

# Erwärmung von Leuchtstofflampen am Ende ihrer Lebensdauer

Katrin Herrmann<sup>1</sup>, Ulrich Johannsmeyer<sup>1</sup>, Rainer Kulesa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Fachbereich 3.6 „System- und Eigensicherheit“

*An explosionsgeschützten Langfeldleuchten der Zündschutzarten Erhöhte Sicherheit „e“ und Nichtfunkend „nA“, in denen der Betrieb von Leuchtstofflampen nach IEC 60081 mit elektronischen Vorschaltgeräten erfolgt, muss an den Lampen eine maximal zulässige Oberflächentemperatur eingehalten werden. Das Risiko, dass an gealterten Leuchtstofflampen Temperaturen über der zulässigen Oberflächentemperatur auftreten, wurde in der Vergangenheit als hinreichend gering eingeschätzt, da für die in diesen Leuchten verwendeten Leuchtstofflampen keine dieser Annahme widersprechenden Erfahrungen vorlagen und die Betriebsgeräte für Leuchtstofflampen in explosionsgeschützten Leuchten dem Stand der Technik entsprachen.*

*Allerdings zeigte sich mit steigender Anzahl der installierten Leuchten mit elektronischem Vorschaltgerät und zwei Stiften (statt der bisherigen Einstiftleuchtstofflampen mit konventionellem Vorschaltgerät), dass höhere Temperaturen an den Leuchtstofflampen auftreten können.*

*Die Erfahrungen mit offensichtlich erhöhten Temperaturen an Leuchtstofflampen in Leuchten für Allgemeinbeleuchtung führten zu Sicherheitsanforderungen an elektronische Betriebsgeräte gemäß EN/IEC 61347-2-3.*

*Damit ist ein sicherheitstechnisch relevanter Zusammenhang zwischen der Oberflächentemperatur der Lampe, dem Leistungsumsatz in den Elektroden der Leuchtstofflampe an deren Lebensdauerende und der Funktion des elektronischen Betriebsgerätes im sicherheitstechnischen Konzept zu berücksichtigen.*

*Diese Anforderungen gelten für alle elektronischen Betriebsgeräte (Vorschaltgeräte), die vorgesehen sind für den Hochfrequenzbetrieb von Leuchtstofflampen nach IEC 60081 und damit auch für Betriebsgeräte dieser Art in explosionsgeschützten Leuchten.*

*Die Anwendbarkeit der in der EN/IEC 61347-2-3 angegebenen Grenzwerte für die höchste Elektrodenleistung zur Einhaltung der Temperaturgrenzen an explosionsgeschützten Leuchten wurde untersucht.*

*Aus experimentellen Untersuchungen mit Leuchtstofflampen im explosionsfähigen Gemisch und aus Temperaturmessungen an Leuchtstofflampen wurden sicherheitstechnisch begründete Werte der Elektrodenleistung zur Begrenzung der Oberflächentemperatur von Leuchtstofflampen in explosionsgeschützten Leuchten abgeleitet.*

## 1 Einleitung

Die beschriebenen Untersuchungen beziehen sich auf Leuchten der Allgemeinbeleuchtung und auf explosionsgeschützte Langfeldleuchten der Zündschutzarten Erhöhte Sicherheit „e“ und Nichtfunkend „nA“ (im folgenden explosionsgeschützte Leuchten genannt) mit Zweistift-Leuchtstofflampen nach EN/IEC 60081 mit einem Nenndurchmesser von 16 mm (T5-Lampe) bzw. 26 mm (T8-Lampe) (im folgenden Leuchtstofflampen genannt) und auf die für diese Leuchtstofflampen bestimmten elektronischen Betriebsgeräte.

Die speziell für den Explosionsschutz entwickelten Einstift-Leuchtstofflampen nach EN/IEC 60081 waren auf Grund aktuell geringerer wirtschaftlicher Bedeutung nicht Gegenstand der Untersuchungen.

## 1.1 Erhöhter Leistungsumsatz in der Elektrode am Lebensdauerende der Leuchtstofflampe

Wenn das Emittermaterial der Elektrode (Wendel der üblichen Zweistiftlampe) am Lebensdauerende der Lampe aufgebraucht ist oder aus anderen Gründen seine Emissionsfähigkeit verliert, wird der Austritt der Elektronen erschwert, was zu einem erhöhten Spannungsabfall an der Elektrode führt. Durch den Betrieb der Lampe mit konstantem Strom, das elektronische Vorschaltgerät ist in der Regel näherungsweise eine Konstantstromquelle, entsteht eine hohe Verlustleistung, die die Glasoberfläche im Bereich der Elektrode stark erhitzt. Dieser Vorgang wird häufig als „End of life (EOL)-Effekt“ bezeichnet und äußert sich elektrotechnisch im so genannten "partiellen Gleichrichtereffekt" und in einem deutlich erhöhten Leistungsumsatz in der Elektrode. Die entstehenden Oberflächentemperaturen der Lampenenden können ohne weitere Maßnahmen Werte erreichen, die im Bereich der Schmelztemperatur des Lampenglases liegen können.

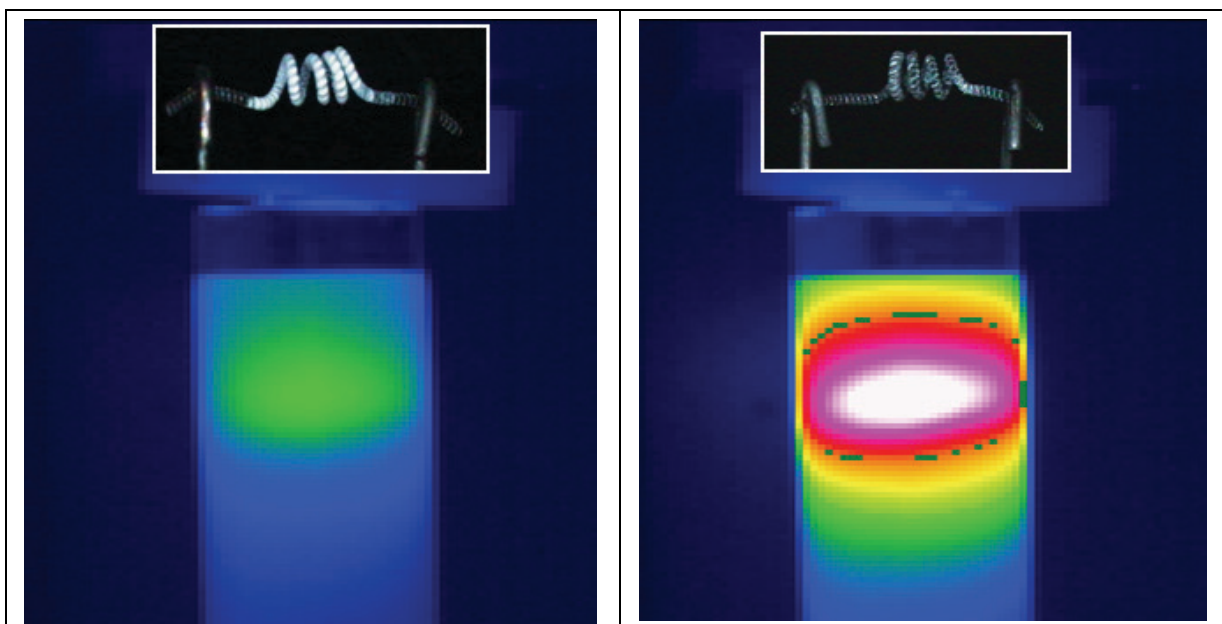


Abbildung 1 Neue Elektrode und Elektrode am Ende der Lebensdauer der Lampe, Oberflächentemperatur der Leuchtstofflampe im Vergleich

## 1.2 Begrenzung der Oberflächentemperatur von Leuchtstofflampen am Ende der Lebensdauer mit elektronischen Betriebsgeräten in Leuchten der Allgemeinbeleuchtung

Bei Nennbetrieb der Leuchtstofflampe liegt die Temperatur an der Oberfläche, lampenmittig, abhängig vom Lampentyp und den thermischen Betriebsbedingungen, etwa im Bereich von 75 °C bis 120 °C, im Bereich der Elektroden der Lampen auch darüber.

Am Ende der Lebensdauer der Leuchtstofflampen kann der Leistungsumsatz in den Elektroden ansteigen. Dadurch steigt die Temperatur der Lampenoberfläche im Bereich der Elektroden stark an, insbesondere bei Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser des Glaskolbens von 16 mm und kleiner.

Da die Lampentemperaturen brandschutztechnisch relevante Werte erreichen können, wird die Oberflächentemperatur von Leuchtstofflampen entsprechend dem Stand der Technik normativ [6] begrenzt, indem das elektronische Betriebsgerät die Leuchtstofflampe abschaltet, wenn der Leistungsumsatz in den Elektroden der Lampe bestimmte Grenzwerte erreicht. Für elektronische Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen mit einem Nenndurchmesser des Glaskolbens von 12 mm und von 16 mm wird das Abschaltkriterium bezogen auf den Nenndurchmesser des Glaskolbens in der entsprechenden Norm [6] angegeben.

Normativ ist festgelegt, dass die Oberflächentemperatur der Lampe an deren Lebensdauerende begrenzt werden muss. Die Begrenzung der Oberflächentemperatur der Lampe soll dadurch erreicht werden, dass das elektronische Vorschaltgerät die Lampe abschaltet, wenn der Leistungsumsatz in den Elektroden dieser Lampe bestimmte Werte erreicht [6]. Dies gilt für alle elektronischen Betriebsgeräte für den Hochfrequenzbetrieb von Leuchtstofflampen nach IEC 60081.

Damit muss auch die Funktionalität von elektronischen Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen in explosionsgeschützten Leuchten darauf ausgerichtet sein, den Zusammenhang von Temperatur an der Lampenoberfläche am Lebensdauerende der Lampen und Leistungsumsatz in den Elektroden im Sinne der sicherheitstechnischen Anforderungen an explosionsgeschützte Leuchten zu berücksichtigen.

### 1.3 Begrenzung der Oberflächentemperatur von Leuchtstofflampen am Ende der Lebensdauer mit elektronischen Betriebsgeräten in explosionsgeschützten Leuchten

#### 1.3.1 Einstufung von explosionsgeschützten Leuchten in Temperaturklassen

Die normativ festgelegten Prüfbedingungen für die Messung der Temperatur der Oberfläche der Komponenten von explosionsgeschützten Leuchten mit Leuchtstofflampen zur Temperaturklasseneinstufung der Ex-Leuchte [7] fordern lediglich eine Messung bei Betrieb des elektronischen Vorschaltgerätes im erweiterten Eingangsspannungsbereich und bei ungünstigsten thermischen Umgebungsbedingungen. Da die bei diesen Prüfbedingungen an der Lampe gemessene Temperatur in der Regel unterhalb von 130 °C liegt, hat sich international für diese Leuchten eine Einstufung in die Temperaturklasse T4 etabliert. Die entsprechend der Temperaturklasse T4 maximal zulässige Oberflächentemperatur von 130 °C ist beim Betrieb der Leuchte einzuhalten.

#### 1.3.2 Temperaturen an Leuchtstofflampen an deren Lebensdauerende

Vor dem Hintergrund der Temperaturklasseneinstufung von explosionsgeschützten Leuchten war im Zusammenhang mit den Anforderungen der Norm EN 61347-2-3 [6] die Frage zu klären, welche Werte die Temperatur der Oberfläche von Leuchtstofflampen in Abhängigkeit der Elektrodenleistung bei ungünstigsten thermischen Bedingungen annehmen kann und bei welcher Elektrodenleistung die Lampe zur Einhaltung der Temperaturgrenze von 130 °C abgeschaltet werden müsste.

Einen Anhaltspunkt zur Abschätzung der Verhältnisse gab es nicht, da für elektronische Vorschaltgeräte des in explosionsgeschützten Leuchten mit am häufigsten verwendeten Leuchtstofflampentyps mit einem Durchmesser des Glaskolbens von 26 mm in der betreffenden Norm EN 61347-2-3 [6] kein Abschaltkriterium angegeben wird.

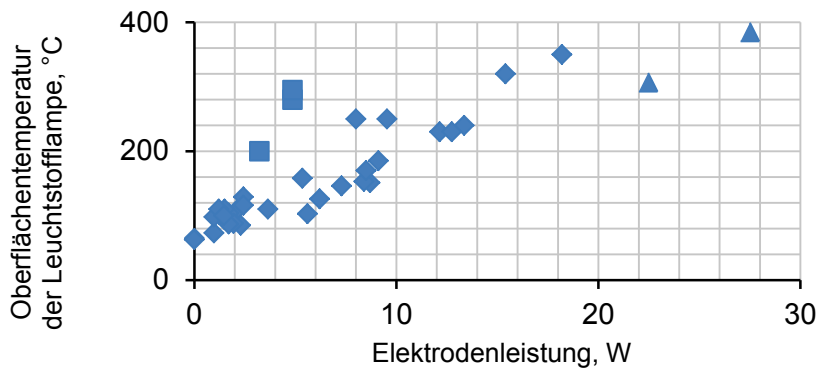


Abbildung 2: Temperaturmessungen an real gealterten Leuchtstofflampen

### 1.3.2.1 Oberflächentemperatur von real gealterten Leuchtstofflampen

Der Zusammenhang von Lampentemperatur und Elektrodenleistung für Leuchtstofflampen mit einem Nenndurchmesser von 26 mm musste in einem ersten Schritt durch thermische Messungen an 40 real gealterten Leuchtstofflampen ermittelt werden. Diese Leuchtstofflampen waren bereits zu Beginn der Messungen in einem fortgeschrittenen Alterungszustand.

Die in den Elektroden derartiger Lampen umgesetzte Leistung unterliegt starken zeitlichen Schwankungen (das Emittermaterial war weitgehend verbraucht). Die Zuordnung der Temperatur der Oberfläche der Lampe im Bereich der Elektrode zu der in einer Elektrode umgesetzten Leistung konnte deshalb nicht bei thermischer Beharrung, sondern nur für kürzere Zeiträume mit relativ geringer Schwankung der Lampenspannung erfolgen.

Die Messergebnisse gestatten die grundsätzliche (Abbildung 2) Aussage, dass zur Einhaltung der maximal zulässigen Oberflächentemperatur von 130 °C an Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser des Glaskolbens bis 26 mm die Elektrodenleistung auf nur wenige Watt begrenzt werden müsste.

Eine Elektrodenleistung von wenigen Watt als Abschaltkriterium eines elektronischen Vorschaltgerätes führt bei neuen, noch nicht eingebrannten Leuchtstofflampen zu Startproblemen. Die in den Elektroden neuer Leuchtstofflampen anfänglich umgesetzte Leistung ist an den beiden Enden unterschiedlich groß, und die Leistungsdifferenz kann im Bereich von einigen Watt liegen. Neue Leuchtstofflampen würden damit praktisch das Abschaltkriterium erfüllen, wenn dieses entsprechend niedrig festgelegt ist. Das für eine maximal zulässige Oberflächentemperatur von 130 °C (Abbildung 3,  $T_{T4}$ ) aus dem Zusammenhang von Lampentemperatur und Leistungsumsatz in der Elektrode abgeleitete Abschaltkriterium (Abbildung 2,  $P_{\max}^{T4}$ ) ist für das elektronische Vorschaltgerät praktisch nicht anwendbar.

### 1.3.2.2 Temperaturklasse und Oberflächentemperatur

Eine Überschreitung der maximalen Oberflächentemperatur der Temperaturklasse T4 wäre gemäß Abschnitt 5.3.3 der EN/IEC 60079-0 auf der Lampenoberfläche (Abbildung 3,  $T_O$ ) in Leuchten der Gruppe II zulässig, wenn durch Prüfungen im entsprechenden explosionsfähigen Gemisch mit einem der Temperaturklasse T4 entsprechenden Sicherheitsfaktor sichergestellt ist, dass keine Zündgefahr durch diese Oberfläche besteht.

Das normative Flächenkriterium von 1000 mm<sup>2</sup> wird dabei z.B. nur auf den Teil der Lampenoberfläche bezogen, auf dem die Temperatur größer als die Oberflächentemperatur der Temperaturklasse T4 ist, also auf den zündphysikalisch relevanten Teil der Lampenoberfläche, durch deren Temperatur ein explosionsfähiges Gemisch gezündet werden könnte (Abbildung 1).

Die Anwendung dieses sicherheitstechnischen Konzepts schien möglich, weil die thermografische Bestimmung der Oberflächentemperatur bei der Untersuchung der bereits erwähnten (real) gealterten T8-Leuchtstofflampen ergab, dass auch bei höheren Temperaturwerten die Fläche, auf der die maximale Oberflächentemperatur der Temperaturklasse T4 von 130 °C überschritten wird, nur wenige cm<sup>2</sup> beträgt.

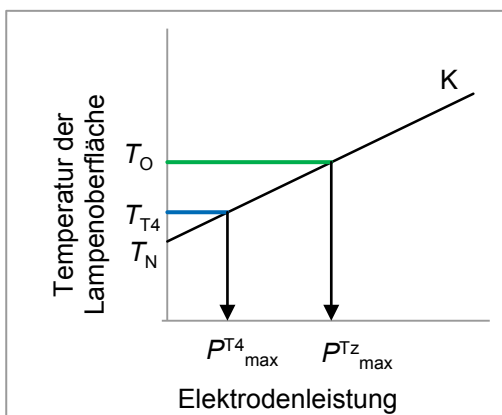
Das sicherheitstechnische Konzept basiert demnach auf der Möglichkeit der Überschreitung der maximalen Oberflächentemperatur der Temperaturklasse und Bestimmung einer maximal zulässigen Oberflächentemperatur unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors aus experimentellen Untersuchungen der konkreten Oberfläche im explosionsfähigen Gemisch entsprechend der Temperaturklasse der Leuchte (Abbildung 3).

### 1.3.2.3 Oberflächentemperatur von Leuchtstofflampen

Ausgehend von der maximal zulässigen Oberflächentemperatur  $T_O$  muss das Abschaltkriterium (Abbildung 3)  $P_{\max}^{Tz}$  für das elektronische Vorschaltgerät auf der Grundlage der sicherheitstechnisch ungünstigsten Erwärmungskennlinie (Abbildung 3, K) ermittelt werden.

Wenn ein Vorschaltgerät mit einem implementierten Abschaltkriterium (Abbildung 3)  $P^{Tz}_{max}$  in der praktischen Anwendung auf eine Leuchtstofflampe trifft, deren Erwärmungskennlinie steiler verläuft, als die zur Ermittlung des Abschaltkriteriums verwendete Erwärmungskennlinie  $K$  (Abbildung 3), hat in diesem Fall die Lampe bei Abschalten des EVG die maximal zulässige Oberflächentemperatur bereits überschritten.

Die Erwärmungskennlinie  $K$  ist die Funktion der Maximaltemperatur der zündphysikalisch relevanten Fläche der Leuchtstofflampe im Bereich der Elektrode von der in der Elektrode zusätzlich (bei Alterung oder versuchstechnisch) umgesetzten elektrischen Leistung.



$T_N$	Oberflächentemperatur von Leuchtstofflampen bei Nennbetrieb
$T_{T4}$	Maximal zulässige Oberflächentemperatur 130 °C, Temperaturklasse T4
$P^{T4}_{max}$	Abschaltkriterium, Temperaturklasse T4
$K$	Erwärmungskennlinie einer Leuchtstofflampe
$T_0$	Maximal zulässige Oberflächentemperatur
$P^{Tz}_{max}$	Abschaltkriterium, basierend auf der Entzündungstemperatur $T_z$

Abbildung 3: Sicherheitstechnisches Konzept für explosionsgeschützte Leuchten unter Berücksichtigung der Anforderungen der EN/IEC 61347-2-3

Die **Temperatur der Oberfläche der Lampe** wird wesentlich durch die **in der Elektrode umgesetzte Leistung bestimmt**.

Bei gegebenem **Leistungsumsatz** im Bereich der Elektrode bestimmt die räumliche und axiale Ausrichtung der Lampe die Oberflächentemperatur, es existiert ein zündphysikalisch relevantes Temperaturmaximum abhängig von der Ausrichtung der Lampe.

Lampen mit unterschiedlichem **Durchmesser des Glaskolbens** haben bei gleicher Elektrodenleistung eine unterschiedlich große Oberflächentemperatur.

Eine Veränderung der **Position der Elektrode im Glaskolben** bei Veränderung des Leistungsumsatzes in der Elektrode beim Durchfahren der Kennlinie  $T = f(P)$  (Abbildung 3,  $K$ ) kann den Kennlinienverlauf zur sicherheitstechnisch ungünstigen Seite beeinflussen (durch thermisch bedingte Materialspannungen der Elektrodenhalterung).

Einfluss auf die Temperatur der Lampenoberfläche hat auch die lampenleistungsabhängige **Eigenerwärmung** der Leuchtstofflampe. Eine längere Lampe hat eine höhere Leistungsaufnahme, kann aber auch mehr Wärme an die Umgebung abgeben.

Bei höherer **Umgebungstemperatur der Lampe** steigt die Temperatur der Lampenoberfläche im Bereich der Elektrode. Die Erhöhung der Umgebungstemperatur der Lampe über 30 °C hinaus führt aber wiederum zu einer Reduzierung des Leistungsumsatzes der Lampe im Bereich von 20% der Nennleistung und zu einer entsprechenden Verminderung der Temperatur der Lampenoberfläche im Bereich der Elektrode.

Herstellerbedingte **Besonderheiten der Elektrodenkonstruktion** bei ansonsten vergleichbaren Messbedingungen kann die Temperatur im Bereich der Elektrode beeinflussen.

Aus der Überlagerung der Wirkung der genannten Faktoren ergeben sich im Bereich der Elektroden der Lampe die Position und der Wert des zündphysikalisch relevanten Temperaturmaximums sowie die Temperaturverteilung der Oberflächentemperatur der Leuchtstofflampe, d.h. die Erwärmung der Leuchtstofflampe bei Betrieb und bei Alterung in einer Leuchte.

Der erhöhte Leistungsumsatz der Elektrode einer real gealterten Lampe wird für die messtechnischen Untersuchungen durch externe Einspeisung einer elektrischen Leistung in

die Elektrode mit einem Netzgerät nachgebildet. Die eingespeiste Leistung muss konstant gehalten werden, da zur Messung der Erwärmungskennlinie  $K$  bei gegebener Elektrodenleistung der Zustand der thermischen Beharrung an der Messstelle erreichbar sein muss.

Die der Stelle des Temperaturmaximums wird ein Thermoelement zur Messung der Oberflächentemperatur bei zündphysikalischen Untersuchungen positioniert.

Leuchtstofflampen eines Nenndurchmessers weisen unterschiedliche Widerstandswerte der Elektrode auf. Das kann eine so hohe Spannung an den Lampenstiften erfordern, dass Querentladungen in der Lampe an den Haltedrähten der Elektrode eine thermische Messung bei höherer Elektrodenleistung unmöglich machen. Die Erwärmungskennlinie der Lampe bei höherer Elektrodenleistung muss in diesem Fall aus den Messwerten der Kennlinie bei kleinerer Elektrodenleistung extrapoliert werden. Bei der Vielzahl der Faktoren, die die Temperatur letztlich bestimmen, und der Notwendigkeit, die sicherheitstechnisch ungünstigste Kennlinie für einen Lampendurchmesser zu finden, entsteht insbesondere bezogen auf Lampen mit einem Durchmesser von 16 mm und kleiner eine zusätzliche Unsicherheit bei der Kennlinienbestimmung, die schwer abzuschätzen ist.

Zur Ableitung eines **Abschaltkriteriums für elektronische Vorschaltgeräte** für Leuchtstofflampen in explosionsgeschützten Leuchten entsprechend Abbildung 2, unter Berücksichtigung der Anforderungen der EN 61347-2-3 bezüglich der Begrenzung der Elektrodenleistung am Lebensdauerende der Lampe und der Anforderungen der Norm EN 60079-0 nach Begrenzung der maximal zulässigen Oberflächentemperatur entsprechend der Temperaturklasseneinstufung der Leuchte, ist jeweils auf den Nenndurchmesser der Leuchtstofflampe bezogen die Kenntnis folgender Angaben erforderlich:

- die **Entzündungstemperatur** als Funktion der Umgebungstemperatur der Leuchtstofflampe und
- die **sicherheitstechnisch relevante Erwärmungskennlinie** als Funktion der Elektrodenleistung.

## 2. Experimentelle Untersuchungen

### 2.1 Entzündungstemperatur von T5- und T8 Leuchtstofflampen

Wenn die Oberflächentemperatur der Leuchtstofflampe groß genug ist, kann eine umgebende explosionsfähige Atmosphäre entzündet werden. Im vorliegenden Fall einer inhomogenen Temperaturverteilung an der zu untersuchenden Oberfläche wird das kleinste Temperaturmaximum der Oberflächentemperatur der Lampe im Bereich der Elektrode gesucht, bei dem in Abhängigkeit von der Temperatur der umgebenden explosionsfähigen Atmosphäre gerade noch eine Entzündung beobachtet werden kann.

#### 2.1.1 Versuchsdurchführung

Die Temperatur der Lampe kann nur im Bereich der Elektroden Werte annehmen, die zur Entzündung führen. Dieser als zündphysikalisch relevant definierte Teil der Lampenoberfläche befindet sich in einem Versuchsgefäß, bestehend aus einem beheizbaren Unterteil aus Edelstahl (Abbildung 4 und 5) und einem beheizbaren Oberteil aus Glas.

Die Lampe befindet sich in waagerechter Position, axial auf Temperaturmaximum „oben“ gedreht. Die Abstände Boden Versuchsgefäß – Lampe und Lampe – Reflektor entsprechen etwa den konstruktiven Gegebenheiten in Leuchten verschiedener Hersteller.

Die Versuche zur Bestimmung der Entzündungstemperatur erfolgten sowohl für die freiliegende Lampe (Abbildung 4, entspricht der Wandmontage der Leuchte) als auch für die Lampe mit darüber befindlichem Reflektor (Abbildung 5, entspricht der Deckenmontage der Leuchte).

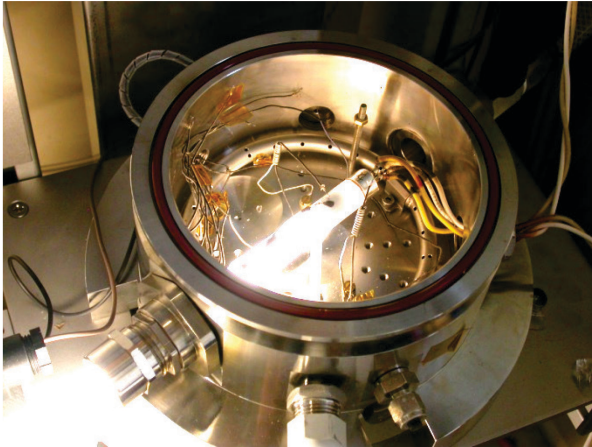


Abbildung 4: Versuchsgefäß mit T5-Lampe

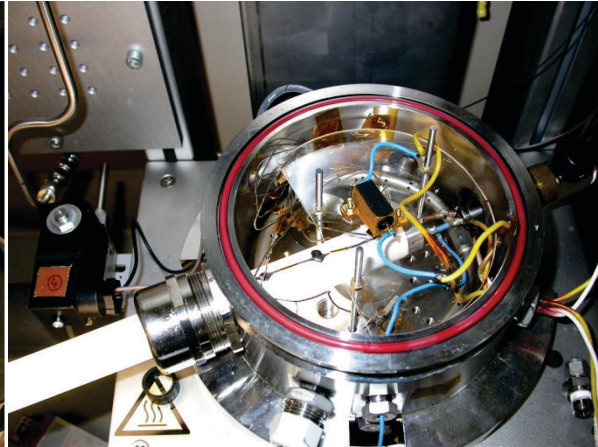


Abbildung 5: Versuchsgefäß mit T8-Lampe

Nachdem das beheizte geschlossene Versuchsgefäß und die in Betrieb befindliche Lampe die thermische Beharrung erreicht haben, wird Diethylether unterhalb der Lampe in eine Mulde im Unterteil des Versuchsgefäßes eingetröpfelt. Die Verfahrensweise bei der Arbeit mit einem inhomogenen Diethylether-Luft-Gemisch ist in [1] , [2] und [3] beschrieben.

Ein Thermoelement im Bereich der Elektrode befindet sich etwa 1 cm über der Leuchtstofflampe zur Messung der Geschwindigkeit der Temperaturänderung des Reaktionsgemisches und zur Klassifizierung des Reaktionsverlaufs des jeweiligen Versuchs in „Entzündung“ bzw. „Nichtzündung“.

Die Temperatur der Oberfläche der Lampe im Bereich der Elektrode wird von Versuch zu Versuch durch Veränderung der Heizleistung der Elektrode in kleinen Schritten von hohen zu niedrigeren als auch von niedrigen zu höheren Temperaturwerten verändert, bis bei dem Versuch entweder keine Entzündung mehr oder bis wieder eine Entzündung auftritt. Die Versuche werden mit unterschiedlicher Menge des eingetröpfelten Diethylethers und bei unterschiedlicher Gemischtemperatur wiederholt, bis die geringste Temperatur bestimmt ist, bei der gerade noch eine Entzündung registriert wird und die höchste Temperatur bestimmt ist, bei der gerade keine Entzündung mehr detektiert werden kann.

### 2.1.2 Ergebnisse der Untersuchungen mit explosionsfähigem Gemisch

Das Ergebnis „Entzündung“ bzw. „Nichtzündung“ des jeweiligen Versuches wird grafisch den Koordinaten „Gemischtemperatur“ und „Entzündungstemperatur“ zugeordnet. In den Abbildungen 6 und 7 sind für eine übersichtliche Darstellung beispielhaft nur die Versuchsergebnisse für den Fall der Entzündung der umgebenden explosionsfähigen Atmosphäre dargestellt.

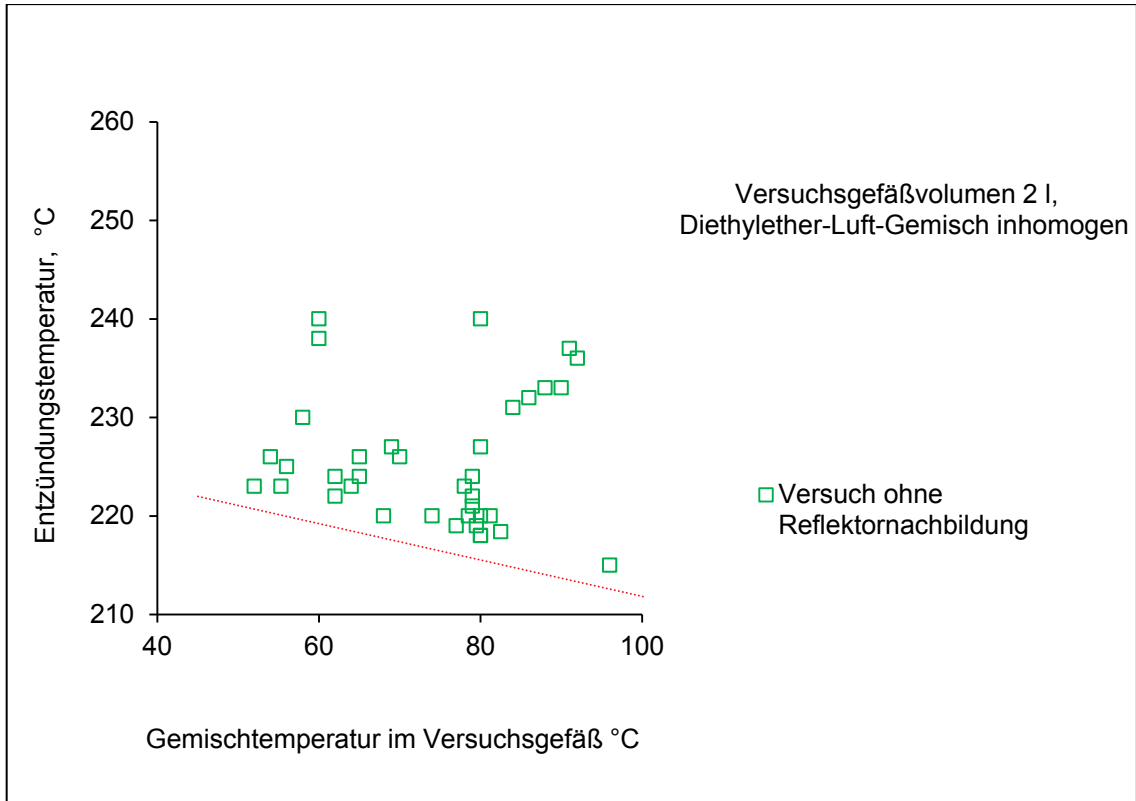


Abbildung 6: Zündversuche mit Leuchtstofflampen bei einem Durchmesser des Glaskolbens 26 mm (T8-Lampe), Zündung des Gemisches

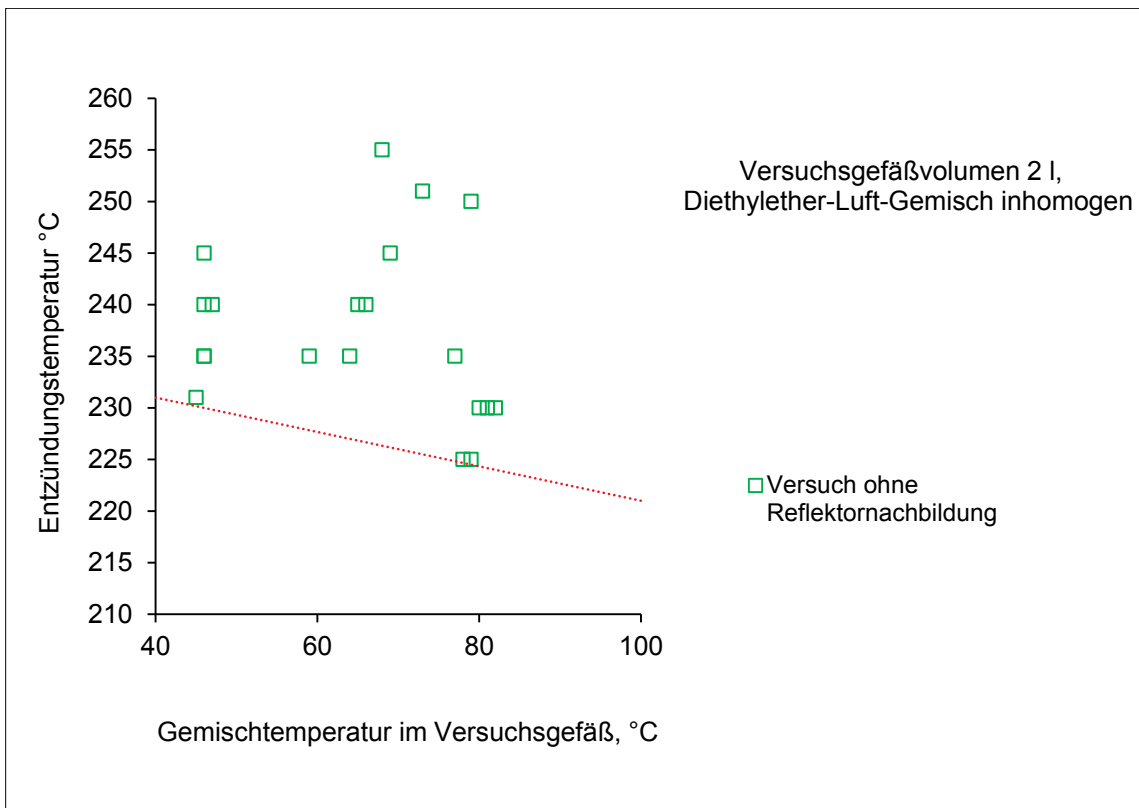


Abbildung 7: Zündversuche mit Leuchtstofflampen bei einem Durchmesser des Glaskolbens 16 mm (T5-Lampe), Zündung des Gemisches



Auf der rot punktierten Linie (Abbildungen 6 und 7) liegen die der Gemischtemperatur des explosionsfähigen Gemisches entsprechenden niedrigsten Temperaturen der Oberfläche der Leuchtstofflampe bei denen eine Entzündung angenommen werden kann.

Diese Linie dient im Weiteren als Basis zur Bestimmung der maximal zulässigen Oberflächentemperatur der Leuchtstofflampe in einer in die Temperaturklasse T4 eingestuftten Leuchte, abhängig von der Temperatur der umgebenden explosionsfähigen Atmosphäre und abhängig vom entsprechend IEC/EN 60079-0 angewendeten Verfahren zur Berücksichtigung des Sicherheitsfaktors nach Abschnitt 5.3.3 und Abschnitt 26.5.3. dieser Norm.

Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen für Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser von 26 mm (T8-Lampen) und für Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser von 16 mm (T5-Lampen) sind in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt.

### **2.1.3 Bestimmung der maximal zulässigen Oberflächentemperatur**

Die Umgebungstemperatur einer Langfeldleuchte mit Leuchtstofflampen darf normativ festgelegt maximal 60 °C betragen.

Die Umgebungstemperatur der Leuchtstofflampe in der explosionsgeschützten Leuchte wird von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt. Sie ist gemessen bei einer Umgebungstemperatur der Leuchte von 60 °C bei T8-Lampen etwa um 15 K, bei T5-Lampen etwa 20 K höher als die maximale Umgebungstemperatur der Leuchte.

In einer Leuchte der Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“ kann explosionsfähiges Gemisch auftreten. Welche Ausgangstemperatur des explosionsfähigen Gemisches angenommen wird, um die maximal zulässige Oberflächentemperatur der Lampe zu bestimmen ist Gegenstand einer Risikoeinschätzung ausgehend von den zu erwartenden Einsatzbedingungen der Leuchte. Grundsätzlich können zwei Fälle unterschieden werden.

Im ersten Fall hat sich das Gemisch in der Leuchte ( $T_G$ ) auf die Umgebungstemperatur der Lampe in der Leuchte von etwa 75 bis 80°C erwärmt, bevor die Lampenoberfläche im Bereich der Elektroden Temperaturen erreicht, die zur Entzündung führen können.

Im zweiten Fall hat die Lampe bereits eine hohe Temperatur erreicht, wenn das Gemisch - normalerweise mit einer Temperatur mit der maximal zulässigen Oberflächentemperatur der Leuchte von 60 °C - angesaugt wird.

Grundsätzlich denkbar ist eine Variante des zweiten Falls, dass mehrmals Gemisch mit einer Temperatur von 60 °C angesaugt wird, das sich in der Leuchte auf die Umgebungstemperatur der Lampe von  $T_G = 75...80$  °C erwärmt, bevor die Lampe entzündungsfähige Temperaturen erreicht.

In jedem Fall ist die sicherheitstechnisch relevante Temperatur  $T_G$  im Bereich von 60 °C bis 80 °C Ausgangspunkt auf der Achse der Abbildungen 8 und 9 „Gemischtemperatur im Versuchsgefäß (in der Leuchte)“ für die Bestimmung der maximal zulässigen Oberflächentemperatur der Leuchtstofflampe  $T_O$  (Abbildung 3).

#### **2.1.3.1 Sicherheitsfaktor über die Erhöhung der Temperatur des zu prüfenden Bauteils**

Wenn der Sicherheitsfaktor (Temperaturklasse T4) nicht in die Versuchsbedingungen gelegt wird, bestimmt die Projektion des Schnittpunktes der Senkrechten durch  $T_G$  (auf der Achse „Gemischtemperatur im Versuchsgefäß“) mit der rot punktierten Linie auf die Achse der „Entzündungstemperatur“ die entsprechende kleinste Entzündungstemperatur  $T_Z$ . Die maximal zulässige Oberflächentemperatur  $T_O$  ergibt sich aus  $T_Z$  abzüglich 25 K Sicherheitsfaktor (Abbildung 8).

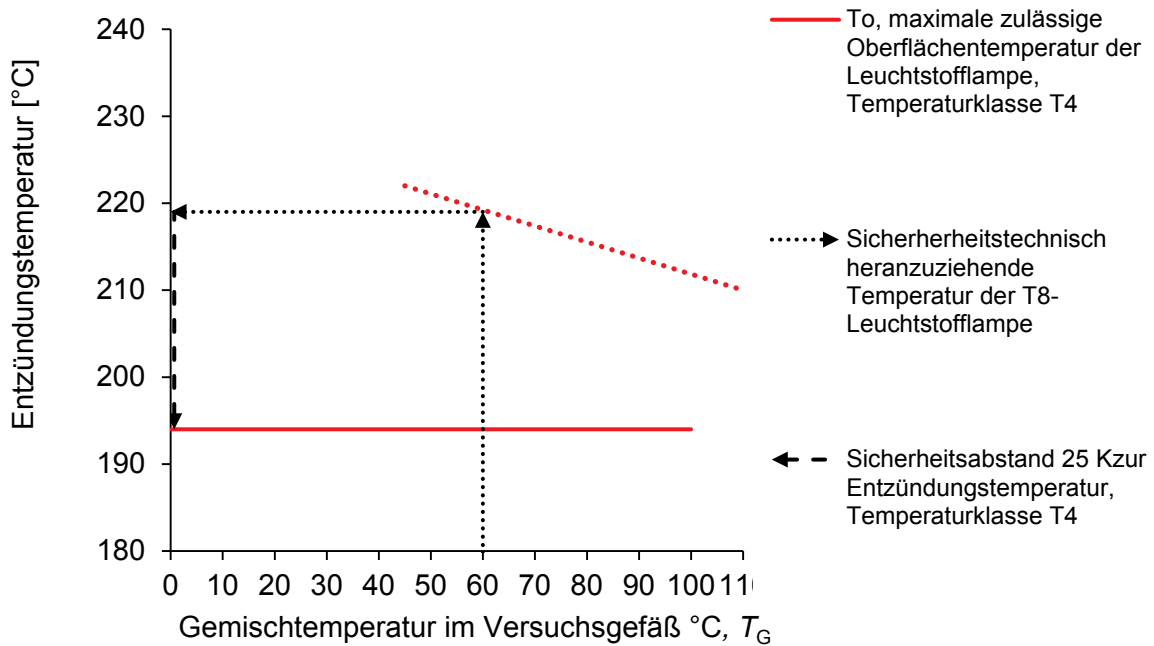


Abbildung 8 Bestimmung der maximal zulässigen Oberflächentemperatur von T8-Lampen, Gemisch hat (beim Ansaugen) eine maximale Temperatur von 60 °C,

**2.1.3.2 Sicherheitsabstand über Erhöhung der Gemischtemperatur**

Wenn der Sicherheitsfaktor durch Erhöhung der Umgebungstemperatur des zündfähigen Bauteils erreicht werden soll, wird die Senkrechte durch den Punkt gelegt  $T_G + 25\text{ K}$ . Die maximal zulässige Oberflächentemperatur  $T_O$  ergibt sich in diesem Fall aus der Projektion des Schnittpunktes der Senkrechten durch  $T_G + 25\text{ K}$  mit der rot punktierten Linie auf die Achse „Entzündungstemperatur“ (Abbildung 9).

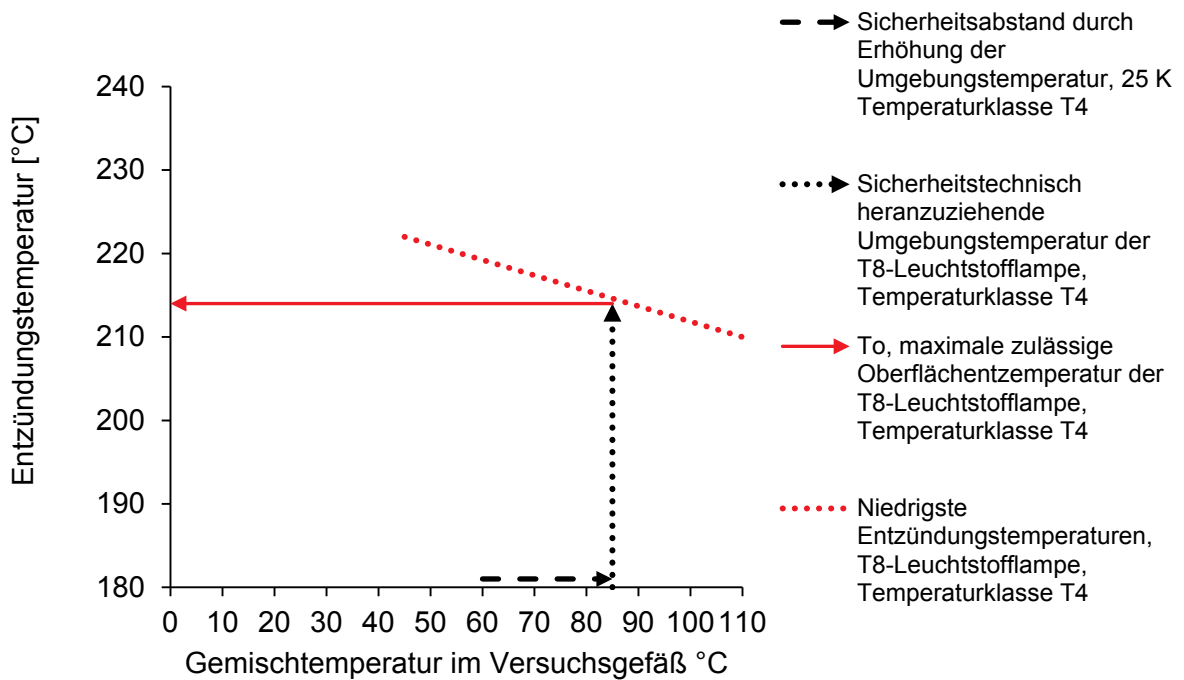


Abbildung 9 Bestimmung der maximal zulässigen Oberflächentemperatur von T8-Lampen, Gemisch hat beim Ansaugen eine maximale Temperatur von 60 °C,

### 2.1.3.3 Risikoabschätzung und maximal zulässige Oberflächentemperatur

Ausgehend von der angenommenen Temperatur des die Leuchtstofflampe umgebenden Gasgemisches im Moment einer möglichen Entzündung und der gewählten Variante der Berücksichtigung des Sicherheitsfaktors entsprechend EN 60079-0 kann sich für die T8-Leuchtstofflampe die maximale zulässige Oberflächentemperatur wie folgt ergeben:

Maximal zulässige Oberflächentemperatur der T8-Leuchtstofflampe, Temperaturklasse T4		
Sicherheitsfaktor von 25 K berücksichtigt durch		
Gemischtemperatur	Erhöhung der Umgebungstemperatur	Erhöhung der Temperatur des Bauteils
40 °C	218 °C	198
60 °C	214 °C	195
75 °C	211 °C	190

Maximal zulässige Oberflächentemperatur der T5-Leuchtstofflampe, Temperaturklasse T4		
Sicherheitsfaktor von 25 K berücksichtigt durch		
Gemischtemperatur	Erhöhung der Umgebungstemperatur	Erhöhung der Temperatur des Bauteils
40 °C	226 °C	206
60 °C	223 °C	202
75 °C	221 °C	200

## 2.2 Erwärmungskennlinien von Leuchtstofflampen

### 2.2.1 Typische Erwärmungskennlinie von Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser des Glaskolbens von 26 mm (T8-Lampe)

Eine T8-Leuchtstofflampe mit einer Nennleistung von 36 W wurde in einer Thermobox bei definierter und geregelter Umgebungstemperatur, in horizontaler Lage und axial auf Temperaturmaximum bei gegebener zusätzlich eingespeister Elektrodenleistung ausgerichtet, vermessen. Die Positionierung des Thermoelements zur Messung der Oberflächentemperatur erfolgte vorab an der Stelle des Temperaturmaximums der zündphysikalisch relevanten Fläche.

Die Temperatur der Lampenoberfläche bei einer zusätzlichen Elektrodenleistung von null Watt, entspricht in diesem Fall der Eigenerwärmung der Leuchtstofflampe bei einem Leistungsumsatz der Elektrode, die 100 h eingebrannt wurde. Die zusätzliche Elektrodenleistung gemäß Abbildung 10 entspricht etwa einem Leistungsumsatz in einer Elektrode einer im Betrieb befindlichen Leuchtstofflampe mit zusätzlich eingespeister Gleichstromleistung, die den alterungsbedingt erhöhten Elektrodenfall der Lampe weitgehend nachbildet.

Unter Berücksichtigung weiterer durchgeführter Vergleichsmessungen auch mit 58 W-T8-Lampen können die Erwärmungskennlinien dieser 36 W T8-Leuchtstofflampe im Bereich der zusätzlichen Elektrodenleistung von 6 W bis 10 W als sicherheitstechnisch typisch für Leuchtstofflampen mit einem Lampendurchmesser von 26 mm hinsichtlich der Steigung der Kennlinie und hinsichtlich der Verschiebung der Kennlinie bei Veränderung der Umgebungstemperatur angesehen werden.

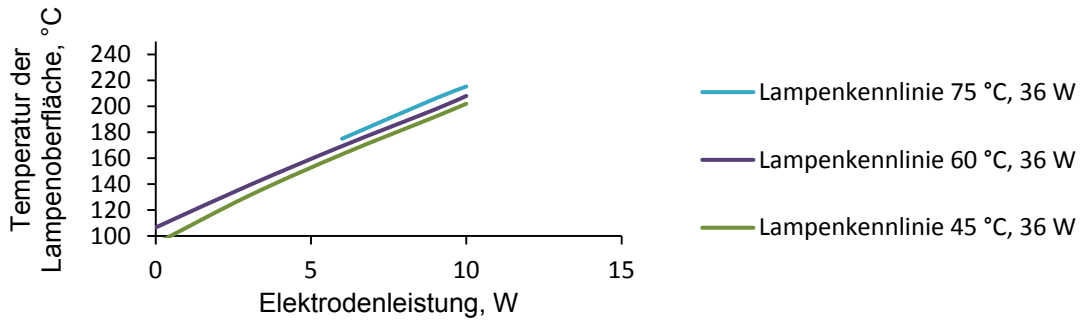


Abbildung 10: Erwärmungskennlinie einer 36 W T8-Leuchtstofflampe (Lampenseite ohne Beschriftung)

Im Bereich der Elektrodenleistung von 6 bis 9 W (Abbildung 10) steigen die Kennlinien mit einem mittleren Wert von 29 K/3W (9,7 K/W) an.

Bei einer Vergrößerung der Umgebungstemperatur der Lampe verschiebt sich die Kennlinie etwa um einen Betrag von 8 K bei einer Änderung der Umgebungstemperatur der Lampe um 15 K (0,53 K/K). Die Faktoren werden bei folgenden Umrechnungen von Messergebnissen benötigt.

### 2.2.2 Streuung der Erwärmungskennlinie von Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser des Glaskolbens von 26 mm (T8-Lampe)

Um ausgehend von der typischen Kennlinie die sicherheitstechnisch ungünstigste zu ermitteln, wurde an einer Stichprobe von Leuchtstofflampen von 10 verschiedenen Herstellern (je 4 Lampen 36 W und 58 W: Radium (Germany), OSRAM (Germany), Sylvania (Germany), Philips (Poland), GE (Hungary), NARVA (Germany), AURA (Sweden), je 4 F32-Lampen: NARVA (Germany), USA, Canada) (Durchmesser des Glaskolbens 26 mm), bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C und bei einer zusätzlichen Elektrodenleistung von 8 W thermografisch die Temperatur der Lampenoberfläche im Bereich der Elektrode gemessen.

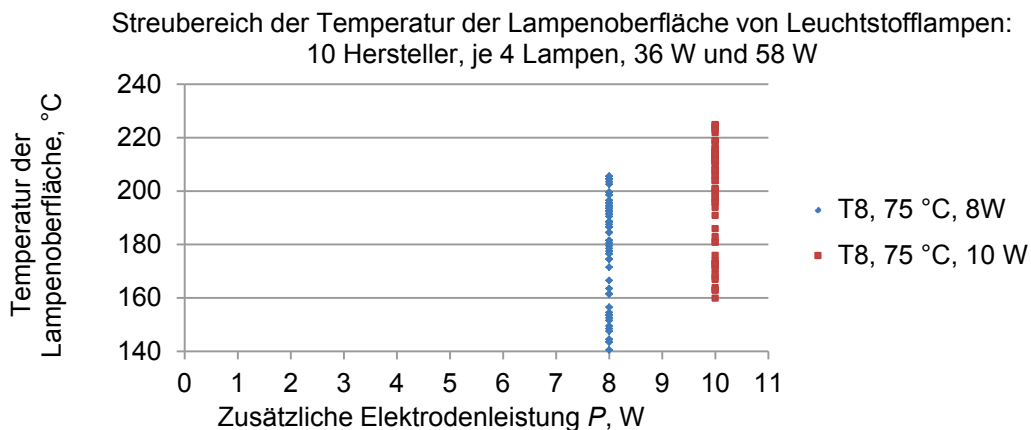


Abbildung 11: Streuung der Oberflächentemperatur von T8-Leuchtstofflampen verschiedener Hersteller, gemessen bei 25 °C und einer Elektrodenleistung von 8 W, und umgerechnet auf eine Umgebungstemperatur der Lampe in der Leuchte von 75 °C bzw. auf eine zusätzliche Elektrodenleistung P von 10 W entsprechend der aktuellen normativ festgelegten Abschaltchwelle des EVG für T8-Leuchtstofflampen in explosionsgeschützten Leuchten.

Da die Elektrodenleistung von 10 W aktuell die normativ [7] festgelegte Abschaltchwelle für elektronische Vorschaltgeräte für T8-Leuchtstofflampen in explosionsgeschützten Leuchten ist, erfolgte die Umrechnung der Messwerte (Messbedingungen 8 W, 25 °C) mit den oben

ermittelten Faktoren auf die Elektrodenleistung von 10 W und auf die Umgebungstemperatur von 75 °C. Die Ergebnisse der Umrechnung sind in Abbildung 11 dargestellt.

### 2.2.3 Sicherheitstechnisch relevante Erwärmungskennlinie von Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser des Glaskolbens von 26 mm (T8-Lampe)

Von der maximalen Oberflächentemperatur der gemessenen T8-Leuchtstofflampen ausgehend, kann mit Hilfe der oben angegebenen Faktoren die sicherheitstechnisch ungünstigste Erwärmungskennlinie für T8-Leuchtstofflampen (für den Bereich von 6 W bis 10 W zusätzliche Elektrodenleistung) bestimmt werden (Abbildung 12).

Die Erwärmungskennlinie basiert auf Messungen der Oberflächentemperatur von Leuchtstofflampen 10 verschiedener Hersteller. Zur Zeit ist nicht bekannt, ob darüber hinaus weltweit T8-Leuchtstofflampen für explosionsgeschützte Leuchten verfügbar sind, deren Oberflächentemperatur, gemessen bei den in diesem Bericht genannten Bedingungen, oberhalb der bisher ermittelten ungünstigsten Temperatur liegen würde (Abbildung 11).

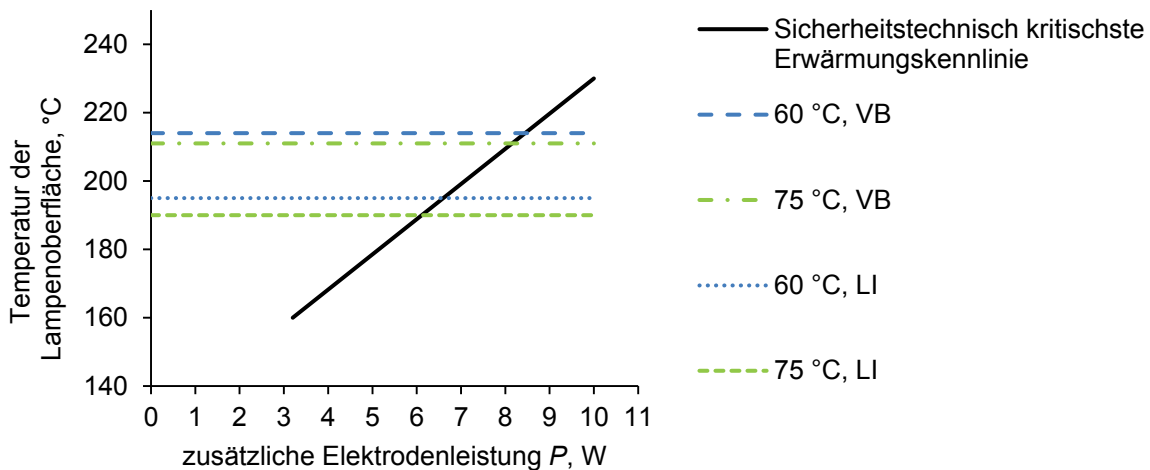


Abbildung 12: Sicherheitstechnisch relevante Erwärmungskennlinie von Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser des Glaskolbens von 26 mm in Relation zur maximal zulässigen Oberflächentemperatur, abhängig von der sicherheitstechnischen Bewertung, Temperaturklasse T4

Der aktuell im Rahmen der Überarbeitung der EN/IEC 60079-7 zur Diskussion gestellte Vorschlag hinsichtlich der Abschaltchwelle von elektronischen Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser der Glaskolbens von 26 mm in explosionsgeschützten Leuchten sieht folgende Differenzierungen vor (Abbildung 13):

- 10 W bei einer maximalen Umgebungstemperatur der Leuchte von 40 °C,
- 8 W bei einer maximalen Umgebungstemperatur der Leuchte von 60 °C,
- 10 W bei einer Umgebungstemperatur der Leuchte bis 60 °C bei Einstufung in die Temperaturklasse T3.

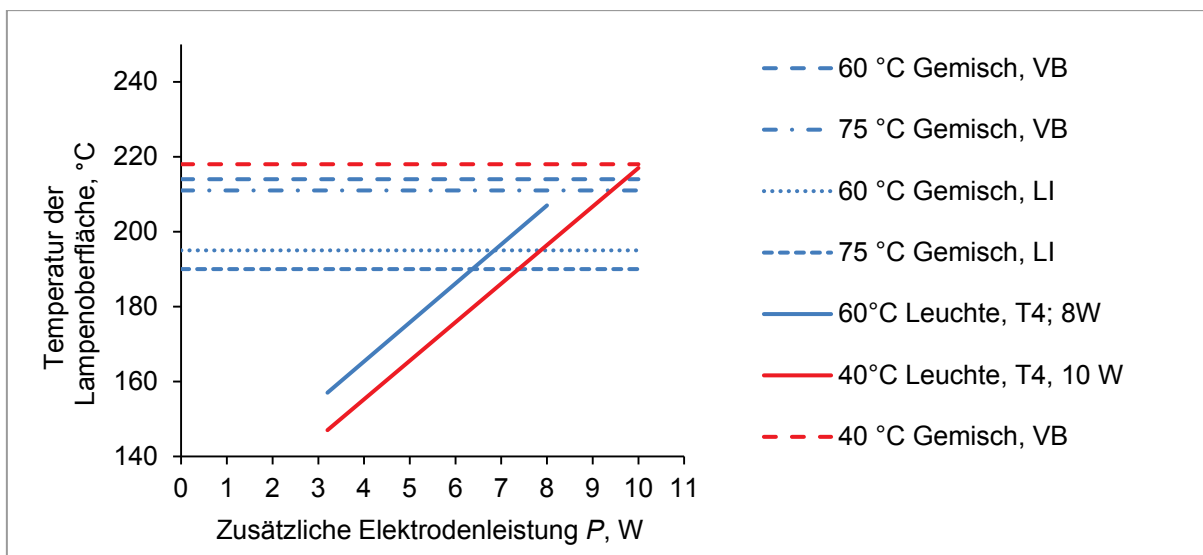


Abbildung 13: Erwärmungskennlinien bei einer Begrenzung der Elektrodenleistung auf 10 W und bei einer maximalen Umgebungstemperatur der Leuchte von 40 °C bzw. auf 8 W und bei einer maximalen Umgebungstemperatur der Leuchte von 60 °C, Temperaturklasse T4 in Relation zur maximal zulässigen Oberflächentemperatur  $T_O$  von Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser des Glaskolbens von 26 mm abhängig von der sicherheitstechnischen Bewertung der Anwendungsbedingungen der Leuchte. Sicherheitsfaktor VB (Versuchsbedingungen): Erhöhung der Temperatur des explosionsfähigen Gemisches; Sicherheitsfaktor LI (Linear): Erhöhung der Temperatur des Bauteils (der Lampe)

#### 2.2.4 Temperaturklasse T3 für Leuchten mit Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser des Glaskolbens von 26 mm (T8-Lampe)

Die Temperaturklasse T3 erfordert die Einhaltung einer maximalen Oberflächentemperatur von 200 °C.

Bei einer zulässigen Umgebungstemperatur der Leuchte von 60 °C und einer Abschaltchwelle des EVG von 10 W zum Zeitpunkt der Abschaltung der Lampe wird die zulässige Oberflächentemperatur der Temperaturklasse überschritten.

Bei Überschreitung der maximalen Oberflächentemperatur der Temperaturklasse T3 müsste die Sicherheit wie bereits beschrieben (Abbildung 2) durch Entzündungsversuche mit Gas-Luft-Gemischen [7], die für die Temperaturklasse T3 repräsentativ sind, bestimmt werden. Entzündungsversuche mit der heißen, inhomogen erwärmten Oberfläche von Leuchtstofflampen wurden noch nicht durchgeführt.

Einen Anhaltspunkt zur Bestimmung einer zulässigen Oberflächentemperatur der T8-Leuchtstofflampe, bei Überschreitung der maximal zulässigen Oberflächentemperatur von 200 °C an einer in die Temperaturklasse 3 eingestuften Leuchte gibt der Bericht [3]. Demnach läge die maximal zulässige Oberflächentemperatur der Lampe unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors von 50 K [7] (Sicherheitsfaktor über die Erhöhung der Bauteiltemperatur) für die ungünstigste T3-Substanz (interpoliert für eine Gemischtemperatur von 80 °C) bei etwa 235 °C.

#### 2.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen und Bewertungen für Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser des Glaskolbens von 26 mm (T8-Lampe)

Auf der Abbildung 14 dargestellt sind die maximal zulässigen Oberflächentemperaturen von T8-Leuchtstofflampen unter Berücksichtigung des Sicherheitsfaktors (waagerechte Linien) bezogen auf die Temperaturklasse. Angegeben ist in welcher Art und Weise der Sicherheitsfaktor im vorliegenden Fall berücksichtigt wurde und von welcher Temperatur des möglich explosionsfähigen Gemisches ausgegangen wurde.

Die Zulässigkeit der Berücksichtigung des Sicherheitsfaktors über die Erhöhung der Umgebungstemperatur (VB: Temperatur des explosionsfähigen Gemisches bei den Zündversuchen) ergibt sich aus der Norm.

Einsatzbedingungen einer Leuchte, auch mögliche sicherheitstechnisch relevante Veränderungen der Lampen während deren Betriebsdauer werden dadurch nicht berücksichtigt.

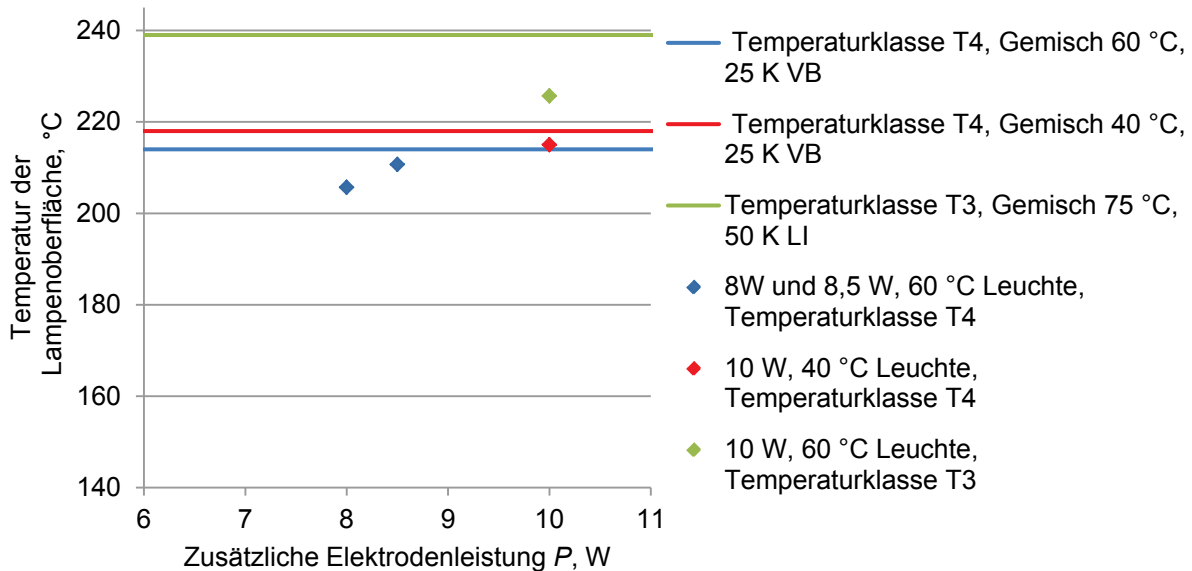


Abbildung 14: Darstellung einer Variante der Interpretation der Ergebnisse der thermischen und zündtechnischen Untersuchungen mit T8-Leuchtstofflampen. Der jeweiligen maximal zulässigen Oberflächentemperatur (Waagerechte Linien) farblich zugeordnet ist die rechnerisch ermittelte Temperatur der Oberfläche der Lampe, unter der Bedingung dass der Leistungsumsatz in der Elektrode im Moment der Abschaltung der Lampe durch das EVG den angegebenen Wert der zusätzlichen Elektrodenleistung nicht überschreitet. Angaben jeweils bezogen auf die angegebene maximal zulässige Umgebungstemperatur der Leuchte.

### 2.3 Erwärmungskennlinien von Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser des Glaskolbens von 16 mm (T5-Lampe)

Der aktuell im Rahmen der Überarbeitung der EN/IEC 60079-7 zur Diskussion gestellte Vorschlag hinsichtlich der Abschaltschwelle von elektronischen Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser der Glaskolbens von 16 mm mit einer Nennleistung von 8 W und für Leuchtstofflampen mit einer Nennleistung 14 W, 21 W, 28 W und 35 W in explosionsgeschützten Leuchten sieht Differenzierungen vor bezüglich Lampentyp, Temperaturklasse der Leuchte, Umgebungstemperatur der Leuchte und Abschaltschwelle des elektronischen Vorschaltgerätes:

#### T5-Leuchtstofflampe, Nennleistung 8 W:

- Temperaturklasse der Leuchte T4, Umgebungstemperatur der Leuchte bis 60 °C, Abschaltschwelle 5 W.

#### Leuchtstofflampen, Nennleistung 14 W, 21 W, 28 W und 35 W:

- Temperaturklasse der Leuchte T4, Umgebungstemperatur der Leuchte bis 40 °C, Abschaltschwelle 5 W
- Temperaturklasse der Leuchte T4, Umgebungstemperatur der Leuchte bis 60 °C, Abschaltschwelle 4 W

- Temperaturklasse der Leuchte T3, Umgebungstemperatur bis 60 °C, Abschaltswelle 5 W.

### 2.3.1 Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser des Glaskolbens von 16 mm, Nennleistung 8 W

Die thermischen Messungen zur Bestimmung der typischen **Erwärmungskennlinie der 8 W T5-Leuchtstofflampe** erfolgten an Lampen von drei verschiedenen Herstellern, an insgesamt 30 Lampenenden (Abbildung 15).

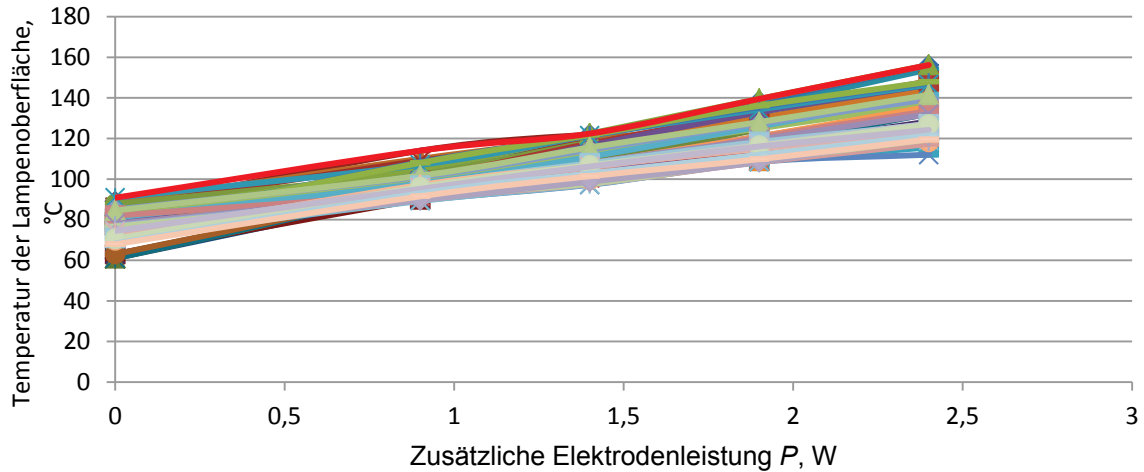


Abbildung 15: Erwärmungskennlinien der Stichprobe von T5-Leuchtstofflampen, 8 W, Umgebungstemperatur der Lampen 25 °C

Der Verlauf der Erwärmungskennlinie der 8W T5-Lampen konnte auf Grund der Eigenschaften der Lampe und des Verhaltens der Lampe während der elektrischen Belastung der Elektrode bis zu einer Elektrodenleistung von etwa 2,4 W gemessen werden, die Temperaturwerte für höhere Elektrodenleistungen wurden extrapoliert (Abbildung 16).

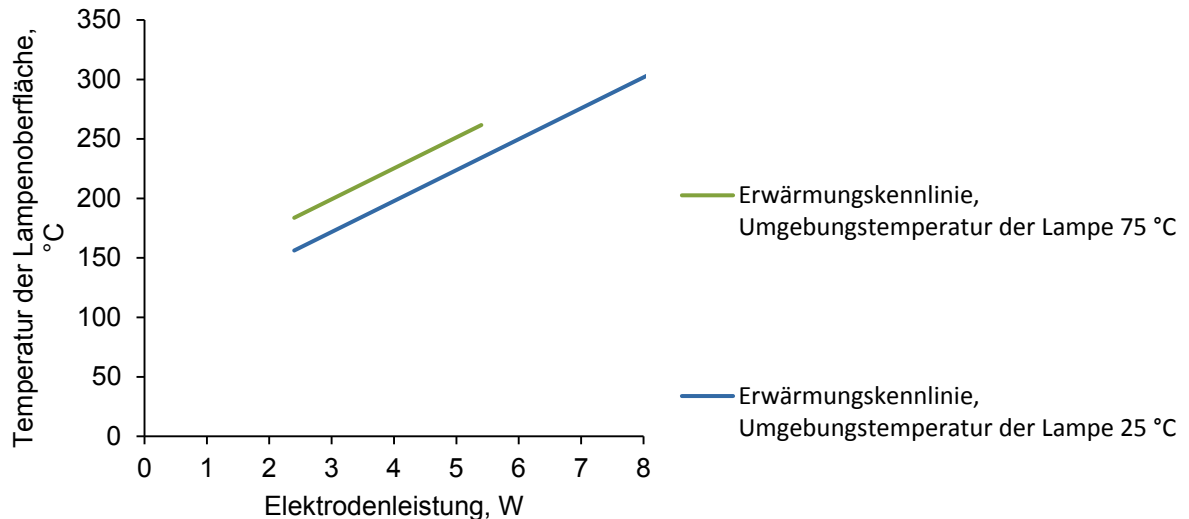


Abbildung 16: Extrapolierte Erwärmungskennlinien der Lampenstichprobe T5-Leuchtstofflampen 8 W

Zum Vergleich, bei Abschaltung der Leuchtstofflampen durch ein nicht für explosionsgeschützte Leuchten bestimmtes elektronisches Vorschaltgerät bei einer Abschaltswelle der unsymmetrischen Elektrodenleistung von 7,5 W entsprechend Norm EN/IEC 61347-2-3 [6] erreicht die Lampentemperatur, bei einer Umgebungstemperatur der Lampe im Bereich von 25 °C bis 75 °C, Werte um 300 °C.



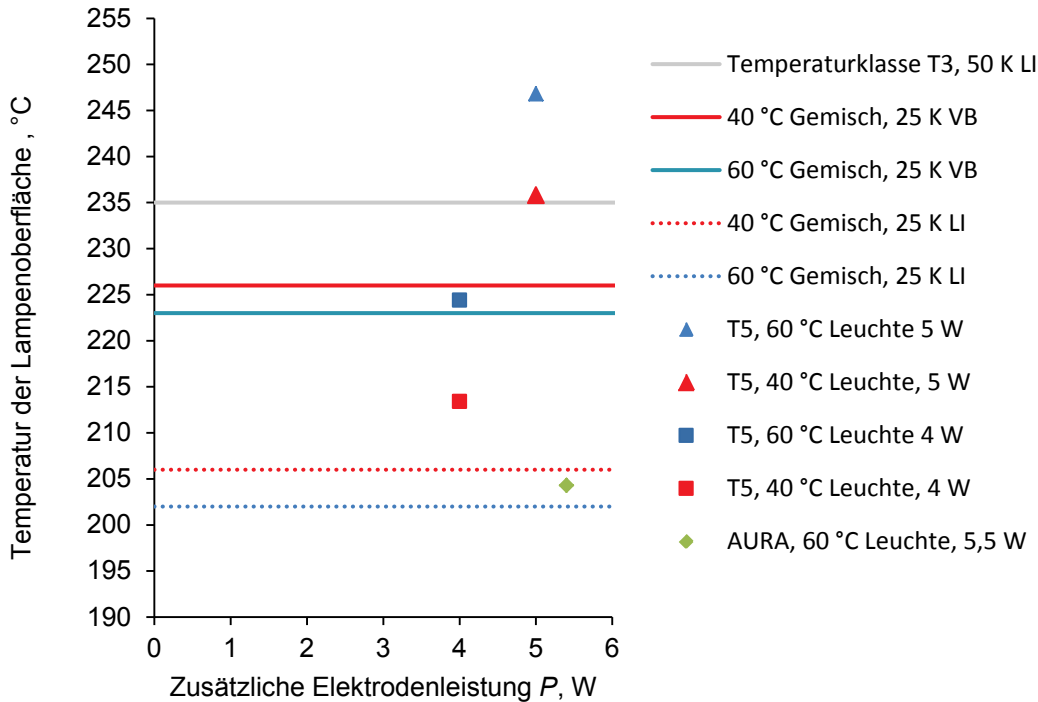


Abbildung 17: Darstellung einer Variante der Interpretation der Ergebnisse der thermischen und zündtechnischen Untersuchungen mit 8 W T5-Leuchtstofflampen.

Die waagerechten Linien zeigen die maximal zulässige Oberflächentemperatur der 8W T5-Leuchtstofflampe abhängig von der maximal zulässigen Umgebungstemperatur der Leuchte.

In Relation dazu sind die Temperaturen der Oberfläche der Lampe dargestellt, unter der Voraussetzung, dass der Leistungsumsatz in der Elektrode im Moment der Abschaltung der Lampe durch das EVG den zugeordneten Wert der zusätzlichen Elektrodenleistung nicht überschreitet. Die Angaben gelten jeweils bezogen auf die angegebene maximal zulässige Umgebungstemperatur der Leuchte.

Aus der Darstellung ist ersichtlich:

1. Ein Lampentyp ist geeignet die Anforderung auf Einhaltung der maximalen Oberflächentemperatur der Lampe bis zu einer Abschaltchwelle des EVG bis 5,5 W und einer maximal zulässigen Umgebungstemperatur von 60 °C weitestgehend zu erfüllen.
2. Wenn die technischen Festlegungen für alle T5-Lampen mit einer Nennleistung von 8 W gelten sollen, müsste bei einer zulässigen maximalen Umgebungstemperatur der Leuchte von 60 °C die Abschaltchwelle unterhalb von 4 W liegen.
3. Eine Einstufung der Leuchte in die Temperaturklasse T3 wäre bei einer Umgebungstemperatur der Leuchte von maximal 40 °C bei einer Abschaltchwelle des EVG unterhalb von 5 W auf der Grundlage der zur Zeit vorhandenen Erkenntnissen zur Entzündung von T4-Gemischen mit Prüfkörpern von 50 mm Durchmesser sicherheitstechnisch im Bereich des Möglichen.

Grundsätzlich wäre bei der Festlegung der Abschaltsschwellen von EVG für T5-Leuchtstofflampen weiter zu beachten, dass

1. bei einer Berücksichtigung des Sicherheitsfaktors in der Form „25 K in VB“ die relevante Entzündungstemperatur nur wenig oberhalb der maximal zulässigen Oberflächentemperatur liegt,
2. die Änderung der Oberflächentemperatur in Abhängigkeit von der Elektrodenleistung für diese Lampen mit einem Wert von  $k_p = 22 \text{ K/1W} \pm 5 \text{ K}$  ermittelt wurde und
3. der Abstand zwischen Elektrode und Glasoberfläche sehr gering ist.

### 2.3.2 Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser des Glaskolbens von 16 mm, Nennleistung 14 W bis 35 W (HE-Lampen)

Die thermischen Messungen zur Bestimmung der **Erwärmungskennlinie der T5-Leuchtstofflampen, Nennleistung jeweils 14 W, 21 W, 28 W und 35 W** erfolgten an Lampen von drei verschiedenen Herstellern, an einer begrenzten Anzahl von Lampen. Der Verlauf der Erwärmungskennlinie konnte aufgrund der Eigenschaften der Lampe und des Verhaltens der Lampe bei größerer elektrischer Belastung der Elektrode nicht reproduziert werden, so dass eine sicherheitstechnisch ungünstigste Erwärmungskennlinie für diese Gruppe von Lampen nur näherungsweise bestimmt werden konnte.

Die auf Abbildung 18 dargestellte ungünstigste Erwärmungskennlinie beruht auf der Messung von einigen Leuchtstofflampen mit einer Nennleistung von 14 W bis 35 W von 4 verschiedenen Herstellern, sowie auf der anschließenden Extrapolation der Temperaturmesswerte auf eine Umgebungstemperatur der Lampe von 75 °C.

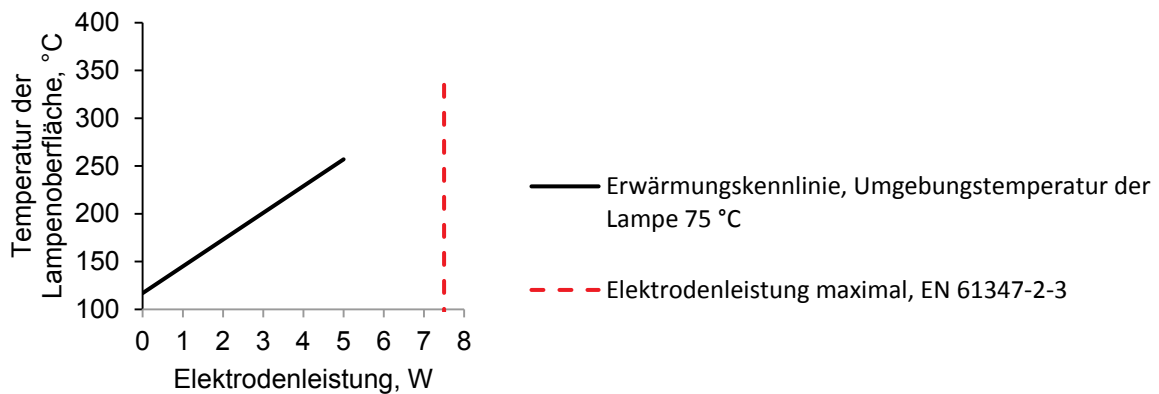


Abbildung 18: Temperaturmessungen an T5-Leuchtstofflampen 549 mm bis 1449 mm, Stand 2012

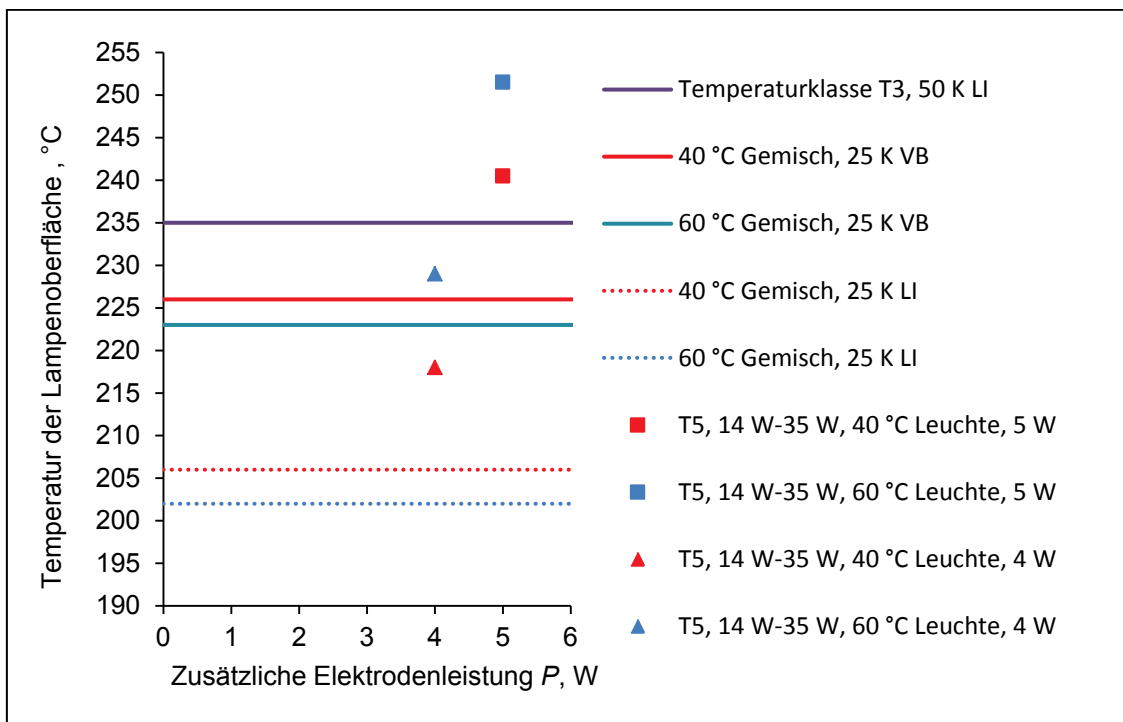


Abbildung 19 Darstellung einer Variante der Interpretation der Ergebnisse der thermischen und zündtechnischen Untersuchungen mit T5-Leuchtstofflampen, sowie von sicherheitstechnischen Betrachtungen, Nennleistung 14 W bis 35 W.

Für T5-Leuchtstofflampen mit einer Nennleistung von 14 W bis 35 W (HE-Lampen) in Leuchten der Temperaturklasse T4 gelten auch die für Lampen mit einem Nenndurchmesser von 16 mm ermittelten Entzündungstemperaturen und die davon unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors abgeleiteten maximal zulässigen Oberflächentemperaturen, die als waagerechte Linien auf Abbildung 19 dargestellt sind.

Bei einer Einstufung der Leuchte in die Temperaturklasse T3 müsste ohne weitere experimentelle Untersuchungen mit T5-Leuchtstofflampen im für diese Temperaturklasse relevanten zündfähigen Gemisch, bei einer angenommenen maximalen Umgebungstemperatur der Lampe in der Leuchte von 75 °C, von einer maximal zulässigen Oberflächentemperatur der T5-Leuchtstofflampe von etwa 235 °C (Abbildung 19) ausgegangen werden [3].

#### Temperaturklasse T4

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen ist ersichtlich, dass die Einhaltung der maximal zulässigen Oberflächentemperatur an T5-Lampen im Nennleistungsbereich von 14 W bis 35 W nur bis zu einer maximalen Umgebungstemperatur der Leuchte von 40 °C und einer Abschaltchwelle des EVG bis höchstens 4 W möglich wäre. Eine belastete Durchgangsverdrahtung würde den vorhandenen Abstand zur maximale zulässigen Oberflächentemperatur stark in Anspruch nehmen, so dass eine Verringerung der Abschaltchwelle erforderlich sein würde.

#### Temperaturklasse T3

Bei einer Einstufung der Leuchte in die Temperaturklasse T3 und einer maximalen Umgebungstemperatur der Leuchte von 60 °C könnte mit einer Abschaltchwelle des EVG von 4 W die maximal zulässige Oberflächentemperatur von 235 °C eingehalten werden.

### **3 Zusammenfassung**

Aus aktuellen Untersuchungen zur Bestimmung der Entzündungstemperatur von Leuchtstofflampen mit einem Nenndurchmesser des Glaskolbens von 26 mm und 16 mm in Verbindung mit thermischen Messungen zur Bestimmung der Erwärmungskennlinien dieser Lampen unter definierten Umgebungsbedingungen können Abschaltkriterien für elektronische Vorschaltgeräte abgeleitet werden.

Die Ergebnisse dienen als Diskussionsgrundlage bei der Beurteilung der Risikos erhöhter Temperaturen an der Oberfläche von Leuchtstofflampen am Ende von deren Lebensdauer beim Einsatz mit elektronischen Vorschaltgeräten in explosionsgeschützten Leuchten der Temperaturklasse T4 bzw. T3, der Kategorie 2 und der Kategorie 3 bzw. EPL Gb und Gc nach IEC/EN 60079-0.

Bei der sicherheitstechnischen Bewertung ist zu berücksichtigen, dass die verwendeten Leuchtstofflampen in handelsüblicher Ausführung verwendet werden und der Trend zu immer geringerem Materialeinsatz in Verbindung mit leistungsstarken Vorschaltgeräten zu den beschriebenen „End-of-life“-Effekten geführt haben.

Eine zukünftige Entwicklung der Lampenkonstruktion muss beobachtet werden und unterliegt bekanntermaßen nicht der Kontrolle der Explosionsschutznormen. Es bleibt daher in der Verantwortung der internationalen Normenkomitees bei IEC, die Ergebnisse zu bewerten und im Konsens in die Normung umzusetzen.

### **Literaturverzeichnis**

- [1] Dieter Markworth und Fritz Schebsdat, PTB-Bericht, PTB-W-25, April 1985  
„Zündverhalten kleiner heißer Bauteile in explosionsfähiger Atmosphäre“
- [2] H. Bothe, H. Steen, Bericht über das Forschungsvorhaben, PTB, Mai 1989  
„Abhängigkeit der Zündtemperatur von der Geometrie heißer Oberflächen“
- [3] E. Brandes, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, PTB, März 2006  
„Zündtemperaturen umschlossener Volumina mit geringem freien Querschnitt“

- [5] EN 61347-1 Geräte für Lampen. Teil 1: Allgemeine und Sicherheitsanforderungen. (IEC 61347-1:2007, modifiziert+A1:2010)
- [6] EN 61347-2-3 Geräte für Lampen. Teil 2-3 Besondere Anforderungen an wechsel- und/oder gleichstromversorgte elektronische Betriebsgeräte für Leuchtstofflampen (IEC 61347-2-3:2011+Cor:2011)
- [7] EN 60079-0 Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 0: Geräte - Allgemeine Anforderungen (IEC 60079-0)
- [8] EN 60079-7 Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 7: Geräte - Geräteschutz durch erhöhte Sicherheit „e“ (IEC 60079-7)
- [9] IEC 60079-7/Ed5 Equipment for explosive atmospheres (31/1039/CD)
- [10] End of Life of Fluorescent Lamps - An introduction, Philips Lighting bv, Product Management (Corné Voermans), Development Department, Roosendaal (NL)
- [11] John F. Waymouth, “Electric discharge lamps”, The M.I.T. Press 1971

## **Terms of Use**

Any party may pass on this Work by electronic means and make it available for download under the terms and conditions of the Digital Peer Publishing License (DPPL) Version 3.0. The text of the license may be accessed and retrieved via Internet at <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0009-dppl-v3-en8>.

Beyond the conditions of the DPPL, the data which is contained in this catalog May only be used by any party for signal processing if the data is inserted into the source code of the program together with a reference to the catalog and if the program documentation (if available) also contains a reference to this catalog.

## **Exclusion of Liability**

Deviating from paragraphs 12 and 13 of the DPPL Version 3.0, a comprehensive exclusion of liability applies. This states: This catalog is made available without any special or implied guarantee, which – among others – includes the implicit guarantee of the use of the catalog for a certain purpose. Under no circumstances is PTB responsible for any direct or indirect damage, independent of how it arose, through the use of the catalog. This also applies to damage due to errors of the catalog, which were already known at the occurrence of the damage.