

## 6.8 Untersuchung von Fahrzeug-Glühlampen

### 6.8.1 Leuchtenbauarten

In der Unfallrekonstruktion ist oftmals die Frage nach dem Schaltzustand der Hauptscheinwerfer, des Bremslichts oder des Blinklichts zu beantworten. Je nach Lampenbauart, Einbauort bezogen auf den Anstoßpunkt und Erhaltungszustand der Lampe können Rückschlüsse auf den Schaltzustand der Lampe gezogen werden.

Zweispurige Kraftfahrzeuge sind nach der StVZO mit mindestens zwei Hauptscheinwerfern auszurüsten. Eine Vorschrift bezüglich der zu verwendenden Scheinwerfer besteht nicht. Wohl sind die Scheinwerfer nach §22 StVZO bauartgenehmigungspflichtig, sodass diese vor dem Inverkehrkommen einem Zulassungsverfahren zu unterziehen sind.

Die Ausleuchtung, die von Hauptscheinwerfern und Glühlampen erreicht werden soll, ist nach europäischen Richtlinien geregelt. Diese finden sich im Anhang zur Straßenverkehrszulassungsordnung wieder. So ist in Europa das asymmetrische Abblendlicht vorgeschrieben. Die ECE-R 20 definiert Mindestbeleuchtungsstärken für das Fernlicht bzw. Höchstbeleuchtungsstärken für das Abblendlicht in bestimmter Höhe über der Fahrbahn, die als Sollwerte für die Ausleuchtung der Fahrbahn mit einer H4-Lampe erreicht werden sollen. Durch die Ausleuchtung soll eine möglichst große Sichtweite erreicht, der Gegenverkehr aber nicht geblendet werden. Um Blendung zu vermeiden, wird ein Teil der Wendel oder auch der Lampe abgedeckt. Dies kann, wie bspw. bei der H4-Lampe, mit der Abblendkappe erfolgen, die sich unmittelbar unterhalb der Abblendlichtwendel im Glaskolben befindet. Bei anderen Scheinwerfersystemen, so z.B. beim Poly-Ellipsoid-System, wird eine Einfadenlampe ohne Abblendkappe verwendet. Die den Gegenverkehr vor Blendung schützende Abblendkappe ist hier im Scheinwerfersystem integriert. Ganz ohne Abblendkappe kommen sog. Freiformflächen-Scheinwerfer aus, deren Reflektoren über speziell entwickelte lichttechnische Programme berechnet werden. Bei diesen Scheinwerfern ergibt sich die gesamte Lichtverteilung aus der Formgebung des Reflektors, der in viele kleine Einzelbereiche unterteilt ist. So kann die gesamte Reflektorfläche optimal genutzt werden. Unabhängig vom Reflektorsystem ist es erforderlich, die Glühwendel innerhalb des Scheinwerfersystems exakt zu positionieren, was über Fertigungsnormen erreicht wird.

In den USA wurden und werden sog. *Sealed Beam* Scheinwerfer verwendet. Bei diesen Scheinwerfern sind Reflektor und Leuchtmittel eine Einheit. Bei Ausfall ist der gesamte

Reflektor mit auszuwechseln. Die Ausleuchtung mit diesen Scheinwerfern unterscheidet sich leicht von den europäischen. Das amerikanische System hat eine waagrecht verlaufende Hell-dunkel-Grenze. Bei den in Europa im Rechtsverkehr verwendeten Scheinwerfersystemen wird der rechte Randbereich des Scheinwerferkegels weiter ausgeleuchtet. Eine weiße Wand anleuchtend, wird links vom Mittelpunkt des Lichtstrahles eine waagrecht verlaufende Hell-Dunkel-Grenze abgebildet, während sie auf der rechten Seite um 15° nach oben ansteigt, daher auch die Bezeichnung «asymmetrisches Abblendlicht».

### 6.8.2 Lampenbauarten

In den heutigen Kraftfahrzeugen werden sehr unterschiedliche Bauarten von Lampen verwendet. In etwa 90% aller Scheinwerfer werden heute noch Halogenlampen eingesetzt. Es ist ein deutlicher Trend zu den Vierscheinwerfersystemen zu beobachten; es werden also zunehmend Abblendlicht und Fernlicht von einander getrennt. Damit geht die Entwicklung zu kompakten Scheinwerfern mit Einwendel-Lampen. Eine gute Übersicht der unterschiedlichen Leuchten- und Lampenbauarten findet sich in [B1].

Neben den herkömmlichen Lampen, die einen Wolframdraht als Leuchtmittel verwenden, finden z.B. auch Gasentladungslampen für die Hauptscheinwerfer Verwendung. Dies gilt für das Abblendlicht und in neueren Entwicklungen auch für das Fernlicht. Die Gasentladungslampen benötigen ein spezielles elektronisches Vorschaltgerät, das zum einen die erforderliche Zündspannung zur Verfügung stellt, zum anderen den Strom für die Anlaufphase und den Dauerbetrieb der Lampe steuert. Die Gasentladungslampe liefert etwa den doppelten Lichtstrom einer herkömmlichen H4-Lampe und das bei höherer Farbtemperatur.

In neueren Fahrzeugen werden auch Leuchtdioden und Neonentladungslampen eingesetzt. Neonentladungslampen finden für die Brems-, Schluss- und Blinkleuchten Anwendung. Dabei finden Leuchtdioden auch für die äußeren Beleuchtungseinrichtungen, wie z.B. Brems- und Schlusslicht oder Seitenmarkierungsleuchten, Verwendung. Neuentwicklungen befassen sich mit dem Einsatz von Leuchtdioden für das Fahrlicht. Die Hersteller von Neonentladungslampen und Leuchtdioden verweisen auf die im Vergleich zu anderen Leuchtmitteln kürzeren Ansprechzeiten der Lampen.

Von der Bauart der Lampe ist der Erfolg einer Beurteilung des Schaltzustandes abhängig. Wie bereits oben erwähnt, ist für die maximale Lichtausbeute eine exakte Positionierung der Glühwendel innerhalb des Reflektors erforderlich. Für

alle Lampenbauarten bestehen DIN-Normen und ECE-Regelungen, die die Fertigungstoleranzen vorschreiben. Je nach Verwendungszweck sind die Toleranzen enger oder weiter gefasst. Für Scheinwerferglühlampen, wie z.B. die H4-Lampe, ist für die Lage der Wendel eine Abweichung von  $\pm 0,5$  mm nach DIN 72601 Teil 14 zulässig.

Andere Lampenbauarten, an die keine besonderen Anforderungen bezüglich der Wendellage gestellt werden müssen, wie z.B. Lampen für Brems- und Blinkleuchten, können das Herstellerwerk mit einer recht unregelmäßig geformten Glühwendel verlassen.

### 6.8.3 Metalldrahtlampen

#### 6.8.3.1 Der Werkstoff Wolfram

Wolfram (englisch *tungsten*) ist ein weißglänzendes, als Pulver mattgraues Schwermetall, das den höchsten Schmelzpunkt aller Metalle besitzt. Der Schmelzpunkt von reinem Wolfram liegt bei etwa 3.407 °C, der Siedepunkt bei etwa 5.927 °C. Reinstes Wolfram ist leicht verformbar; das meist Verunreinigungen enthaltende technische Wolfram ist jedoch hart und spröde. Chemisch ist Wolfram sehr beständig.

Unter den Sauerstoffverbindungen ist vor allem das Wolframtrioxid,  $WO_3$ , ein gelbes, in Wasser und Säuren schwer lösliches Pulver, wichtig; es ist ein Zwischenprodukt bei der chemischen Gewinnung von Wolfram und wird auch als Katalysator verwendet.

Die im Automobilbau verwendeten Glühdrähte haben einen Durchmesser von etwa 0,02 ... 0,2 mm. Kalte Wolframwendeln haben eine Zugfestigkeit von etwa 2.000 ... 4.000 N/mm<sup>2</sup> [K1].

Infolge geringfügiger Beimischungen von Kohlenstoff und anderer Bestandteile sind die Wolframwendeln relativ spröde. Bei einer Beanspruchung über die Elastizitätsgrenze hinaus kommt es zum spröden Bruch der Wendel. Mit zunehmender Betriebsdauer versprödet die Wolframwendel, wodurch die mechanische Belastungsgrenze der Wendeln im kalten Zustand abnimmt.

Im Betriebszustand erreichen die Glühwendeln typenabhängig Temperaturen von ca. 2.200 ... 2.900 °C. Mit der Erhöhung der Temperatur ist eine deutliche Abnahme der Zugfestigkeit festzustellen. Die heißen Glühwendeln sind weitaus elastischer und lassen sich über die Elastizitätsgrenze hinaus im irreversiblen Bereich verformen. Die altersbedingte Versprödung der Wendel wirkt sich nicht auf den warmen Zustand aus.

#### 6.8.3.2 Die Glühlampe

Glühlampen verwenden zur Lichterzeugung einen Wolframdraht, der weißglühend erhitzt wird. Diese Lampen werden auch als Metalldrahtlampen bezeichnet. Sie eignen sich besonders, um im Nachhinein den Schaltzustand der Lampe zum Unfallzeitpunkt zu bestimmen.

Das Innere der Glühlampe ist mit einem Edelgas gefüllt, damit der Glühfaden nicht verbrennt und sich der Glaskolben von innen nicht so schnell schwärzt.

Diese einfachen Glühlampen werden in allen Leuchten, außer in Scheinwerferleuchten, eingesetzt. Die Bilux-Lampe (Kategorie R2) stellt hier die Ausnahme dar, sie wird gelegentlich noch für Scheinwerfer von motorisierten Zweirädern verwendet. Die Spannung der einfachen Glühlampen reicht von 6 ... 24 V, die Leistung von 3 ... 21 W. Lampen mit Leistungswerten unterhalb von 10 W werden i.d.R. für Begrenzungs- und Schlussleuchten eingesetzt. Die 21-Watt-Lampe (P21) findet für das Brems-, Blink-, Nebelschluss- und Rückfahrlicht Verwendung.

#### 6.8.3.3 Die Halogenglühlampe

Die Halogenglühlampe ist grundsätzlich ähnlich aufgebaut wie eine normale Glühlampe, wird jedoch heißer als die normale Glühlampe und damit heller. Mit der höheren Temperatur würde sich normalerweise eine kürzere Lebensdauer im Vergleich zur normalen Glühlampe ergeben, denn aufgrund der höheren Betriebstemperatur dampft das Wolfram schneller ab. Die dünnen Stellen des Wolframdrahtes würden dann schneller durchbrennen. Diesem Vorgang wird mit der Zugabe von Halogenen ins Innere des Glaskolbens entgegengewirkt. Mit den Halogenen wie Jod oder Brom kommt es zu einem Kreisprozess. An der Glühwendel, die eine Temperatur von 2.600 ... 2.900 °C hat, verdampft das Wolfram. Das abgedampfte Wolfram verbindet sich mit den Halogenen in der kühleren Außenzone zu Wolframhalogenid und bleibt bis zu einer Temperatur von etwa 250 °C gasförmig. Um die Temperatur des Glaskolbens nicht unter diesen kritischen Wert sinken zu lassen, wird der Glaskolben extrem klein ausgeführt und so von der Glühwendel aufgeheizt. Andernfalls würde sich das gasförmige Wolframhalogenid am kalten Glaskolben niederschlagen. Durch Konvektion gelangen die Wolframhalogenide wieder in den Bereich der heißen Glühwendel, wo sie zerfallen und so das Wolfram wieder an der Glühwendel ausgeschieden wird. Die frei gewordenen Halogene stehen dann für einen neuen Kreisprozess zur Verfügung. Dieser Halogenkreisprozess wiederholt sich ständig und führt dazu, dass

die Lampe während ihrer gesamten Lebensdauer einen annähernd gleich bleibenden Lichtstrom aussendet.

#### 6.8.4 Die Gasentladungslampe

Im Gegensatz zu den Metalldrahtlampen verwenden die Gasentladungslampen als Leuchtmittel einen Lichtbogen zwischen zwei Elektroden. Für den Zündvorgang des etwa 4 mm langen Lichtbogens ist ein Steuergerät erforderlich, das den nötigen Hochspannungsstromstoß von ca. 20.000 V liefert. Gegenüber der Halogenlampe erreicht die Gasentladungslampe ihre volle Helligkeit erst nach ca. 5 s. Für den Betrieb der Gasentladungslampe stellt das Steuergerät eine Spannung von 85 V zur Verfügung. Der Gesetzgeber schreibt für Systeme mit Gasentladungslampen Scheinwerferreinigung und automatische Leuchtweitenregulierung vor. Bisher wurde die Gasentladungslampe nur für das Abblendlicht eingesetzt, neuere Entwicklungen machen es jetzt mit einer schnellen mechanischen Umstellung oder als Vier-Scheinwerfer-System auch für das Fernlicht nutzbar. Vorteile gegenüber der Halogenlampe sind die etwa fünffach höhere Lebensdauer, die mehr dem Tageslicht entsprechende Lichtfarbe und die bei gleicher elektrischer Leistung höhere Lichtausbeute.

#### 6.8.5 Untersuchung am Fahrzeug

Bevor die Untersuchung der Glühlampe selbst erfolgt, ist zunächst am Fahrzeug sicherzustellen, dass die Lampe entsprechend ihrer Nenndaten Spannung und Strom erhalten konnte, denn auch eine intakte Lampe ist bei defekter Stromzufuhr nicht funktionsfähig. Besonders bei Anhängern sollte die Stromversorgung im Bereich der Steckverbindung und an der Leuchte selbst intensiv geprüft werden.

Keinesfalls dürfen die Lampen nach dem Unfall nochmals eingeschaltet werden! Bei beschädigten Glühlampen und bei verformten Glühwendeln können durch nachträgliches Einschalten Spuren vollständig vernichtet oder neue Spuren gesetzt werden, die zu falschen Schlüssen führen. Nach Möglichkeit sollten von den Glühlampen Lichtbilder im noch eingebauten bzw. vorgefundenen Zustand gefertigt werden.

Zunächst ist über eine Sichtprüfung festzustellen, ob die Stromversorgung von der Fassung der Leuchte zu den Steckkontakten vorhanden und nicht korrodiert ist. Zusätzlich wird ein Ohmmeter an geeigneter Stelle an den Kon-

taktschuhen angesetzt, sodass die Durchgangsprüfung vom Kontaktschuh über die Glühlampe erfolgt. Dabei ist darauf zu achten, dass der Lichtschalter ausgeschaltet ist, um nicht über die Batterie zu messen. Um das zu vermeiden, kann die Batterie auch abgeklemmt werden. Der gemessene Widerstand sollte bei intakter Lampe wenige Ohm betragen. Sind die Kontakte korrodiert, kann der Kontaktwiderstand soweit erhöht sein, dass ein Betrieb der Lampe nicht mehr möglich ist, jedoch ein einfacher Durchgangsprüfer noch Durchgang meldet. Ist die Lampe durchgebrannt, liefert die Messung des Kontaktwiderstandes den Wert unendlich.

Nach der Kontaktüberprüfung an der Glühlampenfassung kann die Glühlampe ausgebaut werden. Sie ist zu asservieren und zu kennzeichnen. Unter Umständen muss die Glühlampe mitsamt dem Scheinwerfer gesichert werden, wenn die Verformungen eine Demontage der Lampe vor Ort nicht zulassen. Nach der Demontage wird nun die ausgebaute Glühlampe durch eine typgleiche Prüflampe ersetzt. Wurden alle relevanten Glühlampen auf Kontakt überprüft und gegen Prüflampen ausgetauscht, so ist durch Betätigen des Lichtschalters zu prüfen, ob die Stromversorgung bis zum Lampenanschluss reicht. Liegt ein Fehler vor, ist zu prüfen, ob dieser auf das Vorfallsgeschehen zurückzuführen ist oder bereits vorhanden war. Neben diesen Feststellungen zur Funktion der Glühlampe muss geprüft werden, ob die Leuchte mit der gesicherten Lampe nach Herstellervorgabe bestückt war.

#### 6.8.6 Untersuchung von Glühlampen

Glühlampen können nach verschiedenen Verfahren untersucht werden. Nicht jede Glühlampe ist zwingend mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops (REM) zu untersuchen. Bei einigen Exemplaren ist auch die Untersuchung mit bloßem Auge möglich.

Die im Folgenden genannten Beurteilungskriterien gelten für die unterschiedlichen Metalldrahtlampen und können im Wesentlichen unabhängig vom Lampentyp herangezogen werden. Die Abbildungen sind Beispiele zu den jeweiligen Kriterien, bei denen teilweise nur einzelne Bereiche der Lampen beschrieben werden und nicht immer auf das Gesamtbild der Lampe eingegangen wird. Zur Beurteilung des Schaltzustandes einer Lampe ist stets das Gesamtbild der Lampe zu betrachten.



Abb. 6.8.1: Verformung der Glühwendel einer H7-Lampe

#### 6.8.6.1 Kriterien bei unbeschädigtem Glaskolben

##### Wendelverformung

Wird eine Metalldrahtlampe im Betrieb großen Beschleunigungen ausgesetzt, kann es zu einer bleibenden Verformung der Wendel kommen. Um eine Wendelverformung beurteilen zu können, ist es erforderlich, den Neuzustand der Glühlampe bzw. der Glühwendel zu kennen. Die in den DIN festgelegten Ausführungsbestimmungen der einzelnen Lampentypen beschränken sich i.d.R. auf die geometrische Lage und maximale Länge der Wendel, sodass unterschiedliche Konstruktionen der Wendelhalterungen zu einem unterschiedlichen Verformungsverhalten der Glühwendel bei gleicher Beschleunigungsbelastung führen können.

Erkannt werden kann diese Verformung über die äußere Gestaltänderung der Wendel gegenüber ihrer ursprünglichen Form, was zunächst schwierig festzustellen scheint. Die Beurteilung, ob eine Wendel verformt ist oder nicht, wird mit zunehmender Verformung einfacher. Eine Glühwendel gilt als verformt, wenn entweder die Wendelachse deutlich von der Norm abweicht oder die Windungsabstände stark unterschiedlich sind. An kalten Glühlampen, die ebenfalls Beschleunigungen ausgesetzt wurden, waren keine Wendelverformungen zu erkennen [M1].

In aller Regel sind bei der warmen, beschleunigten Glühlampe ungleichmäßige Verformungen entlang der Wendelachse zu beobachten. An ein und derselben Glühwendel können dabei einige Bereiche gestaucht, andere gestreckt werden.

Liegt eine deutliche Wendelverformung vor und ist eine Fremdkörpereinwirkung auszuschließen – was bei unzerstörtem Glaskörper immer der Fall ist –, so kann man feststellen, dass die Glühlampe zum Zeitpunkt der stoßartigen Belastung eingeschaltet war.

Abb. 6.8.1 zeigt eine H7-Glühlampe, bei der die Wendelverformung gut zu erkennen ist. Das rechte Ende der Wendel ist gestreckt, das linke stark gestaucht. Die ursprünglich in Längsrichtung verlaufende Wendelachse wurde stark verformt. Bei diesem Befund kann sicher gesagt werden, dass die Glühwendel zum Zeitpunkt der starken Beschleunigung eingeschaltet war. Eine Verformung wie in Abb. 6.8.1 ist im normalen Einsatz der Glühlampe unmöglich.

Abb. 6.8.2 zeigt die deutlich verformte Abblendlichtwendel einer H4-Lampe. Die Wendelgänge des Abblendlichtes in Richtung Lampensockel sind gestreckt, die gegenüberliegenden sind gestaucht. Des Weiteren illustriert das Beispiel das unterschiedliche Verhalten von kalter und warmer Glühwendel: Während die kalte Fernlichtwendel unverformt ist, ist die Verformung der warmen Abblendlichtwendel augenfällig.

Je geringer die Wendelverformung, um so unsicherer wird die Aussage zum Schaltzustand. Soll die Beurteilung des Schaltzustandes ausschließlich über eine geringe Verformung der Wendel erfolgen, so muss bei der Beurteilung die Aufhängung des Scheinwerfers berücksichtigt werden. War bspw. der Scheinwerfer aufgrund einer defekten Halterung lose oder handelt es sich um eine Lampe aus einem Motorradscheinwerfer, so kann die Wendelverformung schon vor



Abb. 6.8.2: Verformung der Abblendlichtwendel einer H4-Lampe

dem eigentlichen Vorfall durch Erschütterungen während des normalen Fahrbetriebs eingetreten sein.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass für die Beurteilung des Schaltzustandes anhand der Wendelverformung die Anforderungen an die Wendelage der zu beurteilenden Glühlampe bekannt sein müssen. Gerade bei Lampen mit geringerer Leistung, wie sie für Brems- und Blinklichter eingesetzt werden, kann die Wendel bereits im Neuzustand verformt erscheinen. Je geringer die Leistung der Glühlampe, desto stärker muss die Verformung der Wendel für eine sichere Aussage sein.

Im kalten Zustand wurden nach Beschleunigungsversuchen an P21W-Lampen keine Glühwendelverformungen beobachtet [M1]. Die Untersuchungen und die Auswertung vieler Lampen aus Unfallfahrzeugen haben gezeigt, dass eine Aussage zum Schaltzustand dann nicht getroffen werden kann, wenn **keine** Wendelverformung zu erkennen ist. Selbst wenn sich die Glühlampe im unmittelbaren Anstoßbereich befunden hat, muss sich die Wendel nicht zwangsläufig verformen; hier kann die Beschleunigung nicht ausgereicht haben, um die Glühwendel bleibend zu verformen. Es ist also keinesfalls der Schluss zulässig: Keine Verformung, also Glühlampe nicht geschaltet.

In [M1] wurden Versuche mit P21W-Lampen durchgeführt, anhand derer festgestellt werden sollte, ob sich die Alterung der Glühwendel im Verformungsverhalten bemerkbar macht. Dazu wurden die Glühlampen über einen Zeitraum von 45 und 90 Stunden künstlich gealtert. Das Verformungsverhalten der künstlich gealterten Lampen ent-

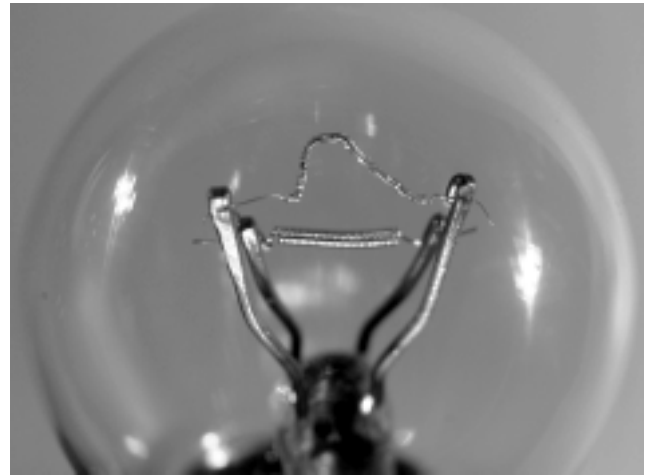


Abb. 6.8.4: Verformte 5-W-Wendel, keine Verformung der 21-W-Wendel

sprech – wider Erwarten – dem der neuwertigen. Hersteller geben für diesen Lampentyp eine mittlere Lebensdauer von 400 Stunden an.

Abb. 6.8.3 zeigt eine P21/5-Lampe. Im Glaskolben liegt der dickere 21-W-Glühdraht, an dem keine Wendelverformung zu erkennen ist. Die Wendel ist jeweils an beiden Enden nahe der Halterung gebrochen. Der dünnere 5-W-Glühdraht wurde hingegen stark verformt. Auch diese Aufnahme zeigt anschaulich das unterschiedliche Verformungsverhalten des kalten und warmen Glühdrahtes. An der dünneren Glühwendel sind leichte Aufweitungen und Stauchungen

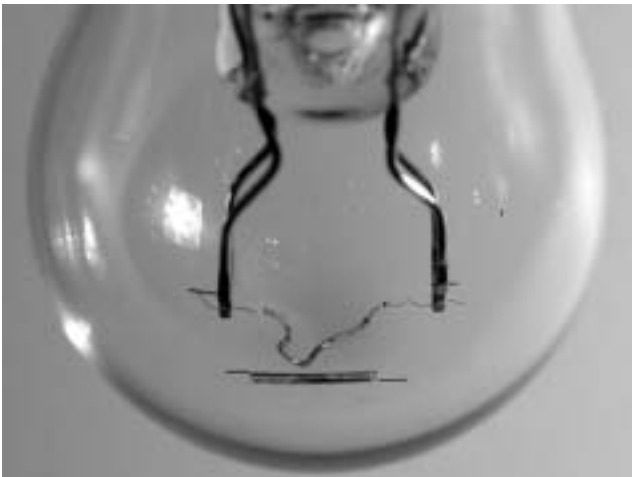


Abb. 6.8.3: P21/5-Lampe, 5-W-Glühdraht stark verformt, 21-W-Glühdraht ausgebrochen



Abb. 6.8.5: P21/5-Lampe, Verformung beider Glühwendeln