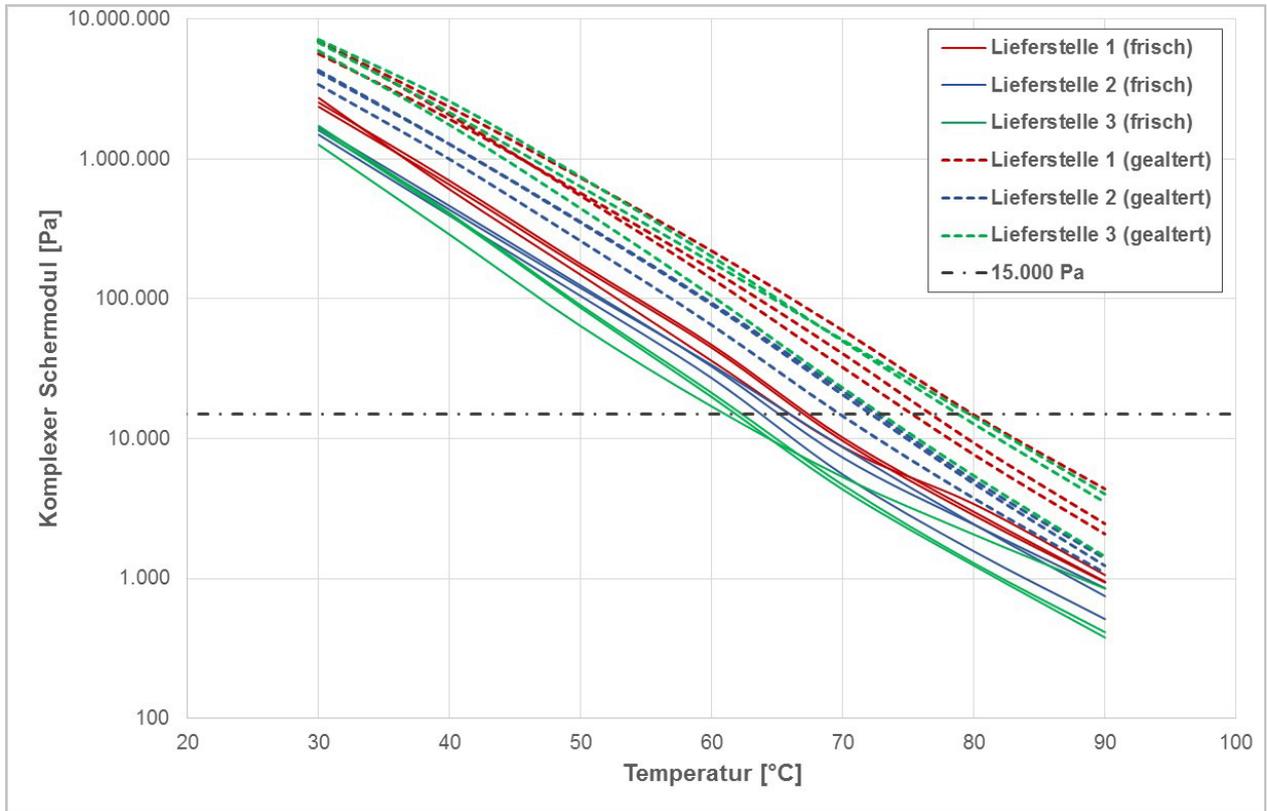
## Anhang 2.2: Komplexe Schermodule und Phasenwinkel – Bitumen 160/220



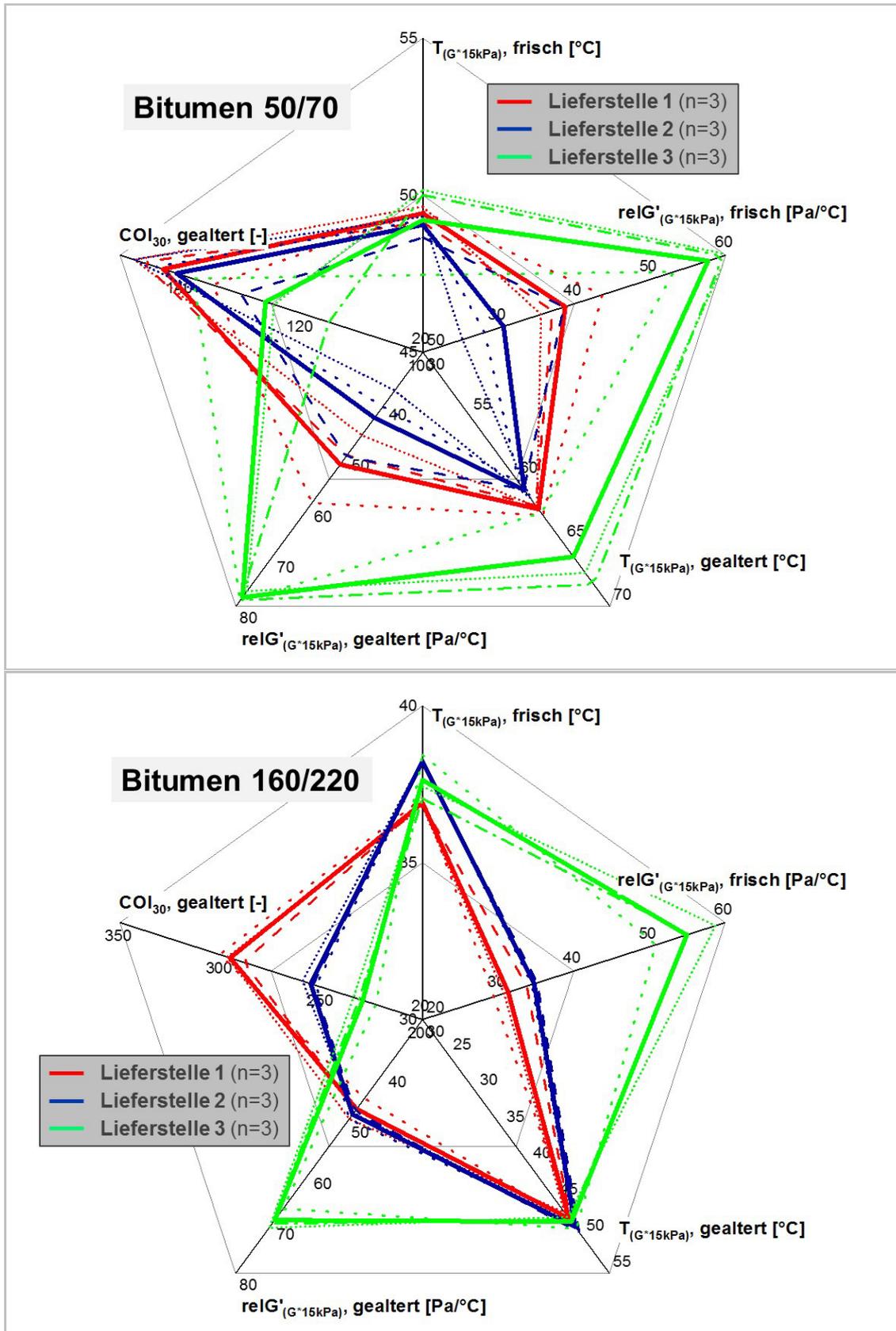
**Anhang 2.3: Komplexe Schermodule und Phasenwinkel – PmB 45/85-50 A RC**



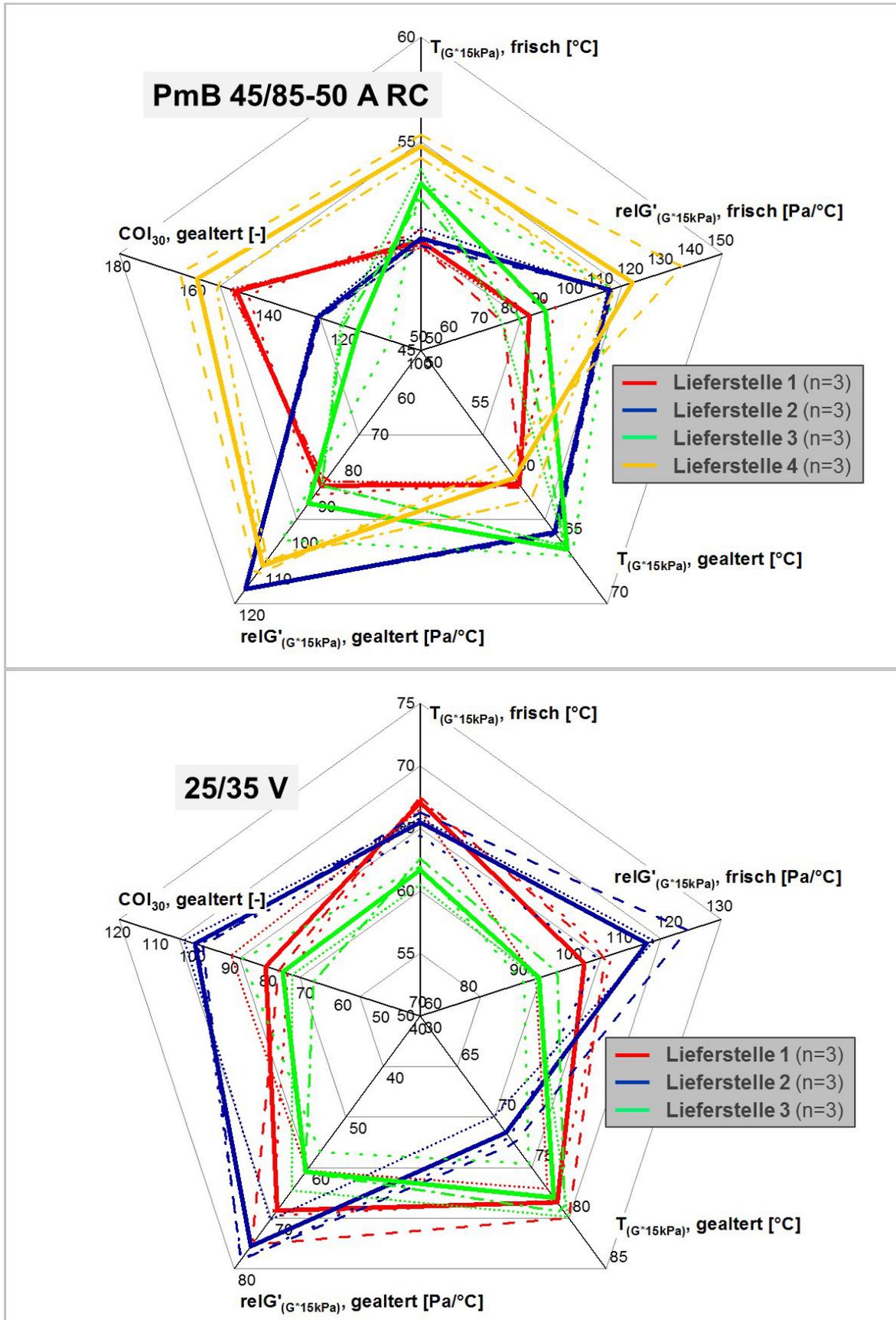
Anhang 2.4: Komplexe Schermodule und Phasenwinkel – 25/35 V



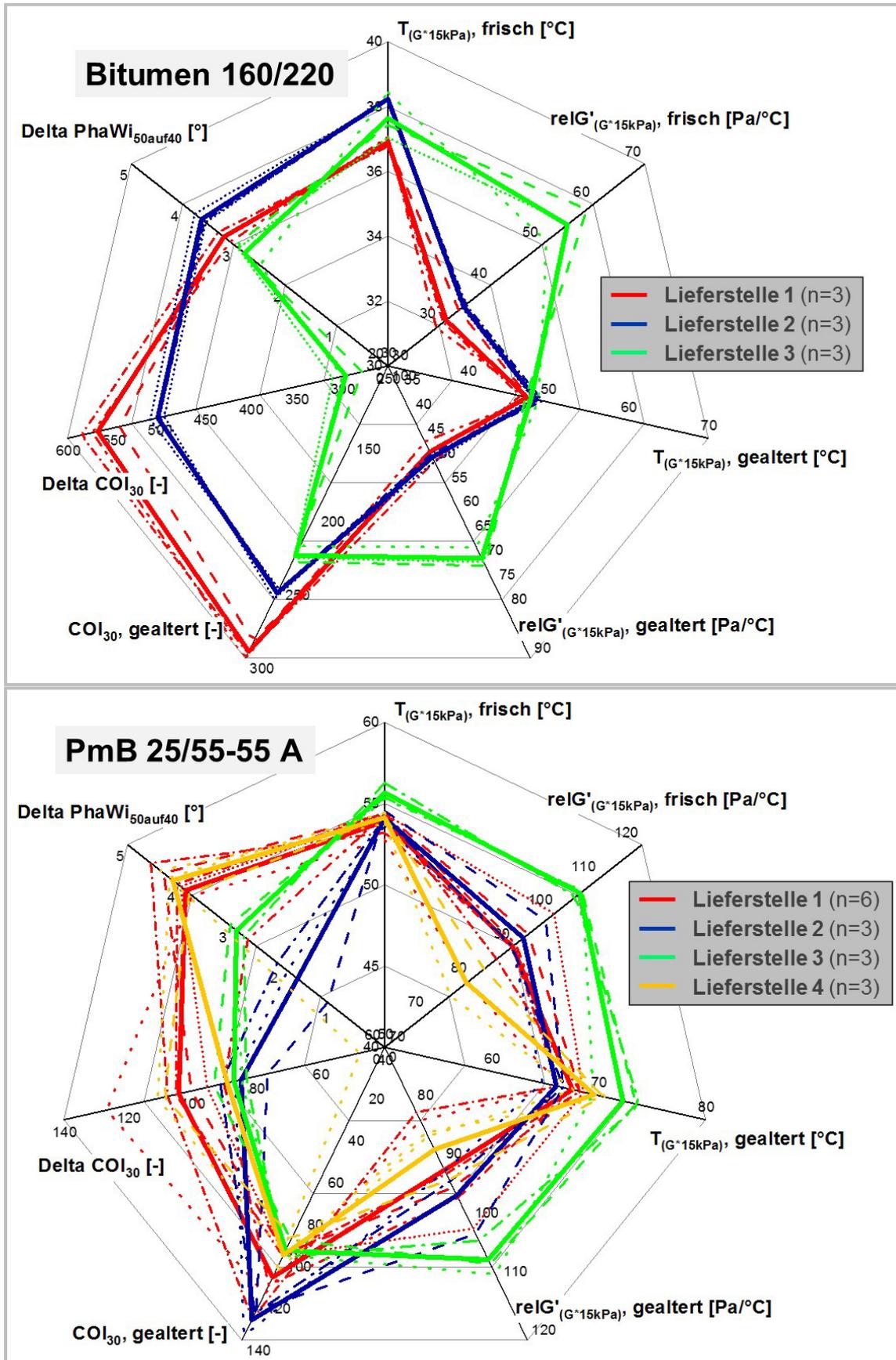
Anhang 3.1: Netzdiagramme (Pentagramme) Ansatz 2 nach Lieferstellen



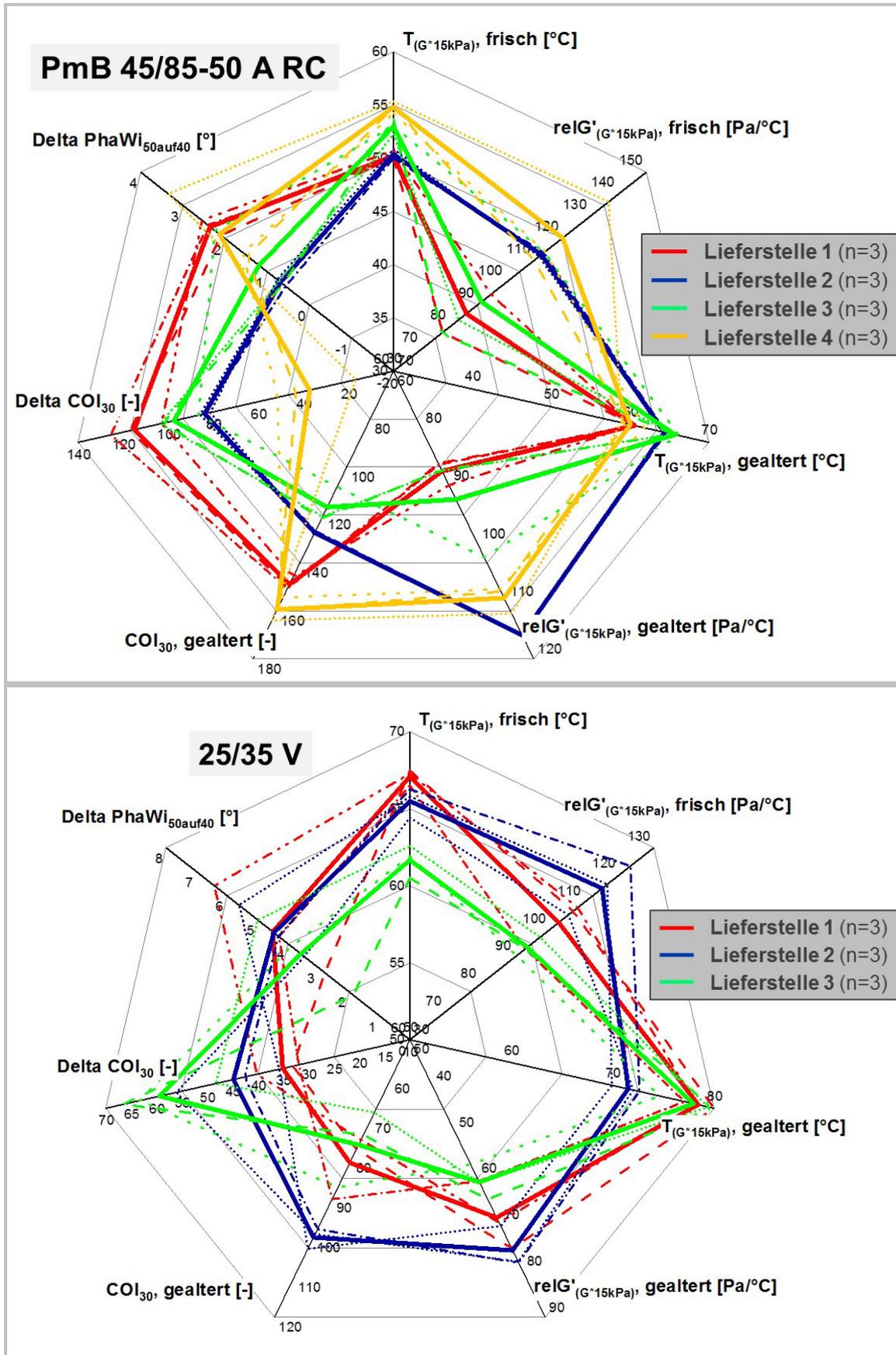
Anhang 3.2: Netzdiagramme (Pentagramme) Ansatz 2 nach Lieferstellen



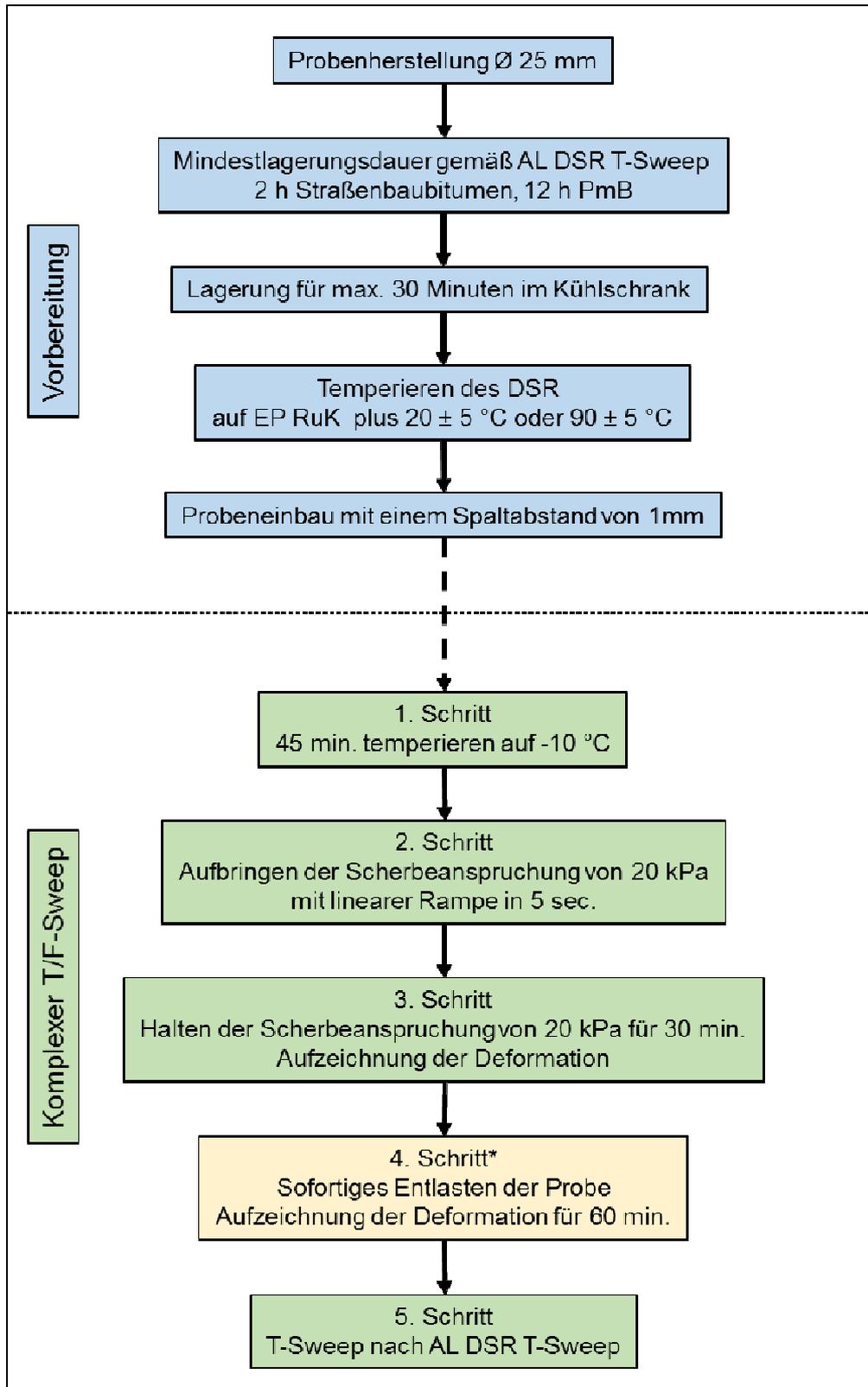
Anhang 4.1: Netzdiagramme (Heptagramme) Ansatz 2 nach Lieferstellen



Anhang 4.2: Netzdiagramme (Heptagramme) Ansatz 2 nach Lieferstellen

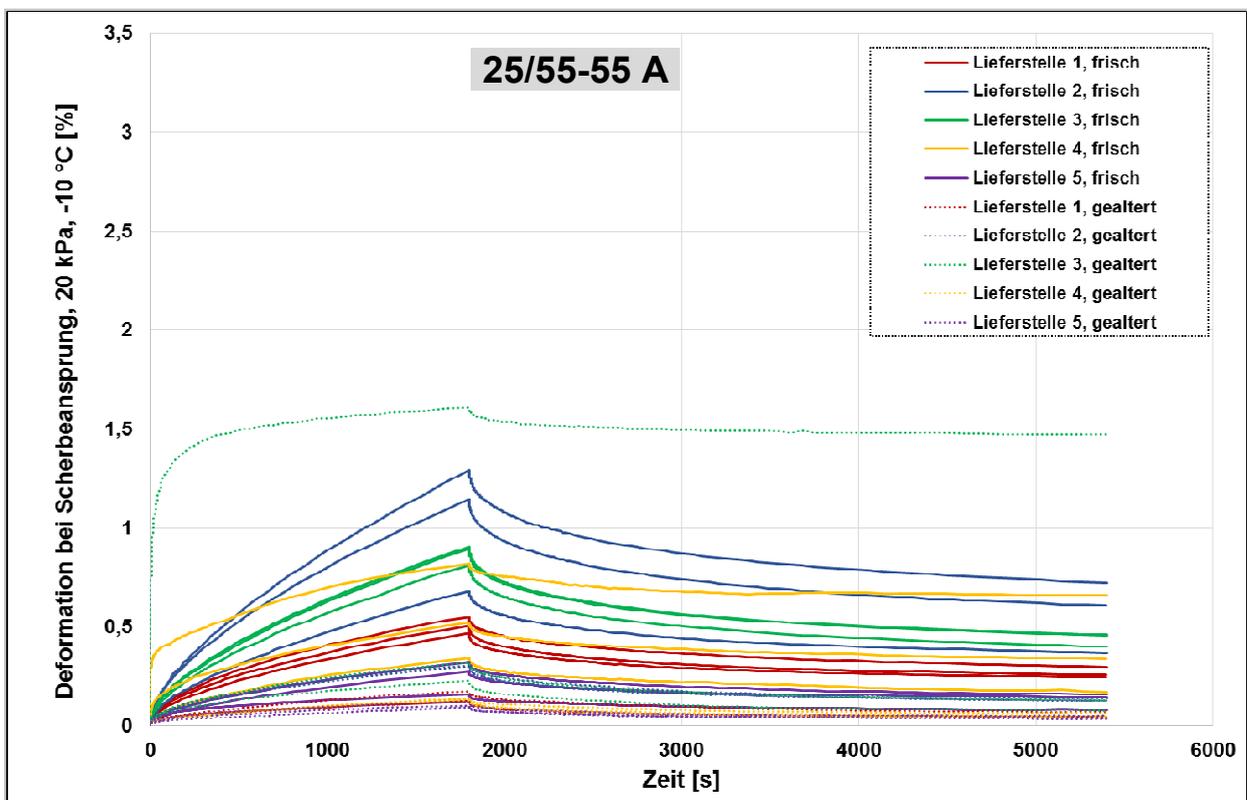
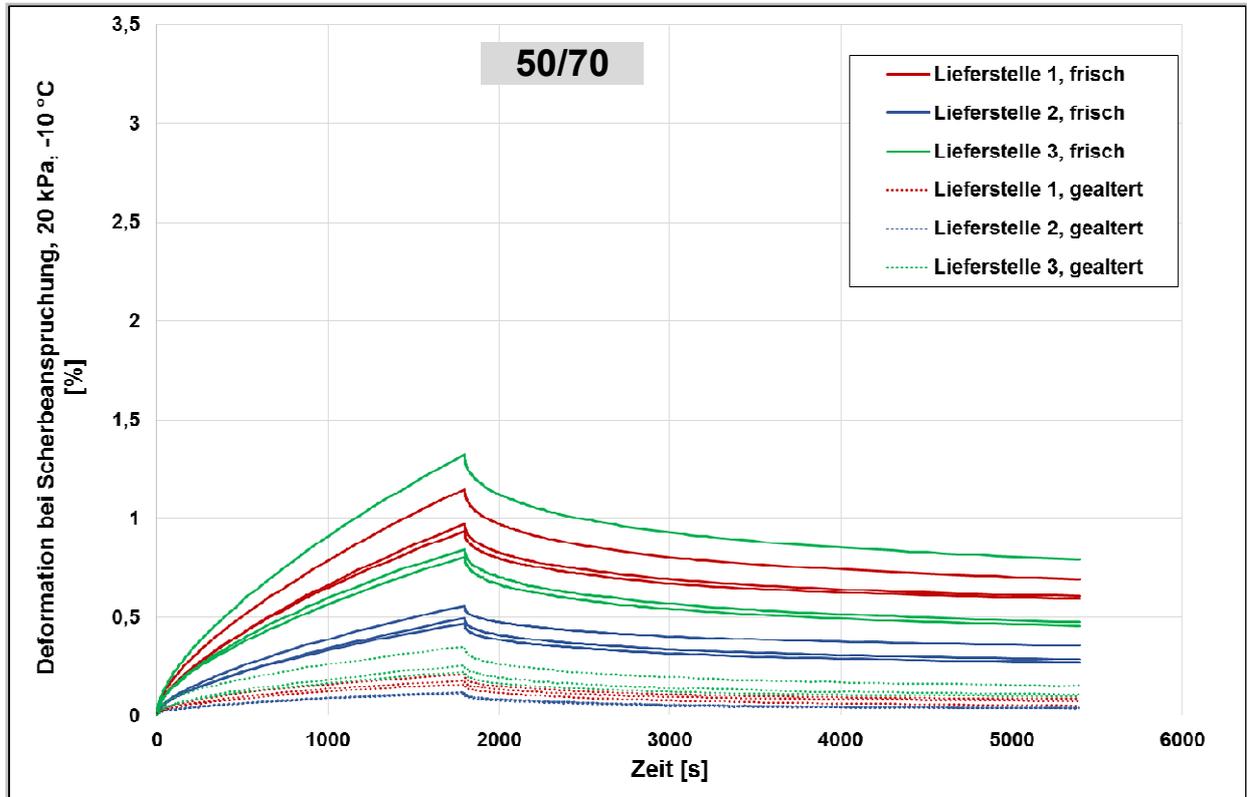


Anhang 5: Verfahrensanteilung für den Untersuchungsansatz 3

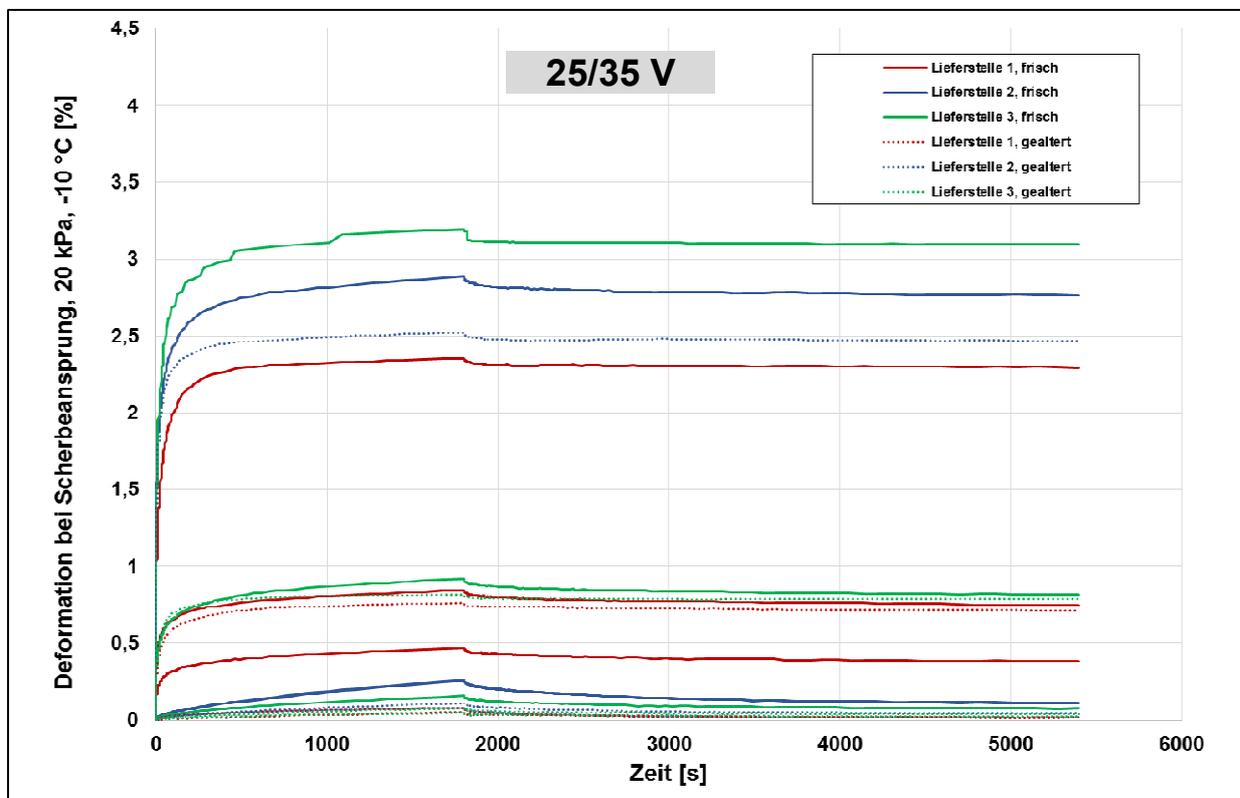
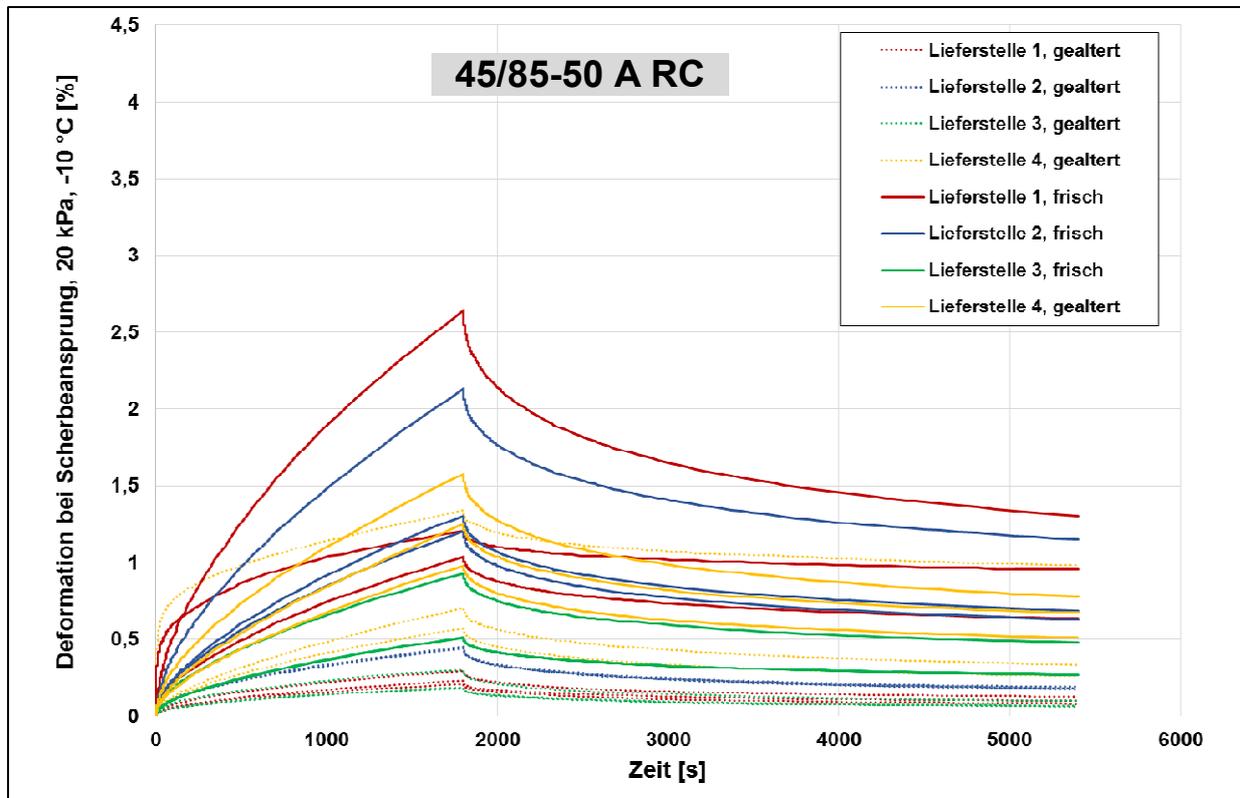


\* Von dem 4. Schritt kann in weiteren Untersuchungsreihen abgesehen werden, da aus den dort erzielten Ergebnissen keine zusätzlichen Erkenntnisse gewonnen werden konnten.

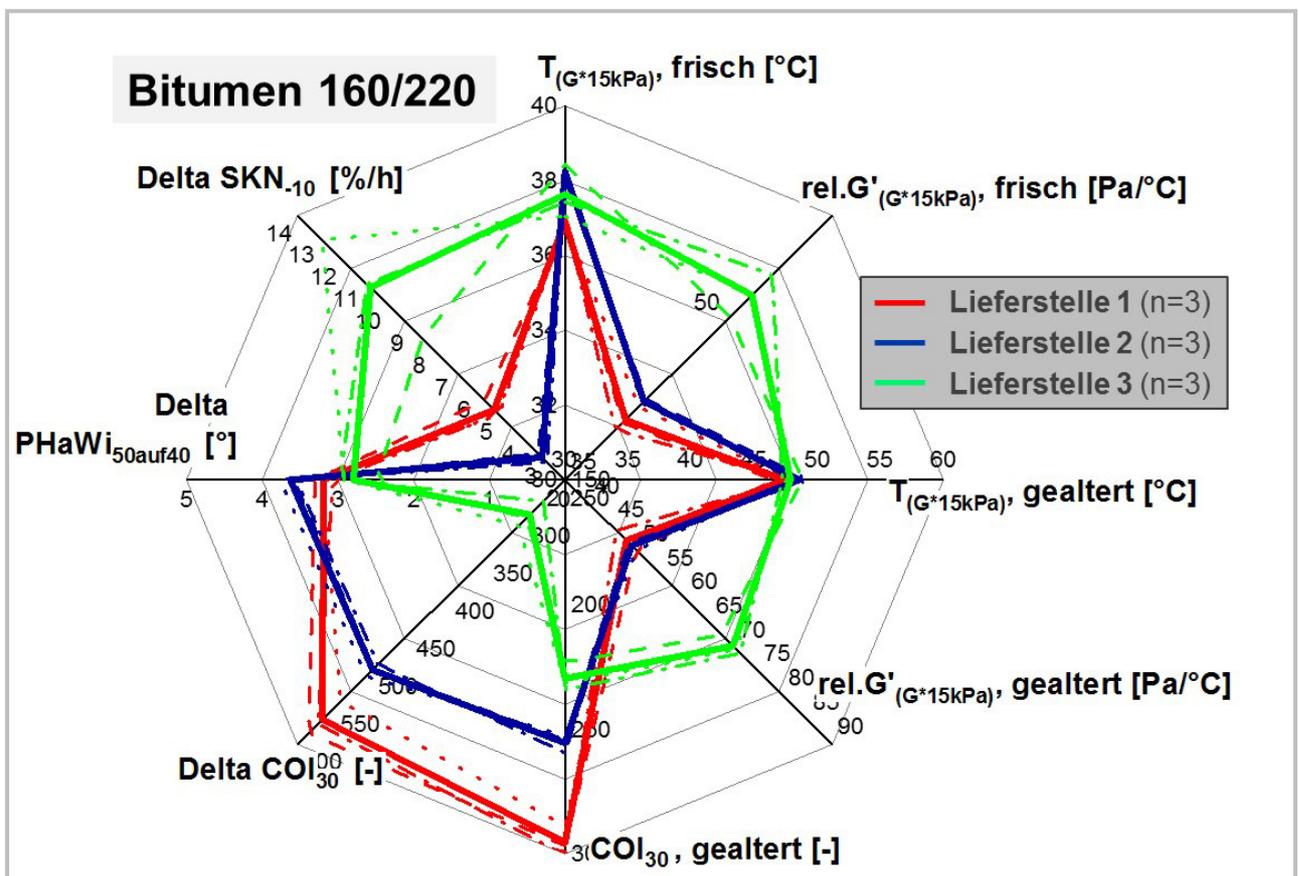
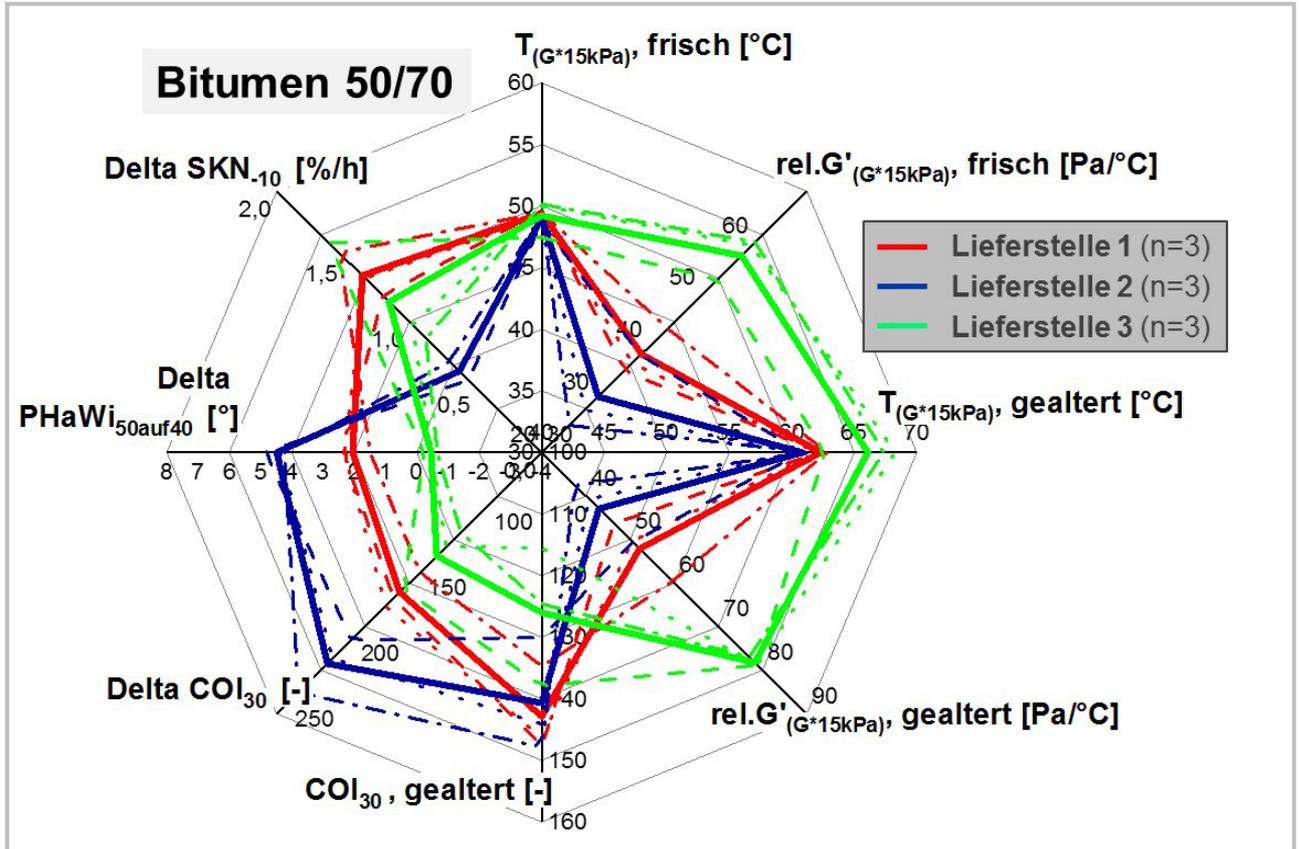
**Anhang 6.1:** Zeit-Dehnungsverläufe der Bitumen 50/70 und der PmB 25/55-55 A bei -10 °C, kraftgesteuert



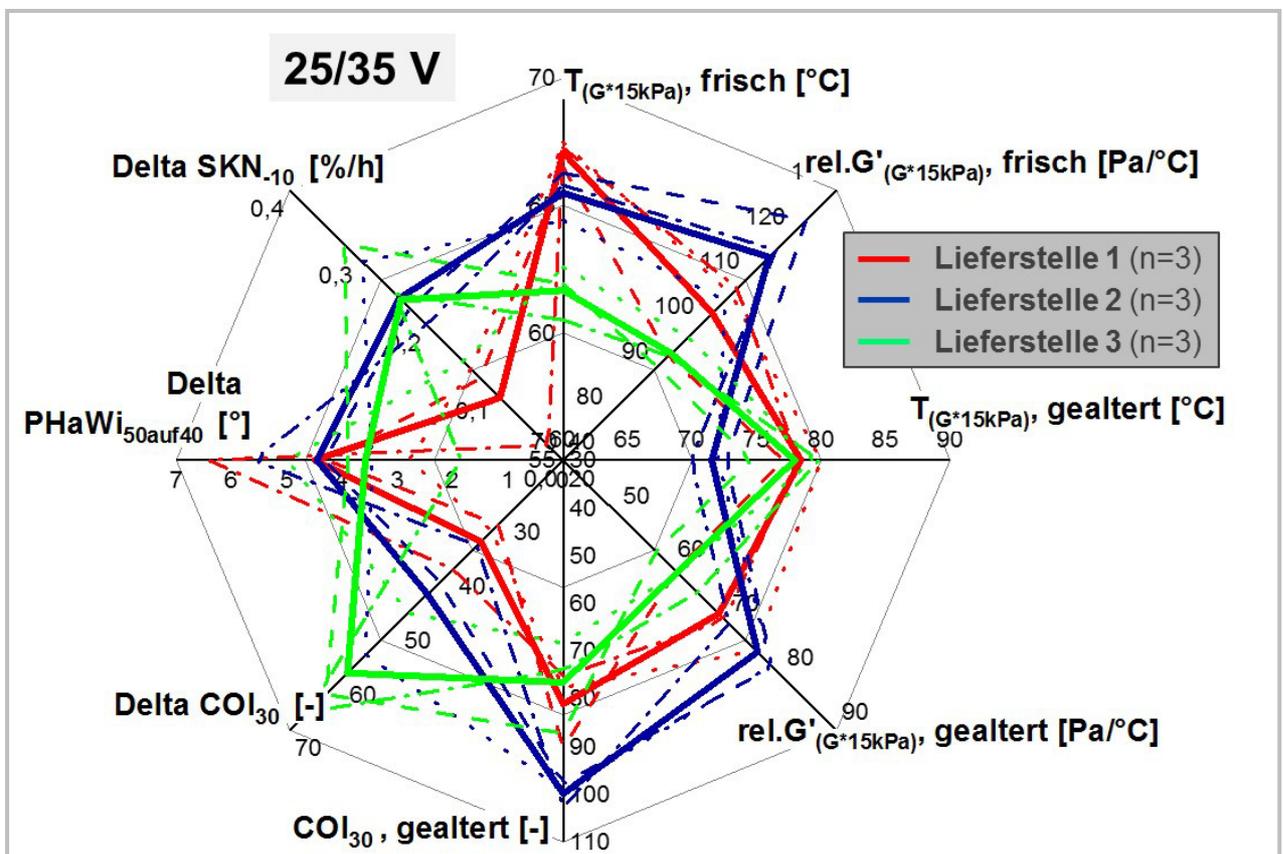
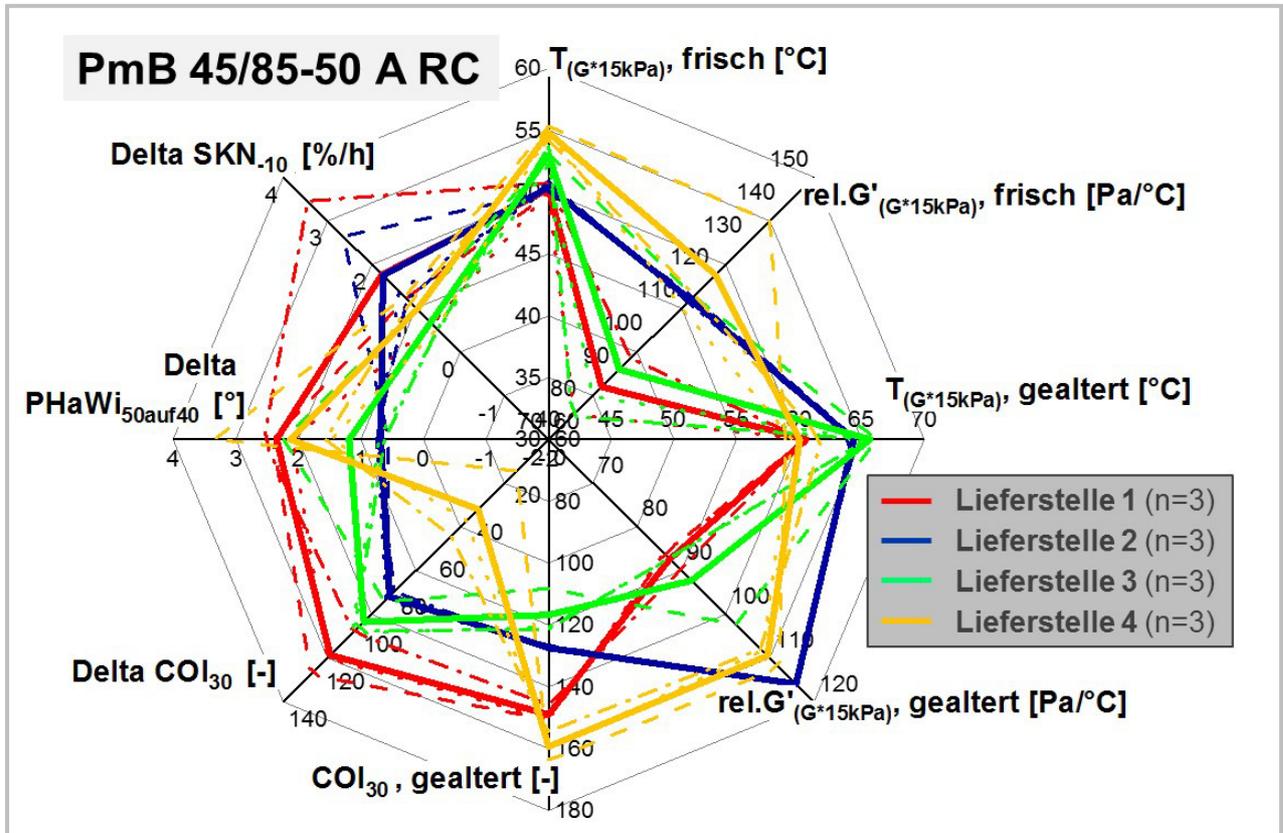
**Anhang 6.2:** Zeit-Dehnungsverläufe der PmB 45/85-50 A RC und der VvBitumen 25/35 bei -10 °C, kraftgesteuert



Anhang 7.1: Netzdiagramme (Oktagramme) Ansatz 3 nach Lieferstellen



## Anhang 7.2: Netzdiagramme (Oktagramme) Ansatz 3 nach Lieferstellen



**Anhang 8.1: Tabellarische Darstellung der Prüfergebnisse**

	Raffinerie			frisch			mod. RTFOT			Veränderungen					
		Labornummer	P.-Bz.	NadelPen	EP RuK	PI	NadelPen	EP RuK	PI	verbl. NaPen %	Abnahme NaPen %	Delta NaPen	Zunahme EP RuK %	Delta EP RuK	Delta PI
60/70	1	11	50/70-1.1	50,9	49,4	-1,32	24,3	61,2	-0,31	47,7	52,3	26,6	23,9	11,8	1,00
		12	50/70-1.2	52,1	49,4	-1,26	24,3	61,1	-0,33	46,6	53,4	27,8	23,7	11,7	0,93
		13	50/70-1.3	53,0	49,9	-1,10	24,4	61,2	-0,31	46,0	54,0	28,6	22,6	11,3	0,79
	2	14	50/70-2.1	54,1	49,3	-1,20	24,2	61,1	-0,34	44,7	55,3	29,9	23,9	11,8	0,86
		15	50/70-2.2	50,7	48,5	-1,56	24,8	60,9	-0,33	48,9	51,1	25,9	25,6	12,4	1,22
		16	50/70-2.3	48,8	49,3	-1,43	24,7	60,9	-0,34	50,6	49,4	24,1	23,5	11,6	1,10
	3	17	50/70-3.1	88,1	46,6	-0,69	29,3	63,4	0,45	33,3	66,7	58,8	36,1	16,8	1,13
		18	50/70-3.2	58,1	50,8	-0,65	21,3	69,8	0,88	36,7	63,3	36,8	37,4	19	1,53
		19	50/70-3.3	59,0	50,7	-0,64	23,8	68,0	0,81	40,3	59,7	35,2	34,1	17,3	1,45
160/220	1	21	160/220-1.1	204,8	39,2	-0,28	65,7	45,6	-1,76	32,1	67,9	139,1	16,3	6,4	-1,47
		22	160/220-1.2	220,1	40,3	0,59	68,3	48,4	-0,87	31,0	69,0	151,8	20,1	8,1	-1,46
		23	160/220-1.3	202,7	40,5	0,25	65,4	48,9	-0,85	32,3	67,7	137,3	20,7	8,4	-1,10
	2	24	160/220-2.1	187,9	40,0	-0,32	59,2	50,3	-0,73	31,5	68,5	128,7	25,8	10,3	-0,41
		25	160/220-2.2	197,0	40,3	0,03	58,3	50,7	-0,67	29,6	70,4	138,7	25,8	10,4	-0,70
		26	160/220-2.3	170,6	40,4	-0,57	49,3	49,9	-1,26	28,9	71,1	121,3	23,5	9,5	-0,69
	3	27	160/220-3.1	192,6	40,9	0,18	58,1	50,3	-0,78	30,2	69,8	134,5	23,0	9,4	-0,96
		28	160/220-3.2	215,8	40,8	0,70	79,6	49,7	-0,10	36,9	63,1	136,2	21,8	8,9	-0,80
		29	160/220-3.3	246,1	40,6	1,35	77,1	48,8	-0,44	31,3	68,7	169	20,2	8,2	-1,79
26/55-66 A	1	41	25/55A-1.1	53,3	58,2	0,82	18,9	73,6	1,22	35,5	64,5	34,4	26,5	15,4	0,40
		42	25/55A-1.2	53,2	59,4	1,06	19,1	74,6	1,38	35,9	64,1	34,1	25,6	15,2	0,32
		43	25/55A-1.3	53,5	57,6	0,70	23,3	73,2	1,57	43,6	56,4	30,2	27,1	15,6	0,86
		104	25/55A-1.4	48,1	60,7	1,07	20,2	70,6	0,90	42,0	58,0	27,9	16,3	9,9	-0,17
		204	25/55A-1.5	47,9	57,8	0,47	20,6	68,7	0,64	43,0	57,0	27,3	18,9	10,9	0,17
		304	25/55A-1.6	43,2	61	0,86	18,5	76,5	1,59	42,8	57,2	24,7	25,4	15,5	0,73
	2	44	25/55A-2.1	62,2	67,2	2,96	25,0	74,7	1,93	40,2	59,8	37,2	11,2	7,5	-1,03
		45	25/55A-2.2	50,2	56,9	0,40	26,4	69,8	1,30	52,6	47,4	23,8	22,7	12,9	0,91
		46	25/55A-2.3	53,3	57,5	0,67	24,3	71,4	1,38	45,6	54,4	29	24,2	13,9	0,71
	3	47	25/55A-3.1	42,8	58,2	0,29	20,3	79,9	2,23	47,4	52,6	22,5	37,3	21,7	1,94
		48	25/55A-3.2	43,2	58,7	0,41	22,5	76,9	2,03	52,1	47,9	20,7	31,0	18,2	1,62
		49	25/55A-3.3	43,8	58,8	0,46	22,6	77,7	2,15	51,6	48,4	21,2	32,1	18,9	1,68
4	404	25/55A-4.1	47,5	55,6	-0,02	21,8	78,7	2,21	45,9	54,1	25,7	41,5	23,1	2,23	
	504	25/55A-4.2	44,5	56,5	0,02	18,9	79,9	2,09	42,5	57,5	25,6	41,4	23,4	2,07	
	604	25/55A-4.3	43,4	54,9	-0,38	19,9	78,8	2,04	45,9	54,1	23,5	43,5	23,9	2,42	
46/80-60 A, RC	1	51	45/80A-1.1	64,1	51,9	-0,13	26,4	64,9	0,50	41,2	58,8	37,7	25,0	13	0,63
		52	45/80A-1.2	59,8	51,8	-0,33	25,7	65,0	0,46	43,0	57,0	34,1	25,5	13,2	0,80
		53	45/80A-1.3	71,0	52,5	0,30	34,4	64,4	0,97	48,5	51,5	36,6	22,7	11,9	0,67
	2	54	45/80A-2.1	59,8	65,5	2,55	31,4	73,1	2,19	52,5	47,5	28,4	11,6	7,6	-0,36
		55	45/80A-2.2	75,4	62,7	2,71	31,8	73,1	2,21	42,2	57,8	43,6	16,6	10,4	-0,50
		56	45/80A-2.3	79,4	62,4	2,81	33,1	73,2	2,32	41,7	58,3	46,3	17,3	10,8	-0,49
	3	57	45/80A-3.1	67,9	67,0	3,19	32,3	72,2	2,11	47,6	52,4	35,6	7,8	5,2	-1,07
		58	45/80A-3.2	69,6	61,8	2,29	27,1	74,2	2,03	38,9	61,1	42,5	20,1	12,4	-0,26
		59	45/80A-3.3	61,4	63,3	2,22	27,4	70,7	1,52	44,6	55,4	34	11,7	7,4	-0,69
	4	405	45/80A-4.1	62,1	79,2	4,82	37,2	78,8	3,40	59,9	40,1	24,9	-0,5	-0,4	-1,42
505		45/80A-4.2	63,1	74,7	4,22	35,4	72,5	2,37	56,1	43,9	27,7	-2,9	-2,2	-1,85	
605	45/80A-4.3	62,0	75,6	4,30	29,5	67,6	1,18	47,6	52,4	32,5	-10,6	-8	-3,12		
26/55 V	1	61	25/35V-1.1	26,5	82,5	3,12	10,1	89,3	2,11	38,1	61,9	16,4	6,2	6,8	-1,01
		62	25/35V-1.2	26,9	83,9	3,33	13,1	90,4	2,68	48,7	51,3	13,8	7,7	6,5	-0,65
		63	25/35V-1.3	27,8	84,1	3,43	13,9	90,3	2,78	50,0	50,0	13,9	7,4	6,2	-0,65
	2	64	25/35V-2.1	36,4	86,0	4,29	16,2	83,5	2,26	44,5	55,5	20,2	-2,9	-2,5	-2,03
		65	25/35V-2.2	36,3	77,3	3,13	16,8	84,5	2,45	46,3	53,7	19,5	9,3	7,2	-0,69
		66	25/35V-2.3	36,6	81,4	3,71	16,5	88,2	2,86	45,1	54,9	20,1	8,4	6,8	-0,86
	3	67	25/35V-3.1	32,6	73,1	2,27	12,9	84,6	1,98	39,6	60,4	19,7	15,7	11,5	-0,29
		68	25/35V-3.2	33,8	74,7	2,59	11,3	88,9	2,26	33,4	66,6	22,5	19,0	14,2	-0,34
		69	25/35V-3.3	31,9	77,6	2,87	13,3	86,7	2,29	41,7	58,3	18,6	11,7	9,1	-0,59

### Anhang 8.2: Tabellarische Darstellung der Prüfergebnisse

Raffinerie	Labor-Nummer	P.-Ba.	komplexer Schermodul, Pa, 1,59 Hz, frisch							Phasenwinkel, °, 1,59 Hz, frisch									
			30	40	50	60	70	80	90	30	40	50	60	70	80	90	Delta 30auf80	Delta 50auf40	Delta 50auf30
50/70	1	11 50/70-1.1	355.575	67.030	13.005	2.953	796	257	97	72,6	78,7	83,4	86,7	88,6	89,6	90,0	0,4	4,7	10,8
		12 50/70-1.2	300.700	57.253	11.026	2.534	707	230	88	72,3	78,8	83,4	86,6	88,6	89,5	90,0	0,5	4,6	10,6
		13 50/70-1.3	297.980	61.197	12.456	2.901	808	263	101	70,8	76,8	82,0	85,8	88,1	89,3	89,6	0,3	5,2	11,2
	2	14 50/70-2.1	327.998	54.519	8.841	1.841	466	142	54	73,3	79,6	83,3	86,3	88,4	89,8	89,3	0,1	3,7	10,0
		15 50/70-2.2	382.833	63.723	10.803	2.247	583	183	70	74,6	81,1	85,0	87,6	89,0	90,0	90,0	0,0	3,9	10,5
		16 50/70-2.3	388.123	64.706	11.340	2.432	632	198	75	75,7	81,8	85,5	87,8	89,1	90,0	89,8	-0,2	3,7	9,8
	3	17 50/70-3.1	178.415	35.936	7.870	2.078	635	225	91	71,7	76,5	81,6	85,1	87,5	89,0	89,8	0,9	5,2	9,9
		18 50/70-3.2	307.980	67.599	15.009	3.919	1.174	399	153	68,0	73,2	78,5	82,7	85,8	87,8	88,6	0,8	5,3	10,5
		19 50/70-3.3	324.733	71.428	15.880	4.115	1.200	405	156	67,9	73,0	78,3	82,5	85,6	87,8	89,3	1,5	5,3	10,4
160/220	1	21 160/220-1.1	46.986	8.362	1.747	459	145	56	25	83,5	86,1	88,0	89,4	90,0	89,9	90,0	0,1	1,9	4,5
		22 160/220-1.2	47.950	8.622	1.775	465	147	55	25	83,1	85,6	87,6	88,9	89,8	90,0	89,9	-0,1	2,0	4,5
		23 160/220-1.3	51.087	8.924	1.866	489	154	60	26	83,5	86,2	88,2	89,4	90,0	90,0	90,0	0,0	1,9	4,7
	2	24 160/220-2.1	62.318	10.905	2.131	542	165	59	27	82,5	85,1	87,1	88,6	89,5	90,0	89,8	-0,2	2,0	4,7
		25 160/220-2.2	63.355	10.911	2.122	544	165	59	26	82,5	85,2	87,3	88,6	89,6	89,8	89,3	0,1	2,1	4,7
		26 160/220-2.3	64.349	11.136	2.175	556	170	60	26	82,4	85,1	87,2	88,5	89,7	90,0	90,0	0,0	2,1	4,8
	3	27 160/220-3.1	61.915	12.172	2.541	660	207	76	33	79,2	82,7	86,3	88,4	89,6	90,0	90,0	0,0	3,6	7,1
		28 160/220-3.2	47.085	9.517	1.905	449	140	53	24	79,5	82,6	85,3	88,5	89,7	90,0	90,0	0,0	2,7	5,8
		29 160/220-3.3	52.065	10.548	2.035	488	149	56	25	79,0	81,9	84,4	88,3	89,3	89,7	89,8	0,1	2,5	5,4
2655-46 A	1	41 25/55A-1.1	638.513	130.520	26.846	6.848	2.008	707	279	64,0	68,6	70,4	73,6	77,1	78,0	76,7	-1,4	1,8	6,4
		42 25/55A-1.2	604.455	126.430	26.428	6.387	2.130	749	305	63,3	68,1	69,6	70,9	73,4	75,0	73,9	-1,2	1,5	6,3
		43 25/55A-1.3	489.350	113.000	26.100	7.124	2.150	755	314	63,9	67,7	69,5	72,7	76,6	78,3	77,3	-1,0	1,8	5,6
		104 25/55A-1.4	501.218	101.600	21.902	5.710	1.689	614	270	67,8	70,8	72,7	76,7	79,3	78,1	73,1	-5,1	1,9	4,9
	2	204 25/55A-1.5	481.205	99.752	22.629	6.408	2.042	732	304	67,2	70,2	70,6	73,2	76,6	79,4	81,0	1,6	0,4	3,4
		304 25/55A-1.6	599.400	123.850	26.150	7.095	2.315	856	352	62,8	67,3	68,3	69,6	71,8	71,8	67,9	-3,9	1,0	5,5
		44 25/55A-2.1	450.808	106.180	26.100	7.710	2.686	979	372	63,7	66,8	68,5	70,1	73,2	77,3	81,1	3,8	1,7	4,8
		45 25/55A-2.2	412.850	94.285	23.700	6.884	2.226	788	300	66,0	68,8	70,3	73,1	77,1	79,8	81,2	1,4	1,5	4,3
	3	46 25/55A-2.3	452.925	99.750	24.850	7.282	2.345	804	304	65,4	68,6	70,0	72,8	77,4	81,4	84,3	2,9	1,3	4,6
		47 25/55A-3.1	547.200	128.000	29.400	8.509	2.730	943	354	61,6	64,9	65,6	68,1	73,7	78,1	82,0	3,3	0,8	4,0
		48 25/55A-3.2	536.075	126.500	29.150	8.396	2.712	942	351	61,5	64,5	65,6	68,2	73,6	78,1	81,4	3,3	1,0	4,1
		49 25/55A-3.3	598.550	142.000	33.355	9.714	3.141	1.101	422	61,4	64,7	65,5	67,7	73,1	77,5	81,2	3,7	0,8	4,1
4	404 25/55A-4.1	588.750	122.000	26.100	6.644	1.900	826	249	63,4	68,3	70,7	75,0	78,8	80,3	78,4	-1,9	2,4	7,3	
	504 25/55A-4.2	658.350	131.500	26.990	6.840	2.020	895	288	64,5	69,8	72,0	75,1	77,9	78,1	74,0	-4,2	2,2	7,5	
	604 25/55A-4.3	684.544	127.777	24.910	6.075	1.765	609	274	57,3	71,5	73,4	75,8	77,1	75,5	65,0	-10,5	1,9	16,1	
46/80-40 A RC	1	51 45/80A-1.1	308.575	64.720	14.500	3.901	1.260	465	184	70,1	73,4	74,9	76,7	79,5	82,6	85,5	3,0	1,5	4,8
		52 45/80A-1.2	328.100	68.925	15.070	4.029	1.292	480	190	69,5	73,2	75,0	76,8	79,5	82,6	85,5	2,9	1,8	5,5
		53 45/80A-1.3	307.668	64.043	15.851	4.384	1.370	516	231	68,1	69,3	70,9	76,5	79,8	79,1	75,0	-4,1	1,6	2,8
	2	54 45/80A-2.1	229.450	56.610	15.000	4.636	1.699	684	287	64,7	66,3	67,8	70,7	73,4	74,8	75,8	1,0	1,5	3,1
		55 45/80A-2.2	236.125	57.755	15.260	4.708	1.720	679	283	64,9	66,4	67,8	70,9	73,5	75,0	75,7	0,6	1,3	2,9
		56 45/80A-2.3	254.250	61.600	15.950	5.012	1.833	717	283	64,4	66,2	67,5	70,0	73,1	75,5	77,5	2,1	1,3	3,0
	3	57 45/80A-3.1	275.950	70.820	19.155	5.571	1.783	637	227	62,8	63,2	64,8	69,7	74,2	77,4	83,0	5,6	1,6	2,0
		58 45/80A-3.2	399.400	89.145	20.750	5.390	1.695	661	274	66,0	68,5	72,3	76,1	77,9	76,7	75,1	-1,6	3,8	6,3
		59 45/80A-3.3	395.703	88.448	20.618	5.331	1.659	633	261	65,9	68,6	72,4	76,7	78,6	77,7	76,5	-1,1	3,8	6,5
		405 45/80A-4.1	273.975	71.040	22.350	8.530	3.445	1.547	809	61,1	60,8	58,8	60,7	64,4	64,5	62,1	-2,4	-2,0	-2,3
4	505 45/80A-4.2	334.839	78.147	22.150	7.300	2.552	978	432	63,8	64,4	64,5	68,2	72,3	72,8	69,8	-3,0	0,1	0,7	
	605 45/80A-4.3	305.750	72.770	20.850	6.964	2.495	1.006	474	64,1	64,5	64,4	67,4	70,0	68,8	64,8	-4,0	-0,1	0,3	
2686 V	1	61 25/35V-1.1	2.734.500	605.819	148.550	36.003	8.736	3.411	1.061	50,7	58,1	59,7	64,4	66,3	62,2	61,9	-0,3	1,6	3,0
		62 25/35V-1.2	2.538.250	698.000	177.300	46.795	10.176	3.000	951	47,9	54,2	56,3	58,0	62,4	62,4	62,0	-0,4	2,1	8,4
		63 25/35V-1.3	2.366.500	653.950	168.150	44.690	9.647	2.834	939	49,1	54,0	56,5	58,0	62,1	62,3	59,8	-2,6	2,5	7,4
	2	64 25/35V-2.1	1.609.250	433.400	119.350	33.615	8.692	2.448	749	54,5	57,1	57,5	57,0	57,2	57,0	-0,2	0,4	3,0	
		65 25/35V-2.2	1.491.250	393.200	104.750	27.125	5.540	1.566	514	57,2	59,4	60,4	61,0	65,7	66,5	66,1	-0,4	1,1	3,2
		66 25/35V-2.3	1.682.750	460.850	124.400	32.780	7.337	2.436	855	54,2	56,5	57,5	58,2	60,0	58,0	56,2	-1,8	1,0	3,3
	3	67 25/35V-3.1	1.635.750	397.100	86.335	19.845	4.332	1.239	379	56,4	62,2	65,5	67,4	70,6	72,2	68,2	-4,0	3,3	9,1
		68 25/35V-3.2	1.728.340	409.720	89.888	21.264	4.670	1.289	414	49,4	61,5	64,4	65,3	68,2	68,8	69,5	0,7	2,9	15,0
		69 25/35V-3.3	1.264.000	287.700	63.840	16.985	5.314	2.067	849	54,6	62,3	66,8	68,0	66,9	63,4	61,6	-1,8	4,5	12,3

**Anhang 8.3: Tabellarische Darstellung der Prüfergebnisse**

Raffinerie	Labor-Nummer	P.-Bz.	Werte bei 15.000 Pa (frisch)				Werte bei 30 °C (frisch)			Cross-Over-Index bei 30 °C		
			Äqui-St. 15kPa	Ph-Wi bei Äqui-T	Speicher-modul	rel. Speicher-modul	Verlust-modul	rel. Verlust-modul	Speicher-modul			
60/70	1	11	50/70-1.1	49,6	83,2	83,2	1767,7	35,6	339.324	11.311	106.266	319
		12	50/70-1.2	49,1	83,0	83,0	1823,5	37,1	287.337	9.578	88.646	324
		13	50/70-1.3	49,5	81,7	81,7	2162,0	43,7	281.339	9.378	98.186	287
	2	14	50/70-2.1	48,7	82,8	82,8	1878,5	38,6	314.199	10.473	94.134	334
		15	50/70-2.2	49,2	84,7	84,7	1386,1	28,2	369.004	12.300	101.965	362
		16	50/70-2.3	49,3	85,2	85,2	1243,4	25,2	376.042	12.535	96.079	391
	3	17	50/70-3.1	47,5	80,3	80,3	2522,1	53,1	169.391	5.646	56.025	302
		18	50/70-3.2	50,0	78,5	78,5	2980,9	59,6	285.588	9.520	115.288	248
		19	50/70-3.3	50,2	78,4	78,4	3021,5	60,2	300.788	10.026	122.385	246
160/220	1	21	160/220-1.1	36,8	85,3	85,7	1132,3	30,8	46.687	1.556	5.295	882
		22	160/220-1.2	36,9	84,9	85,2	1245,6	33,8	47.607	1.587	5.721	832
		23	160/220-1.3	37,1	85,4	85,8	1090,3	29,4	50.755	1.692	5.811	873
	2	24	160/220-2.1	38,2	84,6	84,9	1343,6	35,2	61.777	2.059	8.188	755
		25	160/220-2.2	38,2	84,7	85,0	1317,1	34,5	62.817	2.094	8.237	763
		26	160/220-2.3	38,3	84,7	84,9	1327,1	34,7	63.790	2.126	8.463	754
	3	27	160/220-3.1	38,4	82,2	82,5	1953,9	50,8	60.813	2.027	11.626	523
		28	160/220-3.2	37,0	81,7	82,2	2044,5	55,2	46.303	1.543	8.544	542
		29	160/220-3.3	37,4	81,1	81,6	2199,0	58,8	51.100	1.703	9.373	512
26/55-66 A	1	41	25/55A-1.1	54,4	71,8	71,8	4685,4	86,1	573.869	19.129	279.351	205
		42	25/55A-1.2	54,4	70,2	70,2	5083,8	93,5	539.986	18.000	271.626	199
		43	25/55A-1.3	54,3	70,8	70,8	4922,7	90,6	439.309	14.644	215.572	204
		104	25/55A-1.4	52,8	73,8	73,8	4183,5	79,3	463.944	15.465	189.670	245
		204	25/55A-1.5	53,2	71,4	71,4	4779,2	89,8	443.525	14.784	186.666	238
		304	25/55A-1.6	54,4	68,9	68,9	5408,3	99,5	533.188	17.773	273.845	195
	2	44	25/55A-2.1	54,5	69,2	69,2	5319,5	97,5	404.105	13.470	199.816	202
		45	25/55A-2.2	53,7	71,3	71,3	4814,5	89,7	377.157	12.572	167.921	225
		46	25/55A-2.3	54,1	71,1	71,1	4858,8	89,8	411.799	13.727	188.580	218
		47	25/55A-3.1	55,4	66,9	66,9	5874,1	106,0	481.480	16.049	260.010	185
	3	48	25/55A-3.2	55,3	66,9	66,9	5874,3	106,2	470.967	15.699	256.060	184
		49	25/55A-3.3	56,3	66,9	66,9	5885,5	104,6	525.442	17.515	286.659	183
	4	404	25/55A-4.1	54,2	72,5	72,5	4508,5	83,2	526.433	17.548	263.618	200
		504	25/55A-4.2	54,5	73,4	73,4	4290,4	78,8	594.007	19.800	283.868	209
604		25/55A-4.3	53,8	74,3	74,3	4049,2	75,9	576.361	19.212	369.335	156	
46/80-60 A RC	1	51	45/80A-1.1	49,9	73,4	73,4	4277,8	85,7	290.136	9.671	105.071	276
		52	45/80A-1.2	50,1	75,0	75,0	3880,7	77,5	307.272	10.242	115.037	267
		53	45/80A-1.3	50,7	71,3	71,3	4805,3	94,7	285.466	9.516	114.756	249
		54	45/80A-2.1	50,0	67,8	67,8	5673,7	113,5	207.356	6.912	98.238	211
	2	55	45/80A-2.2	50,2	67,8	67,8	5660,0	112,6	213.814	7.127	100.192	213
		56	45/80A-2.3	50,9	67,7	67,7	5689,7	111,9	229.382	7.646	109.668	209
		57	45/80A-3.1	53,1	66,3	66,3	6031,8	113,7	245.484	8.183	126.040	195
	3	58	45/80A-3.2	52,2	73,2	73,2	4345,4	83,2	364.735	12.158	162.753	224
		59	45/80A-3.3	53,7	74,0	74,0	4136,6	77,1	361.222	12.041	161.552	224
	4	405	45/80A-4.1	55,3	59,8	59,8	7553,0	136,5	239.740	7.991	132.617	181
		505	45/80A-4.2	54,8	66,3	66,3	6033,0	110,1	300.351	10.012	148.008	203
605		45/80A-4.3	54,2	65,7	65,7	6176,5	113,9	275.040	9.168	133.552	206	
26/66 V	1	61	25/35V-1.1	66,5	65,6	65,6	6188,1	93,0	2.116.066	70.536	1.731.980	122
		62	25/35V-1.2	67,5	61,3	61,3	7211,7	106,9	1.883.694	62.790	1.701.297	111
		63	25/35V-1.3	67,3	61,0	61,0	7276,4	108,2	1.788.727	59.624	1.549.444	115
	2	64	25/35V-2.1	66,3	57,0	57,0	8169,1	123,3	1.305.880	43.529	930.101	140
		65	25/35V-2.2	64,4	63,1	63,1	6796,1	105,5	1.253.354	41.778	808.041	155
		66	25/35V-2.3	65,8	59,2	59,2	7674,5	116,7	1.364.388	45.480	984.933	139
	3	67	25/35V-3.1	61,9	68,0	68,0	5615,0	90,7	1.362.688	45.423	904.854	151
		68	25/35V-3.2	62,6	66,0	66,0	6092,6	97,4	1.312.014	43.734	1.125.068	117
		69	25/35V-3.3	60,5	67,9	67,9	5633,0	93,1	1.030.002	34.333	732.661	141

### Anhang 8.4: Tabellarische Darstellung der Prüfergebnisse

Raffinerie	Labor-Nummer	P.-Bz.	komplexer Schermodul, Pa, 1,59 Hz, mod. RTFOT							Phasenwinkel, °, 1,59 Hz, mod. RTFOT									
			30	40	50	60	70	80	90	30	40	50	60	70	80	90	Delta 30-40	Delta 40-50	Delta 50-60
60/70	1	11 50/70-1.1	1742.300	398.565	82.093	17.966	4.303	1.198	390	55,9	64,5	71,5	77,8	82,9	86,1	88,2	2,1	7,1	15,6
		12 50/70-1.2	1.759.200	392.950	80.341	17.787	4.287	1.194	387	55,7	63,7	70,6	76,9	82,1	85,7	88,1	2,4	7,0	15,0
		13 50/70-1.3	1.658.050	414.110	93.321	22.122	5.594	1.589	518	53,4	60,5	67,2	73,9	79,8	84,0	86,9	2,9	6,7	13,8
	2	14 50/70-2.1	2.104.075	446.520	80.475	15.988	3.385	858	270	52,4	62,2	70,7	77,8	83,1	86,5	88,3	1,7	8,6	18,3
		15 50/70-2.2	2.134.750	444.525	79.153	15.308	3.296	869	278	55,2	65,6	73,9	80,5	85,0	87,6	89,2	1,6	8,3	18,7
		16 50/70-2.3	2.238.175	467.225	85.247	16.358	3.637	968	314	55,9	66,3	74,3	80,5	84,9	87,5	88,9	1,3	8,0	18,4
	3	17 50/70-3.1	1.168.850	288.755	72.416	20.187	6.009	1.916	672	54,1	59,1	64,1	69,4	74,7	79,4	83,3	3,9	4,9	10,0
		18 50/70-3.2	2.018.175	550.270	144.985	41.963	12.845	4.098	1.332	49,1	54,8	59,7	64,6	69,9	75,2	79,8	4,6	4,8	10,5
		19 50/70-3.3	1.864.500	489.050	126.000	35.825	10.900	3.429	1.155	51,2	56,1	60,8	65,8	71,2	76,4	80,8	4,4	4,7	9,5
160/220	1	21 160/220-1.1	229.825	43.510	8.185	1.840	516	167	67	71,4	77,7	82,9	86,4	88,5	89,8	89,8	0,1	5,2	11,6
		22 160/220-1.2	240.675	49.525	9.740	2.300	650	224	89	70,9	77,3	82,5	85,9	88,2	89,5	90,0	0,5	5,2	11,6
		23 160/220-1.3	261.100	52.935	10.600	2.540	732	247	97	71,6	77,7	82,6	86,1	88,1	89,5	89,9	0,4	5,0	11,0
	2	24 160/220-2.1	376.750	74.370	13.950	3.143	836	262	100	68,5	75,7	81,3	85,2	87,8	89,3	90,0	0,7	5,6	12,8
		25 160/220-2.2	367.000	62.360	10.960	2.386	614	187	73	68,4	76,0	81,9	85,7	88,1	89,6	89,6	0,0	5,8	13,5
		26 160/220-2.3	355.125	61.315	10.750	2.382	624	192	75	68,9	76,4	82,1	85,8	88,2	89,8	90,0	0,2	5,7	13,2
	3	27 160/220-3.1	292.475	61.205	12.700	3.036	841	267	101	65,9	72,0	78,1	83,2	86,4	88,7	89,9	1,1	6,1	12,2
		28 160/220-3.2	240.650	49.260	9.306	2.000	544	175	69	66,6	72,9	78,5	84,4	87,4	89,5	90,0	0,5	5,6	11,9
		29 160/220-3.3	230.775	47.365	8.928	1.905	530	171	68	66,3	73,1	78,6	84,5	87,5	89,5	90,0	0,5	5,5	11,7
2685-46 A	1	41 25/55A-1.1	3.077.750	825.330	195.050	50.027	14.242	4.541	1.525	45,0	52,8	58,6	62,7	65,9	69,6	74,9	4,7	5,8	13,6
		42 25/55A-1.2	2.939.600	813.040	194.485	50.007	14.287	4.554	1.566	44,6	52,4	58,2	62,1	65,2	68,8	73,2	4,5	5,8	13,6
		43 25/55A-1.3	2.062.250	572.600	144.500	39.810	12.000	3.965	1.408	48,7	54,0	58,5	62,0	65,4	69,4	73,9	4,5	4,5	9,8
		204 25/55A-1.4	2.525.000	625.950	140.500	35.075	9.968	3.209	1.105	43,7	57,5	63,2	66,8	69,5	72,7	76,8	4,0	5,7	13,4
	2	404 25/55A-1.5	2.286.000	553.550	126.500	33.060	9.718	3.162	1.125	52,4	58,9	63,8	67,2	70,2	73,9	78,0	4,1	5,0	11,4
		304 25/55A-1.6	2.823.975	747.335	187.020	50.657	15.413	5.182	1.790	44,8	51,3	56,3	60,0	62,9	66,3	70,6	4,4	5,0	11,5
		44 25/55A-2.1	1.508.825	402.865	107.750	32.723	11.055	4.000	1.492	51,5	55,9	58,7	61,2	64,0	67,7	72,1	4,4	2,8	7,2
		45 25/55A-2.2	1.368.500	357.000	91.655	26.300	8.306	2.804	1.010	54,1	58,9	62,2	65,2	68,6	72,5	76,9	4,4	3,4	8,1
	3	46 25/55A-2.3	1.565.250	424.600	113.000	33.635	10.900	3.739	1.358	51,8	57,0	60,4	63,3	66,7	70,7	75,1	4,4	3,4	8,6
		47 25/55A-3.1	2.322.750	731.300	207.550	64.835	21.955	8.032	2.995	42,6	47,3	51,1	54,2	57,3	61,1	65,9	4,8	3,8	8,5
		48 25/55A-3.2	1.996.250	601.100	161.550	48.500	16.010	5.716	2.105	44,8	49,8	53,7	56,9	59,9	63,5	68,2	4,7	3,9	8,9
		49 25/55A-3.3	2.279.750	713.550	205.150	65.605	22.570	8.315	3.196	45,0	48,9	52,5	55,5	58,4	61,9	66,2	4,3	3,6	7,4
4	404 25/55A-4.1	2.968.556	896.225	230.540	60.703	17.200	5.529	1.843	42,3	49,4	55,6	60,3	64,1	68,7	74,7	6,0	6,2	13,3	
	504 25/55A-4.2	3.019.525	974.050	241.200	62.870	17.750	5.424	1.730	44,6	51,0	57,4	61,9	66,2	72,5	78,1	5,6	6,4	12,8	
	604 25/55A-4.3	3.175.000	825.450	186.500	45.380	12.925	3.707	1.181	47,3	54,6	60,8	64,9	68,2	73,6	78,7	5,0	6,3	13,6	
	51 45/80A-1.1	1.312.700	300.260	67.541	17.371	5.202	1.730	626	56,4	62,5	66,4	69,5	72,7	76,6	81,0	4,4	3,9	10,0	
4680-40 A RC	1	52 45/80A-1.2	1.336.800	308.535	69.604	17.377	5.393	1.792	648	56,4	62,3	66,2	69,3	72,5	76,4	80,8	4,4	3,9	9,8
		53 45/80A-1.3	1.223.500	294.250	66.507	17.266	5.276	1.760	645	55,6	61,7	65,8	68,7	71,9	76,1	80,2	4,1	4,1	10,2
	2	54 45/80A-2.1	1.018.285	269.790	75.406	24.411	8.950	3.464	1.348	51,7	55,2	57,3	59,1	61,3	64,5	68,9	4,4	2,0	5,5
		55 45/80A-2.2	985.963	259.430	72.440	23.508	8.666	3.356	1.298	51,9	55,5	57,5	59,3	61,6	64,7	69,1	4,4	2,0	5,6
	3	56 45/80A-2.3	1.000.343	262.315	73.106	23.614	8.659	3.346	1.295	52,0	55,4	57,4	59,2	61,5	64,8	69,3	4,5	2,0	5,4
		57 45/80A-3.1	1.352.400	401.285	109.545	31.268	10.175	3.435	1.106	47,3	52,0	55,9	60,0	65,1	71,9	78,9	7,0	3,9	8,6
		58 45/80A-3.2	1.854.450	468.860	110.655	28.977	8.801	2.894	943	50,3	57,6	62,1	65,2	69,6	75,0	80,1	5,2	4,5	11,7
		59 45/80A-3.3	1.854.400	468.790	110.670	29.025	8.862	2.919	946	50,5	57,7	62,1	65,2	69,6	75,0	80,2	5,2	4,5	11,6
		405 45/80A-4.1	720.000	180.000	49.290	15.400	5.250	1.902	735	58,6	61,2	62,5	64,2	67,1	71,0	75,8	4,8	1,3	3,9
		4	505 45/80A-4.2	761.300	190.600	51.700	16.015	5.386	1.923	736	58,0	61,2	62,8	64,8	67,8	71,9	76,6	4,8	1,6
605 45/80A-4.3	890.000	225.000	61.355	19.155	6.537	2.342	897	57,1	59,9	61,4	63,1	66,0	69,8	74,7	4,8	1,5	4,3		
2685 V	1	61 25/35V-1.1	7.039.750	2.073.500	548.100	140.500	32.570	7.762	2.103	42,1	48,6	54,5	60,3	67,3	73,8	79,2	5,4	5,9	12,4
		62 25/35V-1.2	6.993.935	2.375.935	740.000	221.736	59.852	14.879	4.381	37,8	43,1	47,9	52,8	59,4	66,4	72,4	6,0	4,8	10,1
		63 25/35V-1.3	5.657.150	1.932.000	572.700	162.600	40.870	9.400	2.490	37,0	41,2	50,1	55,0	62,3	70,1	76,5	6,4	9,0	13,2
	2	64 25/35V-2.1	4.160.750	1.275.000	355.700	93.735	21.990	5.077	1.401	44,4	49,3	54,0	59,6	66,3	71,9	75,7	3,9	4,8	9,6
		65 25/35V-2.2	4.324.695	1.278.860	350.743	90.772	20.576	4.759	1.231	44,7	49,9	54,4	59,8	66,7	73,1	77,9	4,8	4,5	9,7
		66 25/35V-2.3	3.414.000	1.000.150	260.550	65.295	14.600	3.780	1.108	45,8	51,3	57,9	62,9	70,9	76,0	79,6	3,6	6,6	12,1
	3	67 25/35V-3.1	5.960.750	1.759.500	445.050	105.500	23.175	5.461	1.444	41,1	48,3	55,5	62,8	70,6	77,0	81,8	4,8	7,2	14,4
		68 25/35V-3.2	7.124.750	2.579.500	746.000	201.150	49.845	12.800	3.527	34,3	42,0	50,0	56,2	64,2	71,6	78,0	6,4	7,9	15,6
		69 25/35V-3.3	6.857.250	2.165.000	639.750	184.000	51.250	14.455	4.060	36,5	43,0	49,4	56,0	62,9	70,0	75,6	5,6	6,4	12,9

**Anhang 8.5: Tabellarische Darstellung der Prüfergebnisse**

	Raffinerie	Labor-Nummer		Werte bei 15.000 Pa (gealtert)				Werte bei 30 °C (gealtert)			
				Äqui-St-T 15kPa	Pha-Wi bei Äqui-St	Speicher- modul	rel. Speicher- modul	Verlust- modul	rel. Verlust- modul	Speicher- modul	Cross-Over- Index bei 30 °C
50/70	1	11	50/70-1.1	62,2	78,9	2879,8	46,3	1.442.397	48.080	977.292	148
		12	50/70-1.2	62,1	78,0	3124,4	50,3	1.452.532	48.418	992.439	146
		13	50/70-1.3	62,8	75,5	3744,2	53,6	1.331.319	44.377	988.292	135
	2	14	50/70-2.1	60,8	78,2	3072,9	50,6	1.667.949	55.598	1.282.605	130
		15	50/70-2.2	60,3	80,6	2452,0	40,7	1.753.724	58.457	1.217.214	144
		16	50/70-2.3	61,5	81,2	2305,9	37,5	1.853.880	61.796	1.254.016	148
	3	17	50/70-3.1	62,7	70,8	4940,0	78,8	946.261	31.542	686.150	138
		18	50/70-3.2	68,3	69,0	5376,0	78,8	1.525.842	50.861	1.320.922	116
		19	50/70-3.3	67,4	69,8	5185,7	77,0	1.453.993	48.466	1.167.161	125
160/220	1	21	160/220-1.1	46,6	81,1	2309,5	49,6	217.789	7.260	73.400	297
		22	160/220-1.2	47,7	81,3	2275,1	47,7	227.426	7.581	78.753	289
		23	160/220-1.3	48,0	81,6	2184,4	45,5	247.748	8.258	82.427	301
	2	24	160/220-2.1	43,3	80,9	2370,6	48,1	350.601	11.687	137.911	254
		25	160/220-2.2	48,2	80,8	2393,0	49,6	341.252	11.375	135.042	253
		26	160/220-2.3	48,2	81,1	2333,0	48,4	331.365	11.046	127.714	259
	3	27	160/220-3.1	48,8	77,4	3283,7	67,3	266.924	8.897	119.555	223
		28	160/220-3.2	47,6	77,1	3340,9	70,2	220.912	7.364	95.448	231
		29	160/220-3.3	47,2	77,1	3354,2	71,0	212.224	7.074	90.653	234
2655-65 A	1	41	25/55A-1.1	68,3	65,4	6253,2	91,6	2.174.845	72.495	2.177.750	100
		42	25/55A-1.2	68,3	64,7	6416,2	93,9	2.105.274	70.176	2.136.685	99
		43	25/55A-1.3	67,4	64,5	6452,2	95,7	1.548.582	51.619	1.361.899	114
		104	25/55A-1.4	66,5	68,6	5482,8	82,5	1.926.165	64.206	1.632.640	118
		204	25/55A-1.5	66,2	69,0	5370,4	81,1	1.811.661	60.389	1.394.160	130
		304	25/55A-1.6	68,6	62,5	6926,3	100,9	1.990.464	66.349	2.003.220	99
	2	44	25/55A-2.1	66,7	63,1	6730,9	101,8	1.180.744	39.358	939.038	126
		45	25/55A-2.2	64,8	66,8	5901,9	91,1	1.108.437	36.948	802.596	138
	3	46	25/55A-2.3	66,7	65,6	6194,6	92,9	1.230.274	41.009	967.695	127
		47	25/55A-3.1	73,5	58,4	7860,5	107,0	1.573.109	52.437	1.708.946	92
		48	25/55A-3.2	69,5	59,7	7556,8	108,8	1.406.688	46.890	1.416.419	99
	4	49	25/55A-3.3	73,8	59,5	7603,0	103,0	1.613.363	53.779	1.610.690	100
		404	25/55A-4.1	70,4	64,2	6517,6	92,6	1.997.875	66.596	2.195.636	91
		504	25/55A-4.2	70,7	66,5	5980,8	84,6	2.119.418	70.647	2.150.720	99
604		25/55A-4.3	67,7	67,4	5764,6	85,2	2.332.602	77.753	2.153.971	108	
45/80-60 A RC	1	51	45/80A-1.1	60,4	69,7	5211,8	86,2	1.093.655	36.455	726.017	151
		52	45/80A-1.2	60,9	69,6	5235,2	86,0	1.112.952	37.098	740.522	150
		53	45/80A-1.3	60,4	68,8	5423,5	89,8	1.009.086	33.636	691.880	146
	2	54	45/80A-2.1	64,6	60,1	7478,9	115,8	799.275	26.642	630.923	127
		55	45/80A-2.2	64,2	60,3	7441,8	115,9	775.973	25.866	608.266	128
	3	56	45/80A-2.3	64,3	60,2	7454,6	116,0	788.506	26.284	616.558	128
		57	45/80A-3.1	66,2	63,2	6774,1	102,3	993.350	33.112	917.737	108
		58	45/80A-3.2	65,4	67,6	5711,7	87,3	1.427.820	47.594	1.183.349	121
	4	59	45/80A-3.3	65,5	67,6	5706,7	87,2	1.430.973	47.639	1.179.456	121
		405	45/80A-4.1	58,9	63,9	6604,0	112,1	614.655	20.488	374.966	164
		505	45/80A-4.2	59,5	64,6	6438,4	108,3	645.267	21.509	403.991	160
605		45/80A-4.3	61,8	63,6	6667,0	107,9	747.051	24.902	483.751	154	
2686 V	1	61	25/35V-1.1	77,1	71,9	4667,5	60,6	4.716.672	157.222	5.226.001	90
		62	25/35V-1.2	80,0	66,4	6016,7	75,2	4.288.121	142.937	5.524.378	78
		63	25/35V-1.3	78,2	68,7	5439,1	69,5	3.401.823	113.394	4.520.812	75
	2	64	25/35V-2.1	72,6	67,7	5682,0	78,2	2.909.178	96.973	2.974.647	98
		65	25/35V-2.2	72,0	68,0	5620,6	78,0	3.043.014	101.434	3.072.955	99
		66	25/35V-2.3	69,9	70,9	4915,3	70,3	2.446.390	81.546	2.381.296	103
	3	67	25/35V-3.1	74,6	73,6	4247,3	56,9	3.918.645	130.622	4.491.632	87
		68	25/35V-3.2	79,4	71,2	4839,5	60,9	4.019.098	133.970	5.882.934	68
		69	25/35V-3.3	79,9	69,9	5151,3	64,5	4.079.570	135.986	5.511.713	74

**Anhang 8.6: Tabellarische Darstellung der Prüfergebnisse**

Raffinerie	Labor-Nummer	P.-Bz.	Veränderungen durch mod. RTFOT									
			Delta rel. Speicher	Delta COI30	Veränd. Delta 30auf80	Veränd. Delta 50auf40	Veränd. Delta 50auf30	Delta Äqui-St-T 15kPa	Delta Pha-Wi bei Äqui-St	Delta Phasenwinkel bei 30 °C	Delta Phasenwinkel bei 40 °C	Delta Phasenwinkel bei 60 °C
80/70	1	11 50/70-1.1	10,7	172	1,7	2,3	4,8	12,5	4,3	16,7	14,2	8,8
		12 50/70-1.2	13,2	178	1,9	2,3	4,4	12,9	5,0	17,2	15,1	9,7
		13 50/70-1.3	15,9	152	2,6	1,5	2,6	13,3	6,2	17,3	16,2	11,9
	2	14 50/70-2.1	11,9	204	1,7	4,8	8,3	12,1	4,6	20,9	17,4	8,6
		15 50/70-2.2	12,5	218	1,6	4,4	8,3	11,0	4,1	19,3	15,4	7,1
		16 50/70-2.3	12,3	244	1,5	4,2	8,5	12,2	4,1	19,7	15,4	7,3
	3	17 50/70-3.1	25,7	164	3,0	-0,2	0,1	15,2	9,5	17,6	17,3	15,7
		18 50/70-3.2	19,1	132	3,8	-0,5	0,0	18,3	9,5	18,9	18,4	18,1
		19 50/70-3.3	16,8	121	3,0	-0,6	-0,9	17,2	8,6	16,6	16,9	16,8
160/220	1	21 160/220-1.1	18,8	585	0,0	3,3	7,1	9,8	4,5	12,2	8,4	3,0
		22 160/220-1.2	13,9	543	0,6	3,2	7,1	10,8	4,0	12,2	8,3	3,0
		23 160/220-1.3	16,1	573	0,4	3,1	6,4	10,9	4,2	11,9	8,6	3,4
	2	24 160/220-2.1	12,9	500	0,9	3,6	8,1	11,1	4,0	13,9	9,4	3,3
		25 160/220-2.2	15,2	510	-0,1	3,8	8,7	10,0	4,1	14,1	9,2	2,9
		26 160/220-2.3	13,8	434	0,3	3,5	8,4	9,9	3,9	13,5	8,7	2,7
	3	27 160/220-3.1	16,4	300	1,1	2,5	5,1	10,4	5,2	13,3	10,7	5,2
		28 160/220-3.2	15,0	310	0,5	2,9	6,1	10,5	5,0	12,9	9,7	4,1
		29 160/220-3.3	12,3	278	0,5	3,0	6,3	9,8	4,5	12,1	8,7	3,8
2686-66 A	1	41 25/55A-1.1	5,5	105	6,0	4,0	7,3	13,9	6,4	19,0	15,8	11,0
		42 25/55A-1.2	0,5	100	5,6	4,3	7,3	13,9	5,5	18,7	15,7	8,8
		43 25/55A-1.3	5,1	90	5,5	2,7	4,2	13,1	6,3	15,2	13,6	10,7
		104 25/55A-1.4	3,2	127	3,1	3,7	8,5	13,7	5,2	18,0	13,3	9,9
		204 25/55A-1.5	-8,8	108	2,6	4,5	8,0	13,0	2,4	14,8	11,3	6,1
		304 25/55A-1.6	1,4	95	8,3	4,0	6,0	14,3	6,4	18,0	16,0	9,6
	2	44 25/55A-2.1	4,3	76	0,6	1,1	2,4	12,1	6,1	12,2	10,9	8,9
		45 25/55A-2.2	1,4	86	3,0	1,9	3,9	11,1	4,4	11,9	9,9	7,8
		46 25/55A-2.3	3,1	91	1,5	2,1	4,0	12,6	5,5	13,6	11,6	9,4
	3	47 25/55A-3.1	0,9	93	0,9	3,0	4,5	18,1	8,5	19,0	17,5	13,9
		48 25/55A-3.2	2,6	85	1,4	2,9	4,8	14,2	7,2	16,7	14,8	11,3
		49 25/55A-3.3	-1,6	83	0,6	2,7	3,3	17,5	7,4	16,3	15,8	12,3
4	404 25/55A-4.1	3,4	109	7,9	3,8	6,0	16,2	8,3	21,1	18,9	14,7	
	504 25/55A-4.2	5,8	111	9,8	4,2	5,2	16,3	6,9	19,9	18,8	13,3	
	604 25/55A-4.3	3,8	48	15,5	4,4	-2,5	13,9	6,9	10,1	17,0	10,9	
46/80-60 A RC	1	51 45/80A-1.1	0,5	125	1,4	2,4	5,2	10,5	3,8	13,7	10,9	7,2
		52 45/80A-1.2	8,5	117	1,5	2,1	4,3	10,8	5,4	13,1	10,9	7,5
		53 45/80A-1.3	-4,9	103	8,2	2,5	7,4	9,6	2,5	12,5	7,6	7,8
	2	54 45/80A-2.1	2,3	84	3,4	0,6	2,4	14,6	7,7	12,9	11,1	11,6
		55 45/80A-2.2	3,2	86	3,7	0,7	2,8	14,0	7,6	13,0	11,0	11,5
		56 45/80A-2.3	4,2	81	2,4	0,8	2,4	13,4	7,5	12,5	10,8	10,7
	3	57 45/80A-3.1	-11,4	87	1,4	2,2	6,6	13,2	3,1	15,6	11,2	9,7
		58 45/80A-3.2	4,1	103	6,7	0,7	5,4	13,2	5,5	15,6	10,9	10,9
		59 45/80A-3.3	10,1	102	6,3	0,6	5,1	11,8	6,4	15,4	10,9	11,4
	4	405 45/80A-4.1	-24,4	17	7,2	3,3	6,2	3,6	-4,1	2,4	-0,4	-3,5
505 45/80A-4.2		-1,8	43	7,8	1,5	4,1	4,6	1,7	5,8	3,2	3,5	
605 45/80A-4.3	-6,0	52	8,8	1,6	4,0	7,6	2,1	7,0	4,6	4,3		
2686 V	1	61 25/35V-1.1	-32,5	32	5,7	4,3	3,4	10,6	-6,2	8,6	9,5	4,2
		62 25/35V-1.2	-31,6	33	6,4	2,8	1,7	12,5	-5,1	10,1	11,1	5,2
		63 25/35V-1.3	-38,6	40	8,9	6,4	5,7	10,9	-7,8	12,1	12,8	3,1
	2	64 25/35V-2.1	-45,0	43	4,1	4,3	6,7	6,4	-10,7	10,2	7,8	-2,6
		65 25/35V-2.2	-27,5	56	5,2	3,5	6,5	7,6	-4,9	12,5	9,4	1,2
		66 25/35V-2.3	-46,4	36	5,5	5,6	8,8	4,1	-11,6	8,4	5,2	-4,7
	3	67 25/35V-3.1	-33,8	63	8,7	3,9	5,4	12,7	-5,5	15,3	13,8	4,6
		68 25/35V-3.2	-36,4	48	5,7	5,0	0,6	16,8	-5,1	15,0	19,4	3,1
		69 25/35V-3.3	-28,6	67	7,4	1,9	0,6	19,4	-2,0	18,1	19,3	12,0

## Anhang 8.7: Tabellarische Darstellung der Prüfergebnisse

	Raffi- nerie	Kriechwzruck Belastung (früch)			Kriechwzruck Entlastung (früch)		Kriechwzruck Belastung (RTFOT)			Kriechwzruck Entlastung (RTFOT)			
		Labor- Nummer	P.-Bz.	Steigung %/h	Steigung %/h	R'	Steigung	R'	Steigung	Steigung %/h	R'	Steigung	R'
60/70	1	11	50/70-1.1	0,0003390	1,43637	0,396	-0,00007	0,36	0,0000652	0,23481	0,387	-0,00002	0,374
		12	50/70-1.2	0,0004278	1,54016	0,396	-0,00008	0,383	0,0000577	0,20789	0,388	-0,00002	0,379
		13	50/70-1.3	0,0004394	1,79781	0,397	-0,0001	0,387	0,0000745	0,26825	0,390	-0,00002	0,374
	2	14	50/70-2.1	0,0001903	0,68509	0,395	-0,00004	0,382	0,0000363	0,13076	0,380	-0,00001	0,358
		15	50/70-2.2	0,0002110	0,75359	0,396	-0,00004	0,382	0,0000338	0,14321	0,384	-0,00002	0,350
		16	50/70-2.3	0,0002353	0,84705	0,395	-0,00004	0,384	0,0000422	0,15193	0,390	-0,00002	0,368
	3	17	50/70-3.1	0,0005740	2,06657	0,396	-0,00011	0,384	0,0001286	0,46292	0,393	-0,00004	0,366
		18	50/70-3.2	0,0003524	1,26882	0,394	-0,00008	0,383	0,0000810	0,29147	0,392	-0,00003	0,371
		19	50/70-3.3	0,0003372	1,21384	0,396	-0,00007	0,387	0,0000944	0,33996	0,394	-0,00003	0,371
100/220	1	21	160/220-1.1	0,0020630	7,42670	0,398	-0,00023	0,389	0,0005072	1,82601	0,395	-0,00010	0,364
		22	160/220-1.2	0,0019093	6,87347	0,397	-0,00022	0,389	0,0005325	1,91707	0,396	-0,00011	0,368
		23	160/220-1.3	0,0013431	6,39503	0,398	-0,00021	0,387	0,0005548	1,99735	0,396	-0,00011	0,366
	2	24	160/220-2.1	0,0011912	4,28820	0,398	-0,00014	0,385	0,0003033	1,09177	0,395	-0,00006	0,385
		25	160/220-2.2	0,0011204	4,03360	0,398	-0,00014	0,389	0,0002635	0,94867	0,395	-0,00007	0,383
		26	160/220-2.3	0,0010692	3,84916	0,397	-0,00013	0,389	0,0002924	1,05261	0,395	-0,00006	0,387
	3	27	160/220-3.1	0,0029912	10,76848	0,399	-0,00040	0,388	0,0006575	2,36708	0,396	-0,00015	0,368
		28	160/220-3.2	0,0043891	15,80080	0,398	-0,00055	0,391	0,0008095	2,91403	0,396	-0,00018	0,368
		29	160/220-3.3	0,0038698	13,93115	0,398	-0,00051	0,389	0,0008481	3,05325	0,396	-0,00013	0,390
2609-66 A	1	41	25/55A-1.1	0,0001852	0,66670	0,394	-0,00005	0,382	0,0000361	0,13013	0,388	-0,00002	0,356
		42	25/55A-1.2	0,0001931	0,69522	0,393	-0,00005	0,384	0,0000339	0,14368	0,391	-0,00001	0,323
		43	25/55A-1.3	0,0002085	0,75066	0,393	-0,00005	0,381	0,0000639	0,25148	0,391	-0,00002	0,365
		104	25/55A-1.4	0,0002026	0,72942	0,375	-0,00004	0,366	0,0000423	0,15237	0,389	-0,00002	0,380
	2	204	25/55A-1.5	0,0001628	0,58620	0,395	-0,00004	0,390	0,0000556	0,20016	0,394	-0,00002	0,393
		304	25/55A-1.6	0,0001319	0,47485	0,387	-0,00003	0,368	0,0000489	0,17592	0,390	-0,00002	0,346
		44	25/55A-2.1	0,0004763	1,71674	0,395	-0,00011	0,389	0,0001101	0,39629	0,394	-0,00004	0,366
		45	25/55A-2.2	0,0005565	2,00355	0,397	-0,00012	0,387	0,0001189	0,42803	0,393	-0,00004	0,357
	3	46	25/55A-2.3	0,0002882	1,03766	0,397	-0,00007	0,382	0,0001110	0,39968	0,392	-0,00003	0,375
		47	25/55A-3.1	0,0003711	1,33585	0,396	-0,00009	0,388	0,0000750	0,27001	0,391	-0,00004	0,383
		48	25/55A-3.2	0,0003708	1,33478	0,396	-0,00009	0,387	0,0000866	0,31190	0,370	-0,00002	0,303
		49	25/55A-3.3	0,0003340	1,20248	0,397	-0,00009	0,391	0,0001184	0,42615	0,392	-0,00004	0,373
4	404	25/55A-4.1	0,0001309	0,47118	0,394	-0,00004	0,367	0,0000444	0,15967	0,390	-0,00002	0,367	
	504	25/55A-4.2	0,0001274	0,45854	0,395	-0,00003	0,375	0,0000332	0,11949	0,385	-0,00001	0,352	
	604	25/55A-4.3	0,0001076	0,38723	0,393	-0,00003	0,380	0,0000367	0,13216	0,394	-0,00001	0,812	
	51	45/80A-1.1	0,0004186	1,50682	0,394	-0,00008	0,386	0,0000785	0,28245	0,392	-0,00003	0,371	
4609-60 A RC	1	52	45/80A-1.2	0,0002610	0,93970	0,387	-0,00005	0,373	0,0000853	0,30690	0,390	-0,00003	0,372
		53	45/80A-1.3	0,0010651	3,83420	0,393	-0,00028	0,388	0,0001063	0,38498	0,392	-0,00003	0,375
		54	45/80A-2.1	0,0008958	3,22487	0,397	-0,00021	0,389	0,0001615	0,58151	0,394	-0,00005	0,382
	2	55	45/80A-2.2	0,0005474	1,97048	0,395	-0,00013	0,387	0,0001626	0,58543	0,393	-0,00005	0,385
		56	45/80A-2.3	0,0004993	1,79747	0,396	-0,00012	0,385	0,0001643	0,59163	0,393	-0,00005	0,388
		57	45/80A-3.1	0,0003806	1,37009	0,395	-0,00009	0,396	0,0001054	0,37940	0,385	-0,00004	0,391
	3	58	45/80A-3.2	0,0002067	0,74410	0,394	-0,00005	0,382	0,0000667	0,24002	0,392	-0,00003	0,372
		59	45/80A-3.3	0,0002077	0,74771	0,394	-0,00005	0,386	0,0000647	0,23287	0,392	-0,00002	0,366
		405	45/80A-4.1	0,0006497	2,33887	0,397	-0,00016	0,388	0,0003001	1,08038	0,397	-0,00008	0,389
	4	505	45/80A-4.2	0,0004200	1,51191	0,397	-0,00010	0,386	0,0002736	0,98503	0,396	-0,00007	0,385
		605	45/80A-4.3	0,0005443	1,95364	0,398	-0,00013	0,385	0,0002304	0,82931	0,394	-0,00007	0,387
		61	25/35V-1.1	0,0000566	0,20373	0,372	-0,00001	0,737	0,0000229	0,08255	0,378	-0,00001	0,860
2609 V	1	62	25/35V-1.2	0,0000573	0,20616	0,379	-0,00002	0,859	0,0000198	0,07133	0,374	-0,00001	0,966
		63	25/35V-1.3	0,0000464	0,16717	0,353	0,00000	0,372	0,0000403	0,14518	0,305	-0,00001	0,600
		64	25/35V-2.1	0,0001043	0,37552	0,394	-0,00003	0,352	0,0000418	0,15065	0,393	-0,00001	0,881
	2	65	25/35V-2.2	0,0001045	0,37632	0,370	-0,00002	0,888	0,0000229	0,08258	0,379	-0,00001	0,851
		66	25/35V-2.3	0,0001032	0,37134	0,394	-0,00003	0,361	0,0000475	0,17111	0,361	0,00000	0,146
		67	25/35V-3.1	0,0001203	0,43290	0,382	-0,00001	0,704	0,0000315	0,11337	0,387	-0,00001	0,731
	3	68	25/35V-3.2	0,0000596	0,21464	0,389	-0,00002	0,886	0,0000190	0,06857	0,840	0,00000	0,207
		69	25/35V-3.3	0,0000836	0,30106	0,374	-0,00002	0,852	0,0000151	0,05454	0,323	0,00000	0,421