



Statistisches Isolierverhalten umweltschonender alternativer Isoliergase

Hochegger U., Imamovic D., Muhr M.

Institut für Hochspannungs- und Systemtechnik
an der Technischen Universität Graz

Inhalt

- Gasisolierte Anlagen
 - SF₆
- Versuchsplanung
 - Allgemein
 - Experimentelle Untersuchungen alternativer Isoliergase
 - Verfestigungseffekt
 - Rekombinationszeit
- Statistik und Wahrscheinlichkeitsfunktionen
 - Unabhängigkeit zwischen den Einzelversuchen
 - Verteilungsfreier Vergleich von Teilstichproben auf ihre Unabhängigkeit
 - Ausreißer
 - Identifikation der Verteilungsfunktionen
 - Vergleich der zu untersuchenden Gase mit SF₆
- Zusammenfassung

Versuchsplanung Allgemein

- verantwortlich für Qualität und Informationsgehalt
- Für präzise Planung
 - Genaue Aufgabenstellung und vorgegebenes Ziel
- Vorteil
 - Unnötige Messungen vermieden
 - Zeitaufwand gesenkt
 - Kosten reduziert
- Verschiedene Vorgehensweisen
 - Versuch – Irrtum; One factor at one time;
Versuchspläne (vollfaktorielle und teilfaktorielle)
- Begriffe
 - Zielgröße, Einflussgrößen, Störgrößen, Faktoren und Faktorstufen
- Prinzipien
 - Wiederholungen, Randomisierung, Blockbildung

Versuchsplan bei alternativen Isoliergasen

- Festlegung bei vollfaktoriellen Versuchsplan
 - Untersuchungsziel
 - Zielgröße → Durchschlagsspannung
 - Faktoren und die Faktorstufen
 - Gaszusammensetzung (3 Stufen)
 - Druck (5 Stufen)
 - Polarität (2 Stufen)
- 20 Durchschläge
- Replikation (Wiederholung) = 5
- Verfestigungseffekt
- Rekombinationszeit

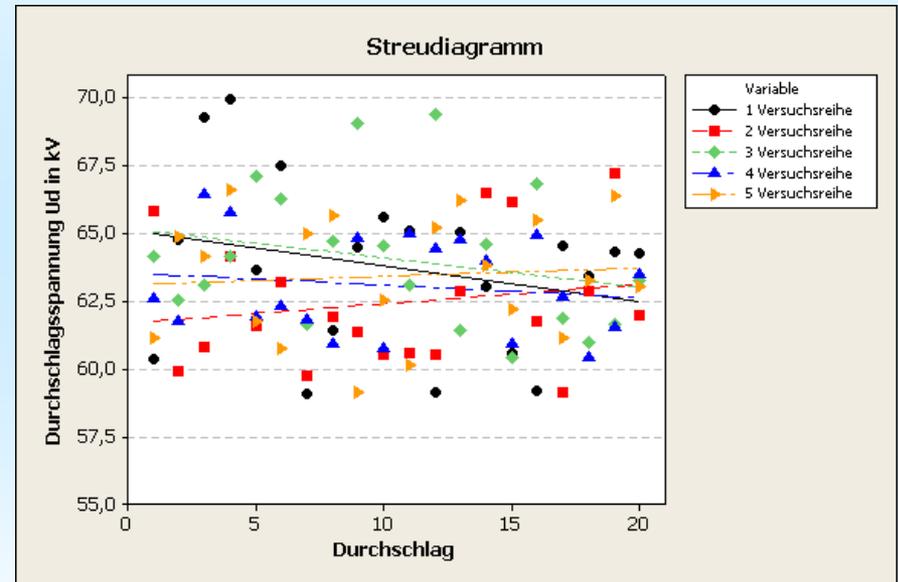
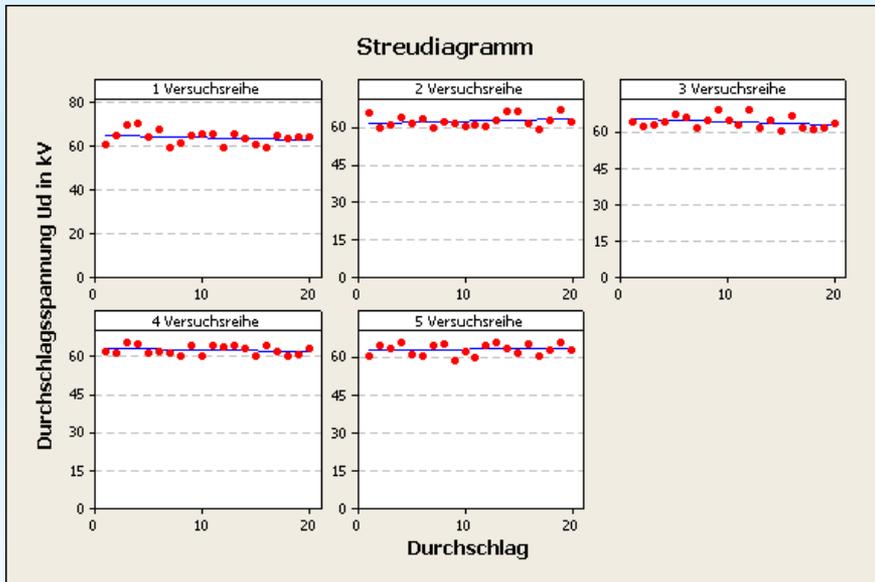
- Versuche 720 – 36 Blöcke mit je 20 Versuchen
- Versuchsumfang: 3600 Versuche

Statistik

- Überprüfung der elektrischen Festigkeit
- unterliegt hohen Schwankungen
- Defintion:
 - „Statistik ist die Kunst, Daten zu gewinnen, darzustellen, zu analysieren und zu interpretieren, um zu neuen Wissen zu gelangen.“
- Durchschlag wird als Zufallsgröße der elektrischen Festigkeit angenommen
- Zusammenführung zu einer großen Gesamtstichprobe
 - Test auf Unabhängigkeit der Einzelversuche
 - Überprüfung der Vereinigung der 5 Teilstichproben
 - Kontrolle auf Ausreißer
- Identifikation der Verteilungsfunktionen
- Vergleich der untersuchenden Gase mit SF₆

Unabhängigkeit zwischen den Einzelversuchen

- Graphische Darstellung - Streudiagramm



Unabhängigkeit zwischen den Einzelversuchen

Phasenhäufigkeitstest von Wallis und Moore

$$\hat{z} = \frac{\left| h - \frac{2n-7}{3} \right| - 0,5}{\sqrt{\frac{16n-29}{90}}}$$

Hypothese $\hat{z} < z_{1-\alpha}$

Signifikanzniveau $\alpha=0,05$
kritische Wert $z_{0,95}=1,6449$

Durchschlag	1 Versuchsreihe			2 Versuchsreihe			3 Versuchsreihe			4 Versuchsreihe			5 Versuchsreihe		
	Durchschlags- spannung Ud in kV	Vorzeichen	Nr. der Phase	Durchschlags- spannung Ud in kV	Vorzeichen	Nr. der Phase	Durchschlags- spannung Ud in kV	Vorzeichen	Nr. der Phase	Durchschlags- spannung Ud in kV	Vorzeichen	Nr. der Phase	Durchschlags- spannung Ud in kV	Vorzeichen	Nr. der Phase
1	60,38			65,81			64,15			62,60			61,13		
2	64,76	+		59,90	-		62,51	-		61,74	-		64,86	+	
3	69,26	+		60,82	+	1	63,11	+	1	66,41	+	1	64,16	-	1
4	69,95	+		64,15	+		64,13	+		65,78	-	2	66,62	+	2
5	63,67	-	1	61,59	-	2	67,09	+		61,92	-		61,77	-	3
6	67,50	+	2	63,20	+	3	66,26	-	2	62,30	+	3	60,73	-	
7	59,06	-	3	59,75	-	4	61,64	-		61,83	-	4	64,98	+	4
8	61,44	+	4	61,91	+	5	64,70	+	3	60,91	-		65,68	+	
9	64,48	+		61,34	-	6	69,08	+		64,85	+	5	59,13	-	5
10	65,62	+		60,51	-		64,56	-	4	60,75	-	6	62,56	+	6
11	65,11	-	5	60,60	+	7	63,08	-		65,01	+	7	60,16	-	7
12	59,13	-		60,53	-	8	69,42	+	5	64,44	-	8	65,23	+	8
13	65,04	+	6	62,85	+	9	61,44	-	6	64,78	+	9	66,19	+	
14	63,01	-	7	66,48	+		64,61	+	7	64,00	-	10	63,81	-	9
15	60,59	-		66,13	-	10	60,42	-	8	60,92	-		62,19	-	
16	59,18	-		61,77	-		66,83	+	9	64,91	+	11	65,46	+	10
17	64,51	+	8	59,12	-		61,88	-	10	62,64	-	12	61,12	-	11
18	63,45	-	9	62,88	+	11	61,00	-		60,41	-		63,25	+	12
19	64,31	+	10	67,22	+		61,65	+		61,53	+		66,37	+	
20	64,27	-		62,00	-		63,26	+		63,49	+		63,04	-	
	Summe der Phasen		10	Summe der Phasen		11	Summe der Phasen		10	Summe der Phasen		12	Summe der Phasen		12
			$\hat{z}= 0,3$			$\hat{z}= -0,3$			$\hat{z}= 0,3$			$\hat{z}= 0,3$			$\hat{z}= 0,3$

Unabhängigkeit zwischen den Einzelversuchen

Iterationstest

Signifikanzniveau
 $\alpha=0,05$

kritische Wert
 $\lambda_{0,975}=1,96$

$$z^* = \frac{r - \frac{2 \cdot (n - k) \cdot k}{n}}{2 \cdot \frac{(n - k) \cdot k}{n \cdot \sqrt{n}}}$$

Hypothese

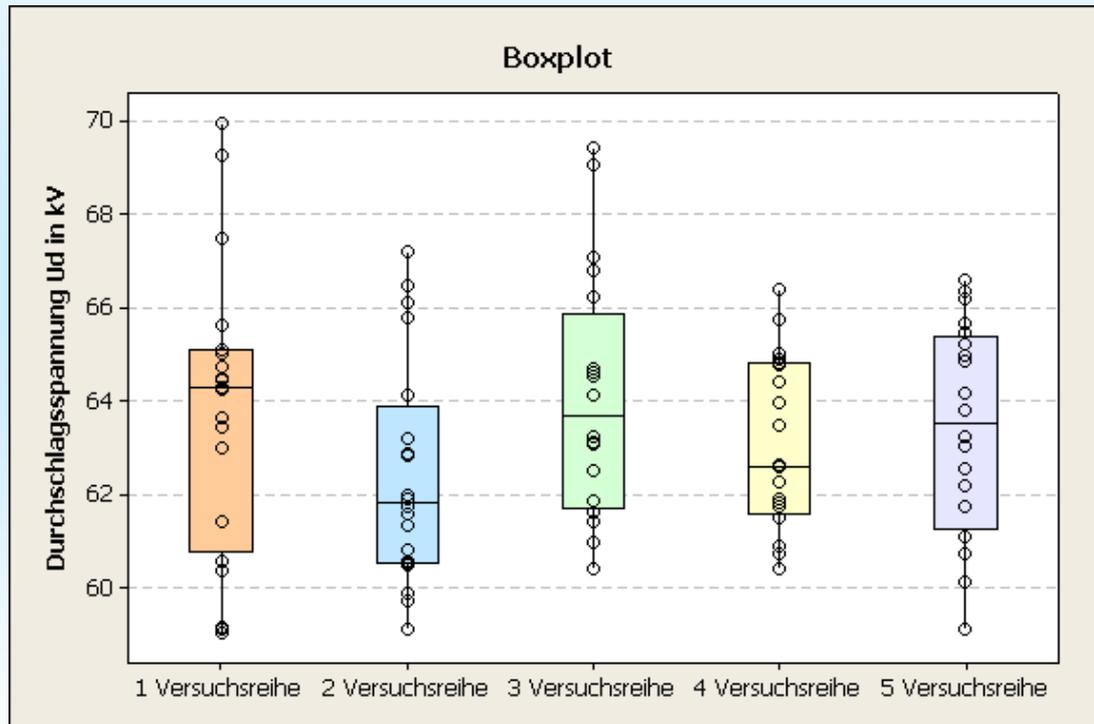
$$|z^*| > \lambda_q$$

$$|z^*| < \lambda_{0,975} = 1,96$$

Durchschlag	1 Versuchsreihe			2 Versuchsreihe			3 Versuchsreihe			4 Versuchsreihe			5 Versuchsreihe		
	Durchschlagsspannung Ud in kV	Anzahl der pos. Vorzeichen (k)	Iterationen r	Durchschlagsspannung Ud in kV	Anzahl der pos. Vorzeichen (k)	Iterationen r	Durchschlagsspannung Ud in kV	Anzahl der pos. Vorzeichen (k)	Iterationen r	Durchschlagsspannung Ud in kV	Anzahl der pos. Vorzeichen (k)	Iterationen r	Durchschlagsspannung Ud in kV	Anzahl der pos. Vorzeichen (k)	Iterationen r
1	60,38	-	1	65,81	+	1	64,15	+	1	62,60	-	1	61,13	-	1
2	64,76	+	1	59,90	-	2	62,51	-	2	61,74	-	2	64,86	+	1
3	69,26	+	2	60,82	-		63,11	-		66,41	+	1	64,16	+	2
4	69,95	+	3	64,15	+	2	64,13	+	2	65,78	+	2	66,62	+	3
5	63,67	-	3	61,59	-	4	67,09	+	3	61,92	-	3	61,77	-	3
6	67,50	+	4	63,20	+	3	66,26	+	4	62,30	-		60,73	-	
7	59,06	-	5	59,75	-	6	61,64	-	4	61,83	-		64,98	+	4
8	61,44	-		61,91	-		64,70	+	5	60,91	-		65,68	+	5
9	64,48	+	5	61,34	-		69,08	+	6	64,85	+	3	59,13	-	5
10	65,62	+	6	60,51	-		64,56	+	7	60,75	-	5	62,56	-	
11	65,11	+	7	60,60	-		63,08	-	6	65,01	+	4	60,16	-	
12	59,13	-	7	60,53	-		69,42	+	8	64,44	+	5	65,23	+	6
13	65,04	+	8	62,85	+	4	61,44	-	8	64,78	+	6	66,19	+	7
14	63,01	-	9	66,48	+	5	64,61	+	9	64,00	+	7	63,81	+	8
15	60,59	-		66,13	+	6	60,42	-	10	60,92	-	7	62,19	-	7
16	59,18	-		61,77	-	8	66,83	+	10	64,91	+	8	65,46	+	9
17	64,51	+	9	59,12	-		61,88	-	12	62,64	-	9	61,12	-	9
18	63,45	-	11	62,88	+	7	61,00	-		60,41	-		63,25	-	
19	64,31	+	10	67,22	+	8	61,65	-		61,53	-		66,37	+	10
20	64,27	+	11	62,00	-	10	63,26	-		63,49	+	9	63,04	-	11
Summe			11 12			8 10			10 12			9 10			10 11
	arithmetischer Mittelwert 63,74			arithmetischer Mittelwert 62,43			arithmetischer Mittelwert 64,04			arithmetischer Mittelwert 63,06			arithmetischer Mittelwert 63,42		
	z* = 0,95			z* = 0,19			z* = 0,89			z* = 0,05			z* = 0,45		

Verteilungsfreier Vergleich von Teilstichproben auf ihre Unabhängigkeit

- Graphische Darstellung



Verteilungsfreier Vergleich von Teilstichproben auf ihre Unabhängigkeit

- Mathematischer Test
 - H-Test nach Kruskal und Wallis

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k n_i (\bar{r}_i - \bar{r})^2 = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{1}{n_i} \left(r_i - \frac{n_i(N+1)}{2} \right)^2$$

Kruskal- Wallis-Test für Durchschlagsspannung Ud in kV				
Versuchsreihe	N	Median	Durchschnittlicher Rang	z
1	20	64,29	54,0	0,59
2	20	61,84	39,6	-1,88
3	20	63,70	57,1	1,14
4	20	62,62	48,5	-0,34
5	20	63,53	53,3	0,48
Gesamt	100		50,5	
H = 4,42 DF = 4 p = 0,352				

$$\bar{r} = \frac{(N+1)}{2} \qquad \bar{r}_i = \frac{r_i}{n_i}$$

Hypothese: $H \leq \chi^2_{1-\alpha;DF}$

$$\chi^2_{0,95;4} = 9,4877$$

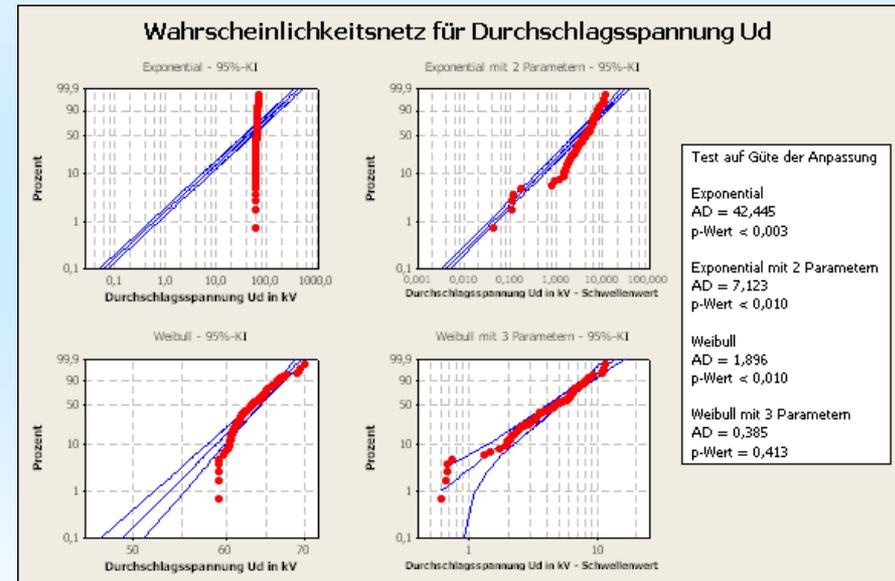
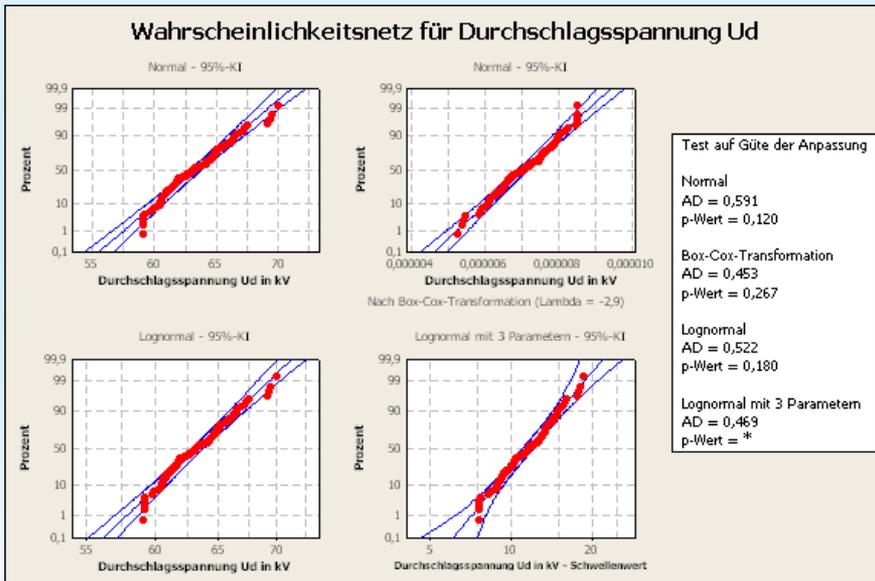
$$4,42 \leq 9,4877$$

Ausreißer

- Nur unter bestimmten Umständen werden diese aus der Grundgesamtheit ausgeschlossen
- Allgemeine Regel
 - Voraussetzung: mind. 10 Messwerte
 - Mittelwert und Standardabweichung (ohne Ausreißer)
 - Betrachtung des Bereiches $x \pm 4 \cdot \sigma$
 - Falls außerhalb → entfernen aus der Grundgesamtheit
 - Das entspricht bei der Normalverteilung 99,99% der Messdaten
- Graphisch mittels Boxplot

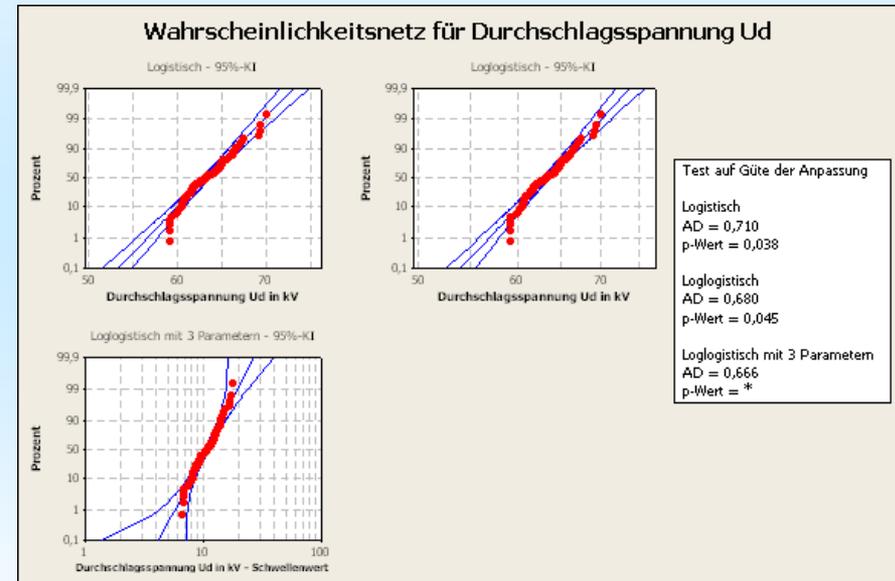
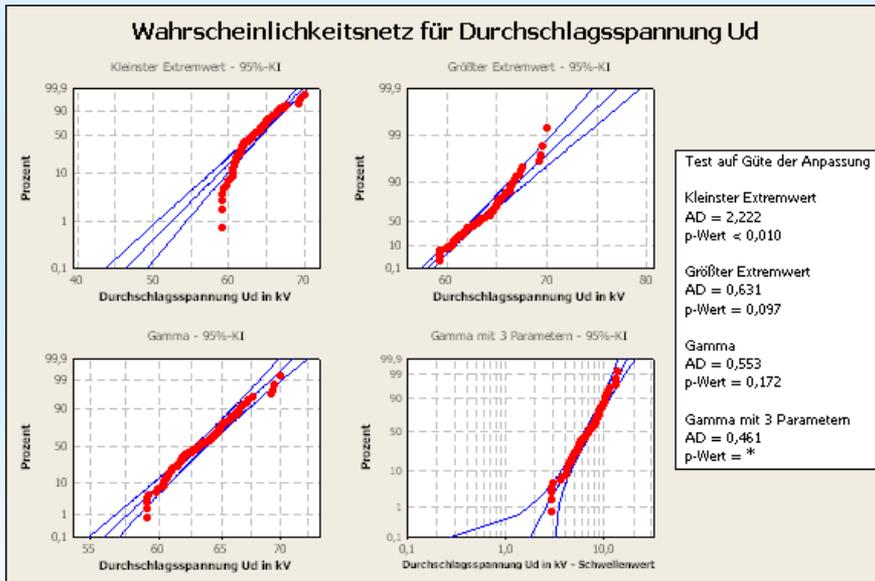
Identifikation der Verteilungsfunktionen

- graphisch – Wahrscheinlichkeitsnetz



Identifikation der Verteilungsfunktionen

- graphisch – Wahrscheinlichkeitsnetz



Identifikation der Verteilungsfunktionen

■ Rechnerisch

■ Deskriptive Statistik

N	N*	Mittelwert	StdAbw	Median	Minimum	Maximum	Schiefe	Kurtosis
100	0	63,3372	2,48731	63,1583	59,0625	69,9458	0,408339	-0,249933

■ Parameter für Transformationen

Box-Cox-Transformation: Lambda = -2,86275

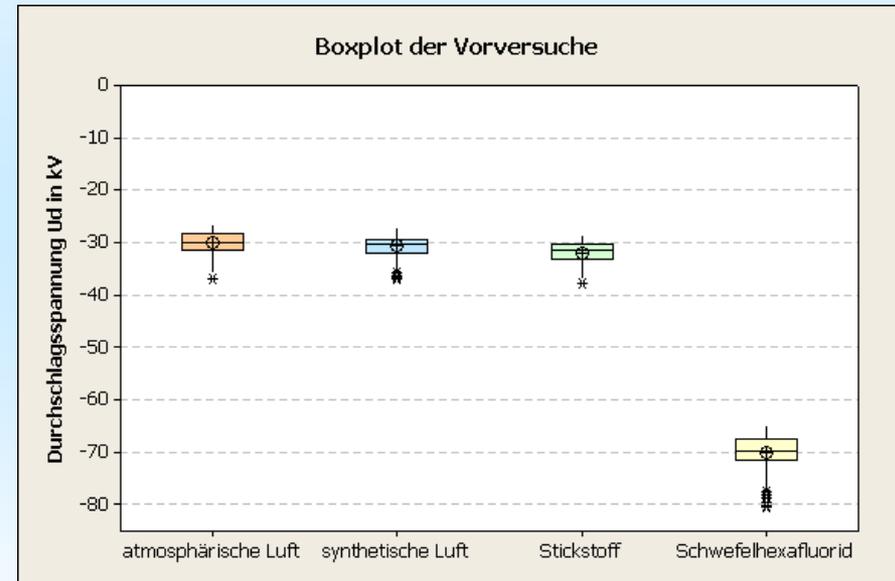
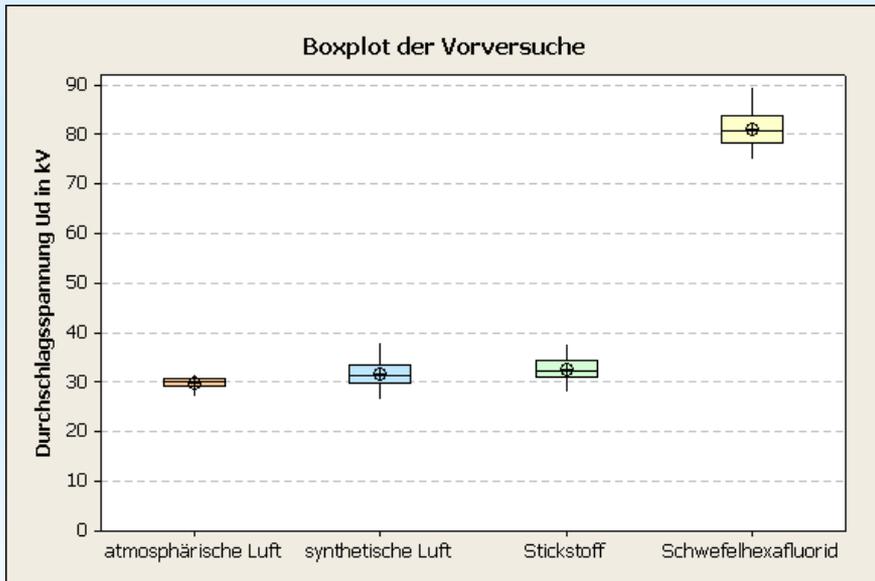
■ Test auf Güte

- Anderson-Darling Wert
- p- Value

Verteilung	AD	p	LVT	p
Normal	0,591	0,120		
Box-Cox-Transformation	0,453	0,267		
Lognormal	0,522	0,180		
Lognormal mit 3 Parametern	0,469	*	0,100	
Exponential	42,445	<0,003		
Exponential mit 2 Parametern	7,123	<0,010	0,000	
Weibull	1,896	<0,010		
Weibull mit 3 Parametern	0,385	0,413	0,000	
Kleinster Extremwert	2,222	<0,010		
Größter Extremwert	0,631	0,097		
Gamma	0,553	0,172		
Gamma mit 3 Parametern	0,461	*	0,050	
Logistisch	0,710	0,038		
Loglogistisch	0,680	0,045		
Loglogistisch mit 3 Parametern	0,666	*	0,186	

Vergleich der untersuchenden Gase mit SF₆

- Mittels graphischer Darstellung in einem Boxplot



Zusammenfassung

- Ziel:
Vorgehensweise bei experimentellen Untersuchungen an alternativen umweltschonenden Isoliergasen
 - Effiziente und effektive Versuchsplanung
 - Wegen hohen Schwankungen der elekt. Festigkeit → Statistik
 - Einzelmesswerte auf ihren Verfestigungseffekt überprüfen → Unabhängigkeitstests
 - Teilstichproben zu einer Gesamtstichprobe zusammenzufassen
 - Ausreißer
 - Identifikation der Verteilungsfunktionen
 - Vergleich der zu untersuchenden Gase mit SF₆



**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!**