

Technische Richtlinie

für Lokomotivkessel

TR 716

BAV / SVTI

Entwurf

Inhaltsverzeichnis

1. Geltungsbereich	6
2. Gesetzliche Grundlagen	7
2.1 Bundesamt für Verkehr BAV	7
2.1.1 Historische Fahrzeuge	7
2.2 Schweizerischer Verein für technische Inspektionen SVTI.....	8
2.2.2 Instandsetzungen und Änderungen.....	8
3.1 Verbrennung.....	9
3.2 Feuerungsarten	9
3.2.1 Rostfeuerung für Kohle.....	9
3.2.2 Ölfeuerung	10
3.3 Brennstoffe	11
3.3.1 Steinkohle	11
3.3.2 Heizöl extraleicht (HEL).....	13
3.3.3 Schweröl (Heizöl extra schwer, Bunkeröl)	13
3.3.4 Brennholz.....	13
3.4 Physikalische Grundlagen	14
3.4.1 Die Entstehung von Wasserdampf	14
3.4.2 Nassdampf.....	15
3.4.3 Überhitzer Dampf	15
3.5 Wirkungsgrad von Dampfkessel.....	16
4. Drucktragende Bauteile	17
4.1 Montage des Kessels auf der Lok.....	17
4.4 Bodenring	18
4.5 Stehbolzen.....	18
4.6 Rohre.....	18
4.7 Rauchrohre.....	18
4.8 Deckenanker	19
4.9 Queranker.....	19
4.10 Feuerbüchsenrohrwand.....	19
4.11 Rauchkammerrohrwand.....	20
4.12 Rauchkammer	20
4.13 Dampfdom	20
4.14 Schmelzpfropfen (Joggeli)	21
4.15 Unterschied geschweisster und genieteter Kessel	22
4.16 Überhitzer	24
4.16.1 Funktionsweise.....	24
4.16.2 Vorteile	24
4.16.3 Nachteile	24
4.16.4 Schäden am Überhitzer.....	25

5. Kesselausrüstung.....	26
5.1 Kesselschilder	26
5.2 Ausrüstung für die Kesselspeisung	26
5.2.1 Typische Störungen bei Dampfstrahlpumpen	27
5.2.3 Speisewasservorwärmer	28
5.2.4 Speisekopf	28
5.3 Wasserstandsanzeiger	29
5.3.2 Anforderungen an die Betreiber.....	31
5.3.3 Ermittlung der erforderlichen sichtbaren Länge der Wasserstandanzeige	31
5.3.4 Nachprüfung und Festlegung der NW-Marken	32
5.4 Sicherheitsventil.....	37
5.4.1 Zerstörungsfreie Prüfungen an Sicherheitsventilen	37
5.5 Prüfhähne	38
5.6 Abschlammeinrichtung	38
5.7 Dampfregler	38
5.8 Manometer mit Kontrollanschluss.....	38
5.9 Heissdampfthermometer	38
5.10 Aschekasten (Luftklappen, Verlust von Glut)	39
5.11 Rost	39
6. Wiederkehrende Inspektionen.....	40
6.1 Einflussfaktoren auf die wiederkehrenden Prüfungen	40
6.2 Inspektionsintervalle	40
6.3 IWB Inspektion während des Betriebs	40
6.4 IWB-Checkliste für Betreiber und Inspektor	41
6.5 IWB Prüfbericht Massnahmen	41
6.6 ISS Inspektion im Stillstand	42
6.6.1 Erweiterte ISS Inspektion im Stillstand	42
6.7 WDP Wiederholte Wasserdruckprüfung.....	42
6.8 Beispiel ISS-Prüfbericht	43
6.9 Beispiel IWB-Prüfbericht	47
7. Zulässigkeitsgrenzen für Kesselbauteile.....	49
7.2 Angewendete Technische Regeln	50
7.3 Berechnung der minimal erforderlichen Wanddicken	51
8. Änderungen an sicherheitsrelevanten Funktionen oder Baugruppen eines Dampflokessels....	54
8.1 Wesentliche Änderung gegenüber der Ursprungsausführung und dem bestimmungsmässigen Betrieb	54
8.2 Umbau der Feuerung, Änderung des Brennstoffs	55
8.3 Erhöhung der Leistung.....	56
9. Betrieb.....	57
9.1 Allgemein.....	57
9.2 Emissionen	57

9.3 Feuerung	58
9.3.1 Grundsätze der Feuerung	58
9.4 Kesselspeisung.....	59
9.5 Wasserstandsanzeiger im Betrieb	59
9.5.1 Bedienung der Wasserstandsanzeiger	59
9.5.2 Scheinbarer Wasserstand	60
9.6 Kesselwasser	60
9.6.1 Wasseraufbereitung	60
9.6.2 Konditionierungsmittel	60
9.6.3 Kesselstein.....	60
9.6.4 Abschlammen	61
9.6.5 Überreissen von Wasser	61
9.7 Sicherheitsventile.....	61
9.8 Personal	62
9.8.1 Allgemein	62
9.8.3 Vom Dampfkessel ausgehende spezifische Gefahren.....	62
9.8.4 Sonstige Gefahren	62
9.8.5 Ausbildung	63
9.8.7 Lokführer.....	63
9.8.8 Weiterbildungsmöglichkeiten im Bereich Wärmeerzeugung	64
9.9 Instandhaltung	65
9.9.1 Dokumentation Instandsetzung	65
9.10 Kontrollen	65
9.11 Inspektionen	65
9.12 Reinigung	66
9.13 Konservierung.....	66
Anhang	68
Anhang A Zulässigkeitsgrenzen	69
Anhang B Instandsetzungen an druckführenden Kesselteilen	76

1. Geltungsbereich

4. Abschnitt: Spezialfahrzeuge

Art. 56 Allgemeines

1 Als Spezialfahrzeuge gelten Dienstfahrzeuge sowie Dampffahrzeuge und historische Fahrzeuge.

2 Spezialfahrzeuge können sowohl auf interoperablen wie auf nicht interoperablen Strecken eingesetzt werden.

3 Sie sind so zu planen, zu bauen, zu betreiben und instand zu halten, dass Personen und Sachen bei bestimmungsgemäsem Betrieb sowie bei voraussehbaren Störungen vor Gefährdungen geschützt werden.

4 Sie werden bei Erfüllung der Anforderungen des 3. Abschnitts zugelassen, soweit diese der Interoperabilität innerhalb des Einsatzgebiets nicht entgegenstehen.

Art. 58 Dampffahrzeuge und historische Fahrzeuge

1 Dampffahrzeuge und historische Fahrzeuge sind so zu betreiben und instand zu halten, dass ein sicherer Eisenbahnbetrieb auf der zu befahrenden Infrastruktur möglich ist.

2 Dampffahrzeuge sind so zu planen, zu bauen, zu betreiben und instand zu halten, dass den spezifischen Gefahren der Dampf- und Druckkessel Rechnung getragen wird.

3 Für den Einbau neuer Systeme in historische Fahrzeuge und den Umbau von Systemen in solchen Fahrzeugen sind die im Zeitpunkt des Ein- oder Umbaus gültigen Vorschriften massgebend.

4 Im Übrigen gelten die Artikel 50–55.

AB 56.1 Definition von historischen Fahrzeugen

1. Unter die Kategorie historische Fahrzeuge fallen alle Fahrzeuge, welche nicht mehr im Regeleinsatz stehen und zum Zweck des Erhaltens als Kulturgut betriebsfähig erhalten werden.

Sofern nicht ausdrücklich anders erwähnt, ist im Sinne dieser Vorschriften der Dampftriebwagen der Dampflokomotive gleichgestellt.

Im Weiteren kann vorliegende technische Regel soweit anwendbar auch für Dampfwalzen herangezogen werden

2. Gesetzliche Grundlagen

2.1 Bundesamt für Verkehr BAV

Das BAV ist als Aufsichtsbehörde zuständig für den öffentlichen Verkehr in der Schweiz (Eisenbahn, Seilbahn, Schifffahrt, Tram und Bus). Auch wesentliche Bereiche des Güterverkehrs fallen in den Verantwortungsbereich des BAV. Das BAV ist zuständig für Sicherheit, Finanzierung, Infrastrukturen sowie die rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen des öffentlichen Verkehrs und des Güterverkehrs.

Das BAV erteilt die Betriebsbewilligungen von Eisenbahnfahrzeugen auf Grundlage von Art. 6a, 7, 8 und 15a-z der Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung, EBV). Für Versuchs- und Probefahrten sowie Überführungen wird ebenfalls eine Betriebsbewilligung benötigt, welche zeitlich befristet ist. Das Vorgehen von der Einreichung des Gesuchs über die Führung des Sicherheitsnachweises bis zur Betriebsbewilligung ist in der Richtlinie "Zulassung Eisenbahnfahrzeuge" beschrieben.

2.1.1 Historische Fahrzeuge

Das BAV versteht unter dem Begriff "historische Fahrzeuge" älteres schweizerisches Rollmaterial, welches vorwiegend mit dem Ziel eingesetzt wird, für die Öffentlichkeit alte Technologien betriebsfähig zu erhalten. Unter den Begriff "historische Fahrzeuge" fällt Rollmaterial, welches weitgehend aus dem regulären Einsatz zurückgezogen ist. Es können originale oder umgebaute Fahrzeuge sein, welche in diesem Zustand typischerweise vor 30 Jahren und länger in Betrieb genommen wurden. Fahrzeuge welche aktuell vollständig oder teilweise nach alten Unterlagen nachgebaut werden (Begriff Replica), stuft das BAV als Neufahrzeuge ein.

Grundsätzlich gelten für den Einsatz historischer Fahrzeuge in der Schweiz die Vorschriften der Eisenbahnverordnung (EBV) und der Verordnung über elektrische Ausrüstungen von Bahnen (VEAB). Für deren Betrieb gelten die Fahrdienstvorschriften (FDV4).

Alte Konstruktionsprinzipien und Ausführungen entsprechen meist nicht in allen Punkten den heute geltenden Vorschriften des Fahrzeugbaus. Ziel muss es sein, dass der Betreiber den Einsatz und die Fahrweise historischer Fahrzeuge so definieren kann, dass mit Berücksichtigung alter technischer Ausführungen und zweckmässigen Ersatzmassnahmen ein sicherer Betrieb gewährleistet werden kann.

Das BAV kann in Einzelfällen Abweichungen von den geltenden Vorschriften bewilligen, wenn der Gesuchsteller nachweist, dass der gleiche Grad an Sicherheit gewährleistet ist oder kein inakzeptables Risiko entsteht und alle verhältnismässigen Risiko mindernden Massnahmen getroffen sind. Die hoheitlichen Vorschriften können elektronisch auf den Internetplattformen "Systematische Sammlung des Bundesrechtes" und "BAV-Vorschriften" bezogen werden.

2.2 Schweizerischer Verein für technische Inspektionen SVTI

Das Kesselinspektorat ist innerhalb des SVTI für alle sicherheitstechnischen Belange von stationären Druckgeräten und Anlagen sowie mobilen Anlagen wie Dampflokomotiven, Dampfschiffe oder Dampfwalzen zuständig.

Seine Hauptaufgabe besteht darin, Unfälle, Störungen und Schäden beim Betrieb von Druckgeräteeinrichtungen zu verhüten.

In den Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung EBV, SR 724.141.1 Ausgabe 01.07.2016, AB 4, Ziff. 1, Buchst. g. liegt die Zuständigkeit für Dampffahrzeuge beim SVTI und soweit die EBV und die Ausführungsbestimmungen nichts anderes vorgeben, ist die Verordnung SR 742.143.6 noch immer anwendbar.

2.2.1 Inspektionen an Druckgeräten

Das Kesselinspektorat ist die von der SUVA beauftragte Fachorganisation, welche gemäss Artikel 85 Absatz 3 UVG beauftragt ist, die wiederkehrenden Inspektionen gemäss der EKAS 6516 Richtlinien durchzuführen. Siehe auch Art. 14, DGVV 832.312.12

2.2.2 Instandsetzungen und Änderungen

Instandsetzungen und Änderungen fallen unter die Bestimmungen der Druckgeräteverwendungsverordnung (DGVV). *Gemäss DGVV Ar. 15 dürfen Instandsetzungen und Änderungen an Druckgeräten nur in Absprache mit der Fachorganisation durchgeführt werden.*

Gemäss den Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung AB 4, SR 742.143.6 ist für Dampflokomotivkessel der SVTI ausschliesslich zuständig.

Der Betrieb ist verantwortlich für eine den anerkannten Regeln der Technik entsprechende Ausführung.

Das Kesselinspektorat beurteilt die Ausführung der Arbeiten, prüft die Massnahmen, erstellt Entwurfsprüfungen, führt Zwischenkontrollen (ZfP-Verfahren), Schlussprüfungen sowie sicherheitstechnische Abnahmen durch und gibt das Druckgerät für den Betrieb wieder frei.

2.3 Reglement über die Dampflokomotiven

Das Reglement über die Dampflokomotiven R 434.2 wurde 1955 durch den Zugförderungs- und Werkstättendienst der Schweizerischen Bundesbahnen herausgegeben. Das Reglement wurde herausgegeben, da sich die damals zeitgenössische Literatur und die Lokführerschulung immer weniger über den Betrieb und die Bedienung von Dampflokomotiven befasste.

Der Inhalt des Reglements sollte dem Lokführer die nötigen Grundlagen für den praktischen Betrieb liefern und ausdrücklich zum Verstehen der wichtigsten Grundlagen dienen.

Entsprechend wurde es bei den theoretischen Lokführerprüfungen behandelt. Der Gültigkeitsbereich des Reglements beschränkte sich auf die Schweizerischen Bundesbahnen.

3. Physikalische und chemische Grundlagen

3.1 Verbrennung

Unter Verbrennung versteht man die chemische Verbindung brennbarer Stoffe, vor allem Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Schwefel (S) mit dem in der Luft enthaltenen Sauerstoff (O). Dabei wird die im Brennstoff gebundene chemische Energie in Form von Wärme frei. Es entstehen als neue Verbindungen Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO₂) und Schwefeldioxid (SO₂). Die Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft und den brennbaren Bestandteilen des Brennstoffes kann nur dann erfolgen, wenn eine bestimmte Mindesttemperatur – die sogenannte Zündtemperatur - erreicht ist. Massgebend für die Entzündbarkeit des Brennstoffes ist der Gehalt an flüchtigen (gasförmigen) Teilen, die bei der Erhitzung zuerst entweichen und verbrennen. Als Brennstoffe für Lokomotiven können Schweröle, Heizöle, Steinkohlen, Braunkohlenbriketts, Torf und Holz verwendet werden. Die Verbrennung kann nur vollständig ablaufen, wenn den Brennstoffen stets genügend Luft zugeführt wird. Eine gute Vermischung mit dem Brennstoff ist jedoch nur möglich, wenn das Feuer mehr Luft erhält, als rechnerisch notwendig wäre. Zur Verbrennung von Steinkohle ist so in 1.5 faches Luftvolumen sinnvoll, als wie es für die komplette Verbrennung benötigt würde. Ungenügende Luftzufuhr bedeutet somit unvollkommene Verbrennung. Damit geht einerseits ein Wärmeverlust je kg Kohle herein. Andererseits entsteht bei unvollkommener Verbrennung giftiges Kohlenmonoxid, welches gleichzeitig auch ein brennbares Gas ist. Intoxikation von Kohlenmonoxid ist ein häufiger Teilvorgang von Rauchgasvergiftungen und kann in kürzester Zeit tödlich sein. Aus diesem Grund ist die Zuführung von genügend Verbrennungsluft vor allem auf Strecken mit vielen Tunneln besonders wichtig, damit im Tunnel eine möglichst geringe Menge Kohlenmonoxid abgeführt werden muss.

3.2 Feuerungsarten

3.2.1 Rostfeuerung für Kohle

Bei der Rostfeuerung handelt es sich um eine der ältesten Formen der Feuerung. Dabei liegt die Kohle während der Verbrennung auf einem Rost. Der Rost ist eine mit Öffnungen versehene Auflagefläche. Diese Öffnungen dienen der Zufuhr der notwendigen Verbrennungsluft und der Abfuhr der Schlacke, welche bei der Verbrennung der Kohle anfällt. Bei den Dampfkesseln schliesst der Rost die Feuerbüchse in Höhe des Bodenringes gegen unten ab. Je nach Grösse des Kessels ist der Rost nach vorne geneigt. Der Rost besteht aus einzelnen Graugussroststäben, welche lose auf die Rostbalkenträger gelegt werden. Je nach Länge der Feuerbüchse wird die Rostfläche in eine unterschiedliche Anzahl von Rostfeldern geteilt.

Roststäbe sind Verschleisssteile und müssen infolge Abbrands je nach Bedarf ausgetauscht werden. Dies hat zu erfolgen, bevor der Abbrand zum Zerfall des Stabes und somit zu einem Loch in der Rostfläche führt. Beim Ersatz von Roststäben ist es wegen Verzug und Abbrand sinnvoll, neue Roststäbe auf beiden Seiten der Rostfläche einzusetzen.

Folgende Problematiken können bei der Rostfeuerung auftreten

Qualmen der Lok	Mangelhafte Feuerungstechnik führt häufig zu starkem Qualmen der Lok. Wird gleichzeitig die ganze Rostfläche mit frischen Kohlen überdeckt, führt dies zu einem Luftmangel. Dabei sinkt auch die Temperatur in der Feuerbüchse ab. Die Kohlenwasserstoffverbindungen werden in der Folge als Teernebel bzw. Rauch und Qualm austreten. Die unvollkommene Verbrennung führt somit auch zu einem Wärmeverlust und einer Reduktion des Wirkungsgrades.
Eintritt von kalter Luft	Wird beim Feuern die Feuertüre zu lange offengehalten oder nicht alle Löcher im Feuer mit Brennstoff bedeckt, kommt es zu grossem Durchsatz von kalter Luft. Dies führt nicht nur zur Abkühlung der Feuerbüchse und zu einer unvollkommenen Verbrennung, sondern auch vielfach zu Undichtigkeit an den Rohrverbindungen infolge von Wärmespannungen.
Verschlacktes Feuer	Wird die Luftzufuhr durch Schliessen der Luftklappen gemindert, führt dies zu einem Mangel an Sauerstoff. Somit führt dies zu einer vorzeitigen Verschlackung des Feuers.
Wärmeverluste durch Russ	Die als Rauch und Qualm austretende Teernebel schlagen sich an den Feuerbüchswänden und in den Heiz- und Siederohren, sowie an den Überhitzerelementen als Russ nieder und behindern den Wärmeübergang. Eine nur 1mm starke Russschicht bietet dem Wärmedurchgang einen grösseren Widerstand als eine 5mm starke Kesselsteinschicht.

3.2.2 Ölfeuerung

Bei der Ölfeuerung wird Heizöl über einen oder mehrere Brenner als Brennstoff für den Kessel genutzt. Dabei wird das Öl dem Vorratsbehälter entnommen und mittels Dampfstrahl im Brenner fein zerstäubt. Wegen der bei der Verbrennung entstehenden grossen Hitze sind meist der Aschekasten und zum Teil auch der untere Teil der Feuerbüchse mit Schamottesteinen ausgemauert. Damit wird die Feuerbüchse gegen starke Abnutzung geschützt und gleichzeitig eine gewisse Wärmespeicherung bei Betriebspause ermöglicht. Durch die Speicherung von Wärme wird es möglich, das Öl auch nach längerem Stillstand wieder zu zünden. Wird die Lokomotive aus dem kalten Zustand angeheizt, muss für die Zerstäubung des Öls Fremddampf (z.B. Von einer anderen Lokomotive) zur Verfügung stehen. Der Brenner muss dann in der Regel mittels Lunte über das Feuerloch gezündet werden.

Da die Ölfeuerung im Gegensatz zur Rostfeuerung auch ohne ständigen Eingriff des Heizers laufen kann, gelten hierfür einige gesonderte Bestimmungen. Folgende Bedingungen müssen für den Betrieb eine Ölfeuerung gewährleistet sein:

Position der / des Brenner(s)	Der bzw. die Brenner müssen in der Feuerbüchse so positioniert sein, dass es auf keinen Fall zu einer unzulässigen Erwärmung der Feuerbüchswandungen kommen kann.
Überwachung der Flamme	Die Flamme des / der Brenner muss soweit überwacht werden, dass nie Brennstoff in die Feuerbüchse eintreten kann, wenn kein Brenner in Funktion ist. Die Flamme darf erst wieder gezündet werden können, wenn sichergestellt ist, dass sich kein bereits in die Feuerbüchse eingetretener Brennstoff entzünden kann.
Absperrung der Brennstoffzuleitung	Sobald die Flamme des Brenners erlischt (ob gewollt oder nicht) muss die Brennstoffzufuhr umgehend abgesperrt werden. Dies sollte idealerweise mittels Schnellschlussventil geschehen.
Zündung des Brenners	Damit sich keine unzulässige Ansammlung von Öl in der Feuerbüchse bilden kann, ist diese vor jedem Zündversuch immer ausreichend zu belüften.

3.3 Brennstoffe

3.3.1 Steinkohle

Emissionen

Einen wesentlichen Einfluss auf die Schadstoffemissionen hat die Kohlequalität. Dies betrifft sowohl gasförmige Emissionen (insbesondere Schwefeldioxid SO₂ und Kohlenwasserstoffe C_nH_m = Qualm) als auch Grus- und Russemissionen sowie den Asche- und Löscheanfall (Lösche = Flugkoks).

Der Verband Deutscher Museums- und Touristikbahnen hat Spezifikationen für umweltfreundliche Dampflokomotivkohle bei Handfeuerung erarbeitet.

Kohlenart	Fettkohle
Flüchtige Bestandteile (bezogen auf wasser- und aschefreie Substanz)	19 – 28 %
Stückgröße (bei Handfeuerung in Abhängigkeit von der Rostfläche)	Knabbeln (80 – 120/150 mm) Nuss I (50 – 80 mm)
Wasser (bezogen auf Rohkohle)	≤ 5 %
Asche (bezogen auf Rohkohle)	≤ 6 %
Schwefel (Gesamtschwefel) Verbrennlicher Schwefel pro MJ Heizwert * (bezogen auf wasserfreie Substanz)	≤ 1 % ≤ 0,20 g/MJ * ¹
Unterer Heizwert H _u (bezogen auf Rohkohle)	≥ 28 MJ/kg
Schmelzpunkt der Asche (Reduktionsatmosphäre, Halbkugelpunkt)	≥ 1300 °C
Grus-Anteil	so gering wie möglich
Weitere Parameter:	
Chlor ** (bezogen auf wasserfreie Substanz)	≤ 0,18 % **
Quecksilber (Siedepunkt = 357 °C) (bezogen auf wasserfreie Substanz)	≤ 0,2 mg/kg
Cadmium (Siedepunkt = 767 °C) (bezogen auf wasserfreie Substanz)	≤ 0,6 mg/kg

Tabelle 1: Spezifikationen für umweltfreundliche Dampflokotivkohle (Masse-%).

Qualm lässt sich umso besser vermeiden, je geringer der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen in der Kohle ist. Diesbezüglich liegt die walisische Kohle an der unteren Grenze dessen, was sich in einer gewöhnlichen Dampflokomotive noch verfeuern lässt. Auch der Chlorgehalt ist geringer. Der Ascheschmelzpunkt ist sehr hoch (1420 °C). Der Verbrauch ist potentiell geringer als bei der oberschlesischen Kohle. Dafür ist der Schwefelgehalt deutlich höher, und die Kohle zerbröselt leicht.

Neben gasförmigen Schadstoffen gibt es noch Partikelemissionen: Grus, Lösche und Russ. Die Russpartikel sind aber nicht dem in letzter Zeit viel diskutierte Feinstaub (PM10) zuzurechnen. Alle aus Dampflokomotiven stammenden Partikel sind grösser als 30 µm. Gesundheitsgefährdend sind die Partikel jedoch erst, wenn sie kleiner als 15 µm sind, da grössere Partikel von den Schleimhäuten absorbiert werden und dann ausgeschneuzt werden können. Stückkohlegefeuerte Dampflokomotiven emittieren keinen Feinstaub!

Unabhängig von der verwendeten Kohle hängt die Qualmbildung entscheidend von der Fähigkeit und Bereitschaft des Heizers zur sorgfältigen Feuerführung ab. Gerade unter den Bedingungen des Nebenbahnbetriebes mit häufigen Halten und Langsamfahrstellen ist ein flaches, gut durchgebranntes und trotzdem geschlossenes Feuerbett nötig. Die Beschickung muss vorausschauend, regelmässig und mit kleinen Mengen bei angemessener Luftzufuhr erfolgen.

3.3.2 Heizöl extraleicht (HEL)

Heizöl extraleicht ist eine Mischung aus Kerosin, verschiedenen Gasölfractionen und diversen Additiven. Dabei wird Heizöl extraleicht spezifisch für den vorgesehenen Verwendungszweck zusammengemischt. Auf Grund unterschiedlicher Rohölqualitäten der Komponenten muss unter Umständen jede Charge mit einem unterschiedlichen Mischungsverhältnis hergestellt werden. Dieselmotortreibstoffe und Jet fuel stehen wegen der ähnlichen Zusammensetzung in direkter Konkurrenz zum Heizöl extraleicht. Der Heizwert von Heizöl extraleicht beträgt $36,0 \text{ MJ/l} = 42,6 \text{ MJ/kg}$ (bei $0,845 \text{ kg/l}$) entspricht $10 \text{ kWh/l} = 11,8 \text{ kWh/kg}$

3.3.3 Schweröl (Heizöl extra schwer, Bunkeröl)

Schweröl ist ein Rückstandsprodukt aus der Erdölverarbeitung. Es handelt sich dabei um die nicht verdampfenden Teile eines erdölverarbeitenden Prozesses. Die Rückstände haben eine sehr hohe Viskosität ($300 \text{ bis } 30.000 \text{ mm}^2/\text{s}$ bei 100°C). Bei Zimmertemperatur (20°C) weist Schweröl eine Dichte von bis 1.010 kg/dm^3 auf und ist somit schon bei 15°C schwerer als Wasser. Um Schweröl pumpfähig zu machen bzw. zu halten, muss es auf $40 \text{ bis } 50^\circ\text{C}$ erwärmt werden. Für den Kesselbetrieb einer Dampflok muss es auf $130 \text{ bis } 140^\circ\text{C}$ aufgeheizt werden bevor es den Brennerdüsen zugeführt werden kann. Bei diesen Temperaturen sinkt die Viskosität auf $8 \text{ bis } 15 \text{ mm}^2/\text{s}$. Aus diesem Grund muss das Schweröl vor und während dem Anheizen der Dampflok mittels Fremddampf (meist aus stationären Dampferzeugern, Heizwagen oder anderen Dampflok) erwärmt werden.

3.3.4 Brennholz

Zum Feuern eines Dampflokessels kann auch Brennholz zum Einsatz kommen. Der Heizwert von Holz hängt aber sehr von dessen Wassergehalt ab. Der geringere Anteil an trockener Masse bei feuchtem Holz beeinflusst den Heizwert jedoch mehr, als die zunehmende Verdampfungswärme des Wassers.

Auf jeden Fall ist der Heizwert von Holz deutlich geringer, als derjenige von Steinkohle oder Heizöl.

Holzart lufttrocken	Heizwert (in kWh/kg)	Rohdichte (in kg/dm ³)
Buche, Esche	4,2	0,74
Eiche	4,2	0,69
Birke	4,2	0,68
Lärche	4,3	0,58
Kiefer	4,3	0,51
Fichte	4,3	0,44
Heizöl	12	0,84
Kohle	7,8–9,8	0,6–1,9

Die Verbrennung von Holz erfolgt in zwei Stufen. In der ersten Stufe wird das Holz vergast. In der zweiten Stufe erfolgt anschliessend die Oxidation der Gase und der Holzkohle. Der bei der Verbrennung des Holzes entstehende Feinstaub gilt aber inzwischen neben dem geringeren Heizwert als der zweite grosse Nachteil dieses Brennstoffes. Brennholz als schnell nachwachsender Rohstoff hat den Vorteil, dass der in CO_2 umgesetzte Kohlenstoff viel schneller während des Wachstums des Baumes aufgenommen wurde, als dies bei den fossilen Brennstoffen (Öl, Erdgas, Kohle) der Fall ist.

Beim Betrieb eines Dampflokessels mit Brennholz ist dem Funkenflug speziell Beachtung zu schenken, da brennende Holzstücke viel eher vom Luftzug mitgerissen werden, als dies bei der Steinkohle der Fall wäre.

3.4 Physikalische Grundlagen

3.4.1 Die Entstehung von Wasserdampf

Bei einem Umgebungsdruck (Meereshöhe) von 1.013 bar (101.325kPa) siedet Wasser bei 100°C. Wird dem Wasser weitere Energie zugeführt, verdampft dieses ohne weiteren Temperaturanstieg, Aus 1 Liter Wasser entstehen so 1673 Liter Wasserdampf. Dafür muss eine Energiezufuhr von 2257kJ sichergestellt sein.

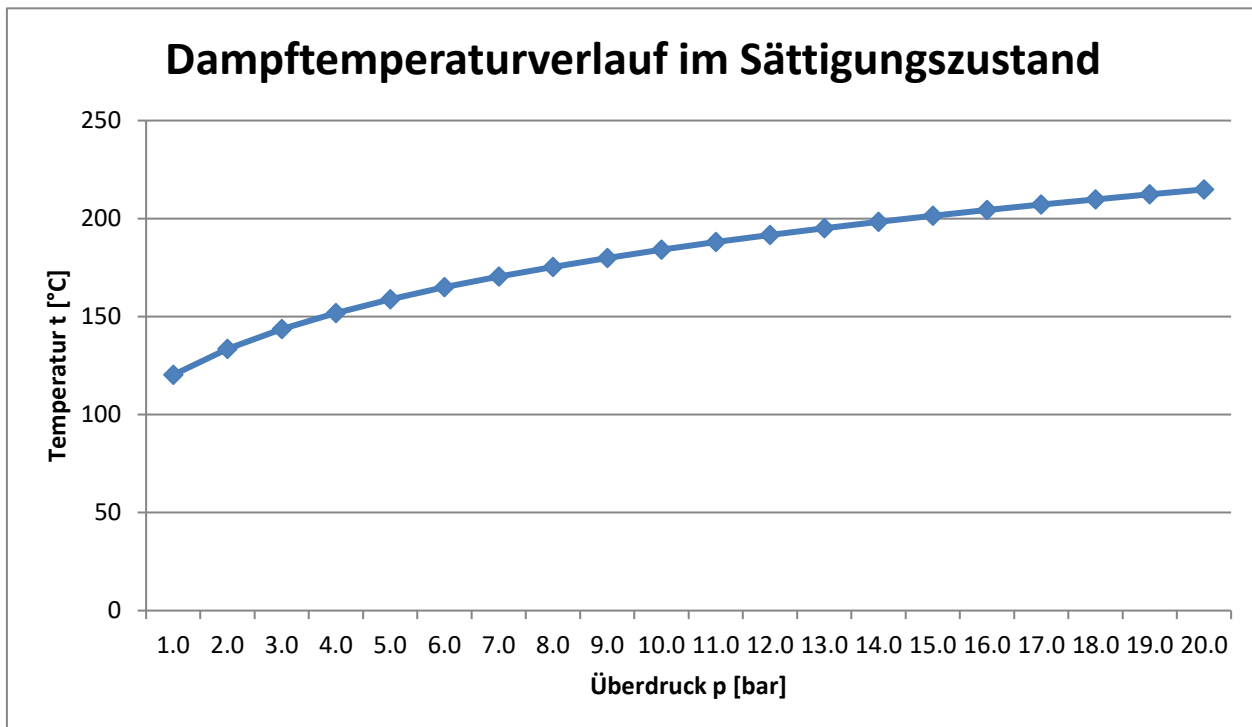
Die innere Energie des Wassers wird durch die zugeführte Energie um 2088kJ. Dabei kommt es gegenüber dem Umgebungsdruck zu einer Volumenänderungsarbeit W .

$$\begin{aligned} W &= p \cdot \Delta V = 101,325 \text{ kPa} \cdot 1,672 \text{ m}^3 \\ &= 169,41 \text{ kNm} = 169,41 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Solange das Gefäß, in dem sich der Dampf bildet, nicht geschlossen ist, wird die Bildung von Dampf zu keinem Druckanstieg führen. Sobald der Dampf in einem Raum eingeschlossen wird, bildet sich zunächst nur so viel Dampf, bis der Raum komplett ausgefüllt ist. Wenn noch mehr Wasser verdampfen soll, müssen die Dampfteilchen zusammengedrückt werden, was zu einem steigenden Energiebedarf und somit mit einem Temperaturanstieg führt. Erst ab diesem Moment führt die Bildung von Dampf zu einem Anstieg des Druckes. Die Faktoren Druck, Temperatur und Rauminhalt hängen somit direkt zusammen.

Unter gleichbleibendem Rauminhalt werden sich im Sättigungszustand daher stets folgende Bedingungen einstellen:

Überdruck p [bar]	Temperatur t [°C]		Überdruck p [bar]	Temperatur t [°C]
1.0	120.23		11.0	187.96
2.0	133.54		12.0	191.61
3.0	143.62		13.0	195.04
4.0	151.84		14.0	198.29
5.0	158.84		15.0	201.37
6.0	164.96		16.0	204.31
7.0	170.41		17.0	207.11
8.0	175.36		18.0	209.80
9.0	179.88		19.0	212.37
10.0	184.07		20.0	214.85



3.4.2 Nassdampf

Unter Wasserdampf versteht man meist die sichtbaren Dampfschwaden von kondensierendem Wasser. Dabei enthält der Dampf im Kessel bis zu 20% Wasser in Form von Tröpfchen. Diese Tröpfchen sind der Grund warum dieser als Nassdampf bezeichnete Dampf sichtbar ist. Der Nassdampf gibt seine Wärme sehr leicht an die kälteren Wandungen des Kessels ab, wodurch der Gehalt an kondensiertem Wasser noch mehr gesteigert wird. Dies führt zu einer Reduktion des Wirkungsgrades des Kessels.

3.4.3 Überhitzer Dampf

Gasförmiger oder überhitzter Wasserdampf ist farblos und eigentlich unsichtbar, wie die meisten Gase. Heissdampf entsteht, wenn der Nassdampf nach dem Verlassen des Kessels in einem Überhitzer unter Ausnutzung der heißen Rauchgase weiter erhitzt und gleichzeitig getrocknet wird. Dabei verliert der Dampf seine guten Wärmeleiteigenschaften und gibt deshalb nicht mehr so viel Wärme an die Kesselwandungen ab. Dies führt gegenüber einer Nassdampflok zu einer Einsparung von bis zu 25% Wasser und ca. 15% Brennstoff unter der Voraussetzung, dass der Überhitzer stets von genügend heißen Rauchgasen umströmt wird. Eine Heissdampflok entwickelt somit ihre Vorteile erst dann, wenn genügend Luftdurchsatz durch den Kessel erreicht wird.

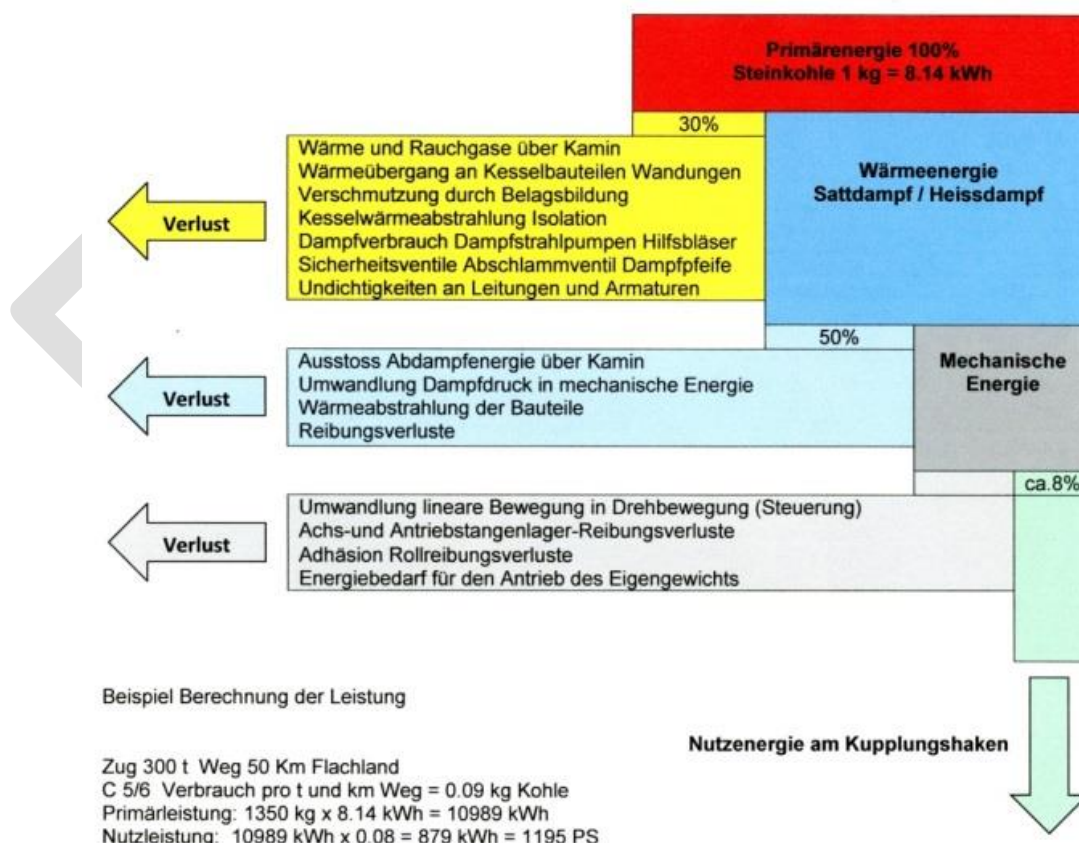
3.5 Wirkungsgrad von Dampflokkessel

Die Nennleistung der Dampflokkessel ist hauptsächlich von der Grösse des Kessels, der Zahl und den Abmessungen der Zylinder sowie vom Dampfdruck abhängig.

Die Zwillinglokkessel besitzen zwei mit Frischdampf parallel arbeitende Zylinder. Diese Bauart wird für Lokomotiven kleiner und mittlerer Leistung verwendet.

Grössere Lokomotiven sind als Vierzylinderverbundlokkessel gebaut. Der Frischdampf wird in je zwei hintereinander geschalteten Zylindern (Stufen) entspannt. Kleinere Abmessungen der Zylinder, ein ruhigerer Lauf und ein etwas besserer Wirkungsgrad sind die Vorteile dieser Bauart.

Der Wirkungsgrad der Kesselanlage hängt von deren Konstruktion, der Heizflächenbelastung und der Qualität des Brennstoffes ab. Zusätzlich beeinflussen aber auch Kesselzustand und Feuerungsführung des Heizers den Wirkungsgrad. Je schlechter Brennstoff und Verbrennung sind, desto weniger Leistung kann dem Kessel bei gleicher Brennstoffmenge entzogen werden. Der Kesselwirkungsgrad beträgt bei Steinkohlefeuerung etwas 70%. Bei der Verwendung von Brennstoffen mit weniger Heizwert (z.B. Holz, Braunkohle, etc) muss eine entsprechend grössere Menge verfeuert werden, was den Kesselwirkungsgrad negativ beeinflusst. Ein optimaler Kesselwirkungsgrad wird erreicht, wenn der Kessel sauber und frei von Kesselsteinbelag ist. Sowohl Russ als auch Kesselstein zeichnen sich durch eine sehr schlechte Wärmeleitfähigkeit aus. Russ weist eine Wärmeleitfähigkeit λ von 0.03 bis 0.06 W/(m*K) auf. Bei Kesselstein ist mit λ von 0.07 bis 2 W/(m*K) zu rechnen. Die Werte für Stahl (λ von 56 W/(m*K)) und Kupfer (λ von bis zu 300 W/(m*K)) liegen deutlich höher. Die Verluste des Kessels hängen somit direkt mit dessen Pflege zusammen.



4. Drucktragende Bauteile

4.1 Montage des Kessels auf der Lok

Der betriebsbereite Dampflokomotivkessel dehnt sich je nach Kesselgrösse um 1–5 cm in der Länge aus. Diese Längenausdehnung gegenüber dem Lokomotivrahmen muss ausgeglichen werden. Deshalb ist der gesamte Lokomotivkessel nur unterhalb der Rauchkammer auf dem Rauchkammerträger fest mit dem Lokomotivrahmen verbunden. Der restliche Kessel lagert auf Pendelblechen, die der Längsausdehnung folgen können. Am Feuerbüchsenende wird der Kessel mit Schlingerkeilen am Rahmen gesichert. Das sind formschlüssige, bewegliche Klemmstücke, die vom Bediener des Kessels beim Anheizen oder beim Ausserbetriebsetzen des Kessels gelockert oder während der Fahrt festgeklemmt werden müssen.

4.2 Langkesselmantel

Der vordere zylindrische Teil des Kessels wird als Langkessel bezeichnet. Der Kesselmantel besteht je nach Grösse des Kessels aus einem oder mehreren Schüssen. Die Blechdicke richtet sich dabei nach dem maximal zulässigen Kesseldruck (PS) und der Festigkeit des verwendeten Werkstoffes. Bei genieteten Kesseln sind die Schüsse fernrohrartig ineinandergesteckt und so bemessen, dass der Innendurchmesser des einen dem Aussendurchmesser des benachbarten entspricht. Die Schüsse sind dabei in der Regel mit einer doppelten Zickzacknietung untereinander und mit dem Stehkessel verbunden. Die Längsnähte sind dagegen meistens mit einer Doppellaschennietung verbunden. Die Längsnähte sind aus Korrosionsgründen meist im Dampfraum angeordnet und gegenseitig versetzt. Die Rauchkammerrohrwand bildet den vorderen Abschluss des Langkessels. Geschweisste Kessel weisen Langkesselschüsse auf, die alle denselben Aussendurchmesser besitzen. Die Schüsse werden untereinander und mit dem Stehkessel mittels Stupfnähten verschweisst. Die Längsnähte sind ebenfalls mittels Stupfnäht verschweisst und wie bei den genieteten Kesseln gegenseitig versetzt.

Bezüglich Abnutzung und Korrosion ist der Langkesselmantel primär in seiner Sohle und bei den Kesseln ohne Speisedom unterhalb der Öffnung zum Speisekopf gefährdet. Die Korrosion führt in der Sohle in den meisten Fällen zu Gruben. Bei den Öffnungen der Speiseköpfe bewirkt das verhältnismässig kalte strömende Wasser Materialabtrag. Neue und weiterwachsende Korrosionsstellen sind nach dem Auswaschen des Kessels in den meisten Fällen an deren Rostspuren zu erkennen.

4.3 Kumpelteile des Stehkessels

Der Stehkessel besteht aus einem Mantelblech, der Stehkesselrückwand und der Stiefelknechtplatte. Bei genieteten Kesseln sind diese Teile als gekümpelte Bleche ausgeführt. Bei geschweissten Kesseln werden die gebogenen Abschnitte auch als einzelne Stücke ausgeführt. In diesem Fall sind die Wände als ungekümpelte gerade Bleche ausgeführt. Der Stehkesselmantel wird aus einem Stück angefertigt, ist im Bereich der Decke meist halbkreisförmig gebogen und stellt eine direkte Verlängerung des Langkessels dar. Bei älteren Lokomotiven wurden auch breite, ebene Feuerbüchsendecken nach Bauart Belpaire ausgeführt. Diese Konstruktion führt auch zu einer flachen Stehkesseldecke und somit zu einer Vergrößerung des Dampfraumes.

Um einen guten Kraftfluss zu gewährleisten und Rissbildung an den Kanten zu vermeiden, sind die Ränder der der Rückwand nach vorne gekümpelt. Die Vorderwand ist im unteren Teil, wo sie mit den Seitenwänden verbunden ist, nach hinten gekümpelt. Der Hals der Vorderwand wird nach vorne gekümpelt, um einen guten Übergang zum zylindrischen Langkessel zu schaffen. In der Form von gekümpelten Blechen ist die Vorderwand somit ein schwierig herzustellendes Bauteil und wird wegen ihrer Form auch als Stiefelknechtplatte bezeichnet. Auf Grund der Konstruktion der Dampflokessel muss der Wandstärke des Stehkessels entsprechend Aufmerksamkeit geschenkt werden. Da Bleche für die Stehbolzen und Anker viele Löcher aufweisen, muss die rechnerisch minimale Wandstärke stets gegeben sein. Andernfalls treten Verwölbungen auf, welche bis zum Ausreißen der Bolzen und Anker führen können.

4.4 Bodenring

Der Bodenring stellt der untere Abschluss der Stehkessels dar und ist gleichzeitig eine starre Verbindung von Stehkesselmantel, bzw. Vorder- und Rückwand mit der Feuerbüchse. Bei älteren Kesseln ist der Bodenring meist als quadratisch geschmiedeter Ring ausgeführt. Bei neueren Kesseln ist der Bodenring aus einzelnen Blechstücken zusammengesetzt. Dabei kommen sowohl flache Blechabschnitte, als auch U-Profile vor. Gewisse ältere geschweisste Kessel weisen dabei das Problem auf, dass mangels kompletter Durchschweissung in einer der beiden wasserseitigen Ecken Spaltkorrosion auftritt. Bei Reparaturen ist konsequent auf komplette Durchschweissung zu achten, wenn nicht alle Nähte ausgeführt werden können. Der Bodenring ist insofern von Korrosion besonders betroffen, als dass sich der Schlamm und Kesselstein an diesem Punkt des Kessels absetzen kann. Nach dem Leeren des Kessels sollte der Bodenring möglichst bald von feuchten Ablagerungen befreit werden, damit keine zusätzlichen Korrosionseffekte auftreten können. Beim Auswaschen muss dafür gesorgt werden, dass möglichst alle Ablagerungen aus dem Bereich des Bodenringes entfernt werden, damit keine lokale Überhitzung der Teile auftreten kann.

4.5 Stehbolzen

Die Stehbolzen versteifen Feuerbüchs- und Stehkesselwände gegenseitig. Sie verhindern eine Durchbiegung der Bleche. Je nach Dicke der Bleche und Belastung durch den Kesseldruck muss der Abstand der Stehbolzen zueinander gewählt werden. Die Stehbolzen weisen eine Längsbohrung auf, durch die im Fall eines Risses oder Bruchs Wasser in die Feuerbüchse eintreten kann. Das austretende Wasser zeigt somit leicht erkennbar einen Schaden an. In geringem Mass sind beschädigte Stehbolzen zulässig. Hierzu ist das Kapitel 7. Zulässigkeitsgrenzen zu beachten.

4.6 Rohre

Im Innern des Langkessels sind zahlreiche Rohre in Längsrichtung montiert. Diese haben die Aufgabe, die Wärme der Rauchgase an das Kesselwasser abzugeben. Zusätzlich werden mit den Rohren die beiden Rohrwände versteift. Die Anzahl und der Durchmesser der Rohre ergeben sich aus der geforderten Berührungsheizfläche. Der Durchmesser der Rohre richtet sich nach dem Abstand der Rohrwände. Je länger die Rohre sind, desto grösser muss der Durchmesser sein, damit sich die Rohre nicht durchbiegen.

4.7 Rauchrohre

Bei Heissdampflokomotiven unterscheidet man zwischen den engen Siederohren und den Rauchrohren, die einen wesentlich grösseren Durchmesser haben. Im Innern der Rauchrohre sind die Überhitzerlemente untergebracht.

4.8 Deckenanker

Die Deckenanker dienen als Versteifung der Feuerbüchsecke und sind am unteren Ende mit dieser verschraubt oder verschweisst. Am oberen Ende sind die Anker mit dem Stehkesselmantelblech verschraubt oder verschweisst. Die Deckenanker verhindern, dass sich die Feuerbüchse bedingt durch die Wirkung von Temperatur und Druck nach unten durchbiegt. Risse in den Deckenankern sind verhältnismässig selten. Ist ein Deckenanker gerissen, muss nachgewiesen werden, dass die restlichen Anker die Belastung noch aushalten können. Zwei nebeneinanderliegende, gerissene Deckenanker sind nicht zulässig. Bei gerissenen Deckenankern muss die Kontrollbohrung vernagelt und die Feuerbüchsecke in der Umgebung auf Risse untersucht werden.

Deckenanker sind besonders kritisch zu betrachten bei erhöhtem Anfall von Kesselstein. Meistens bilden sich um die Ansätze der Anker direkt auf der Feuerbüchsecke die grössten Ansammlungen von Kesselstein. In diesem Fall ist es nicht möglich zu beurteilen, ob die Anker in diesem Bereich noch einen genügenden Querschnitt aufweisen. Lässt sich der Kesselstein nicht mittels Auswaschen entfernen, muss zwingend versucht werden diesen mittels anderen Mitteln abzutragen.

4.9 Queranker

Queranker sind zusätzliche Versteifungen des Stehkessels und liegen in Querrichtung zu den Deckenankern. Sie sind an beiden Enden mit dem Stehkesselmantel verschraubt oder verschweisst. Die Queranker wirken der Belastung entgegen, welche durch die Befestigung der Feuerbüchse über die Stehbolzen und den Bodenring auf den Stehkessel einwirken. Die tatsächliche Belastung der Queranker lässt sich statisch nicht bestimmen. Die Dimensionierung der Anker und ihre Anordnung ergeben sich daher in den meisten Fällen aus den Erfahrungswerten der Kesselhersteller. Beim Bruch von Stehbolzen wirken die Deckenanker der höheren Belastung der Stehkesselwände entgegen.

Gerissene Queranker sind nicht zulässig. Ist ein Queranker gerissen, so muss die Lok abgestellt werden und der Queranker muss durch einen neuen ersetzt werden. Es ist nicht zulässig, gerissene Queranker zu schweissen.

4.10 Feuerbüchrohrwand

Die Feuerbüchrohrwand bildet den hinteren Abschluss des Langkessels. Je nach Material der Feuerbüchse sind in ihr die Siede- und Rauchrohre eingewalzt (Rohrwand aus Kupfer oder Stahl) oder eingeschweisst (Rohrwand aus Stahl).

Wird ein Dampfkessel mit neuen Rohren ausgerüstet, so muss die Rohrwand mittels zerstörungsfreier Prüfung auf Stegrisse hin untersucht werden. Stegrisse vermindern die Festigkeit der Rohrwand stark und müssen in jedem Fall repariert werden.

Werden die Rohre ersetzt, ist zu prüfen ob die Stege noch eine genügende Breite aufweisen. Bei Feuerbüchrohrwänden aus Kupfer lassen sich die Stegbreiten mittels Einschrauben von Gewindebuchsen in die Löcher wieder vergrössern. Das Einwalzen der Rohre führt zu einem Kraft- und Formschluss der Buchsen mit der Rohrwand.

Beim Einwalzen der Rohre in eine Feuerbüchrohrwand aus Kupfer ist darauf zu achten, dass die Flächenpressung nicht zu gross wird und dass alle Rohre mit derselben Kraft eingewalzt werden. Somit soll verhindert werden, dass sich lokale Spannungskonzentrationen bilden, welche bei der Erwärmung der Rohrwand zu undichten Rohren führen.

4.11 Rauchkammerrohrwand

Die Rauchkammerrohrwand bildet den vorderen Abschluss des Langkessels. Das Material der Rauchkammerrohrwand ist stets Stahl. In ihr sind die Siede- und Rauchrohre eingewalzt oder eingeschweisst. Der Rohrwand kommt daher eine wichtige tragende Rolle zu. Neben den Löchern für die Rohre besitzt die Rauchkammerrohrwand Waschluker zur Kontrolle bzw. zum Auswaschen des Kessels. Die Luken werden mit einem Gewindebolzen oder einem Lukenpilz (von ihnen vorgelegter Deckel) verschlossen. Zur Vermeidung von Korrosion ist unbedingt darauf zu achten, dass die Luken im Betrieb dicht verschlossen sind. Aus den Luken austretendes Wasser hat zusammen mit dem angefallenen Russ in der Rauchkammer eine stark korrosive Wirkung. Besonders gefährdet sind die Nietköpfe und die Klemme der Rohrwand im unteren Bereich.

Wird ein Dampflokessel mit neuen Rohren ausgerüstet, so muss die Rohrwand mittels zerstörungsfreier Prüfung auf Stegrisse hin untersucht werden. Stegrisse vermindern die Festigkeit der Rohrwand stark und müssen in jedem Fall repariert werden.

4.12 Rauchkammer

Die Rauchkammer bildet die vordere Verlängerung des Langkessels. In der Rauchkammer befindet sich das Blasrohr, welches den Abdampf aus den Zylindern in den Kamin führt. Der Sog des Abdampfes führt zu einem Vakuum in der Rauchkammer, welches zu einem Wärmestrom aus der Feuerbüchse führt. Es ist daher absolut notwendig, dass die Rauchkammer, insbesondere deren Türe, dicht ist. Ansonsten wird die Bildung des Vakuums und somit die Feueranfachung gestört.

Die Rauchkammer hat auch eine statisch tragende Funktion. Da sich der Kessel im Betrieb auf Grund der Materialausdehnung mehrere Zentimeter ausdehnt, kann er nur an einem Ende befestigt sein. Die Aufgabe der Befestigung übernimmt die Rauchkammer. Über ihre Auflage ist der Kessel am vorderen Ende fest mit dem Lokrahmen verbunden. Es ist daher zwingend notwendig, dass das Mantelblech der Rauchkammer die Kräfte aushalten kann. Dünnwandige Mantelbleche sind vor allem im unteren Bereich nicht zulässig. Lokomotiven mit Korrosionslöchern im Mantelblech oder nachweislich dünnwandigem Mantelblech dürfen daher nicht mehr betrieben werden.

4.13 Dampfdom

Auf dem Scheitel des Langkessels sitzt der Dampfentnahmedom. Der Dampfdom enthält im Allgemeinen den Regler. Dabei hat er den Zweck, möglichst trockenen Dampf einer hoch über dem Wasserspiegel gelegenen Stelle zu entnehmen, um ihn dann den Dampfmaschinen oder den Hilfseinrichtungen zuzuführen. Jeder Dom besteht aus einem auf dem Langkessel aufgenieteten oder angeschweissten Unterteil und einem aufgeschraubten Oberteil oder Deckel. In den meisten Fällen lässt die Öffnungsweite des Domes den Einstieg in den Kessel für Arbeiten und Inspektionen zu. Hierfür muss je nach Konstruktion und Grösse des Domes der Regler ausgebaut werden.

4.14 Schmelzpfropfen (Joggeli)

Die Feuerbüchse muss im Betrieb ständig vom Wasser umspült sein. Um die Feuerbüchse bei Wassermangel gegen Ausglühen zu schützen, sind in deren Decke ein oder mehrere Schmelzpfropfen (auch Joggeli genannt) eingeschraubt. Die Anzahl und Position der Schmelzpfropfen wurde bzw. wird bei Neubauten vom Hersteller definiert.

Die Schmelzpfropfen sind von der Feuerseite her eingeschraubt und sind in Längsrichtung durchbohrt. Die Bohrung ist mit Blei oder einem Metall mit vergleichbaren Eigenschaften ausgegossen. Reicht bei zu niedrigem Wasserstand die Kühlung nicht mehr aus, so schmilzt das Ausguss. Das in die Feuerbüchse einströmende Wasser-Dampfgemisch dämpft oder löscht das Feuer.

Wird das Feuer nicht durch das Wasser-Dampfgemisch gelöscht, so muss dieses unter allen Umständen aus der Feuerbüchse entfernt werden. Vorteilhafterweise geschieht dies über einen Kipprost. Wo kein solcher verbaut ist, bzw. mit sinnvollem Aufwand nachrüsten lässt, muss das Feuer durch Entfernung von Roststäben in den Aschekasten gekippt werden.

Werden die Schmelzpfropfen nicht genügend tief eingeschraubt, so dass der Sechs- oder Vierkant mehr als 5mm von der Decke absteht, dann liegt der untere Teil des Ausgusses unmittelbar im Feuerraum und wird nicht mehr gekühlt. Somit schmilzt der Ausguss von unten ab. Durch elektrolytische Reaktion wird häufig der obere wasserseitige Teil des Ausgusses abgezehrt. Sind die Schwächungen von unten und oben zu stark, so kann dies zu einem Ausschmelzen bei normalem Wasserstand führen.

Um vorzeitiges Ausschmelzen zu verhindern, sind die Ausgüsse der Schmelzpfropfen bei jedem Auswaschen feuer- und wasserseitig zu kontrollieren. Der feuerseitige Abbrand des Schmelzpfropfens ist dabei jährlich zu messen und festzuhalten. Ist der Abbrand zu gross, muss der Pfropfen ausgebaut und neu ausgegossen werden.

4.15 Unterschied geschweisster und genieteter Kessel

Während an den Anfängen vom Dampflokesselbau die Kessel genietet wurden, wurde dieses Verfahren ab den 1930er Jahren nach und nach durch die Schweißtechnik abgelöst. Heute werden sämtlichen neuen Dampflokessel in geschweisster Ausführung gebaut.

Da auch zukünftig ältere genietete Kessel in Verwendung sein werden, bzw. instandgesetzt werden, sind nachfolgend die wichtigsten Unterschiede in Konstruktion und Unterhalt aufgeführt.

Genieteter Kessel	Geschweisster Kessel
Verbindung der Teile	
<p>Die einzelnen Teile werden zusammengenietet. Hierfür muss eine genügende Anzahl Nieten vorgesehen werden. Jedes Nietloch führt zu einer Schwächung der Bleche. Daher müssen die Bleche genügend dick dimensioniert sein.</p> <p>Damit die einzelnen Bauteile zusammengefügt werden können, müssen unter Umständen Verbindungslaschen und -ringe eingefügt werden. Neben zusätzlichem Gewicht bringen diese Teile lokale Materialanhäufungen und somit Wärmestauungen mit sich. Aus diesem Grund sind genietete Kessel deutlich empfindlicher auf Wärmespannungen als geschweisste Kessel.</p>	<p>Die geschweissten Kessel werden ohne speziell anzufertigende Verbindungsteile wie Laschen und Niete zusammengefügt. Durch die Einsparung dieser Teile und der entsprechenden Dimensionierung der Bleche kann die Konstruktionsmasse des Kessels um ca. 10% gesenkt werden.</p> <p>Da auf die Verbindungselemente verzichtet werden kann, welche bei genieteten Kesseln notwendig sind, sind geschweisste Kessel weniger empfindlich auf Wärmespannungen. Geschweisste Kessel lassen sich deutlich einfacher und schneller fertigen und es kann auf verschiedene lärmige Arbeiten wie Niete und Stemmen verzichtet werden.</p>
Stehbolzen	
<p>Bei genieteten Kesseln sind die Stehbolzen in jedem Fall nur in die Feuerbüchse- und Stehkesselwand eingeschraubt und verstemmt. Je nach Materialpaarung (z.B. Wand: Kupfer – Stehbolzen: Stahl) können bei schnellen Abkühl- bzw. Erwärmungsgeschwindigkeiten oder bei Druckproben mit kaltem Wasser auf Grund unterschiedlichen Materialausdehnung Undichtigkeiten im Gewinde entstehen. Bleiben die Undichtigkeiten im Betrieb bestehen, sind die Stehbolzen nachzustemmen.</p>	<p>Bei geschweissten Kesseln sind die Stehbolzen in der Regel eingeschweisst oder eingeschraubt und dichtgeschweisst. Starke Wärmespannungen können zu Rissen in den Schweißnähten führen. Treten Risse in den Nähten auf, so sind diese so bald wie möglich zu reparieren.</p>
Stehkessel und Feuerbüchse	
<p>Die vorderen und hinteren Wände von Stehkessel und Feuerbüchse sind als gekümpelte Bleche ausgeführt und sind zum Teil schwierig herzustellen.</p>	<p>Die Partien, welche bei genieteten Kesseln gekümpelt werden, werden bei geschweissten Kesseln als einzelne gebogene Blechabschnitte eingesetzt.</p>

Bodenring

Der Bodenring wird zwischen Stehkessel und Feuerbüchse eingietet. Da die Niete durch den Bodenring hindurchgehen, muss dieser als dickes Vierkantprofil ausgelegt sein, damit für die Nietlöcher genügend Platz bleibt.

Der Bodenring kann bei geschweissten Kesseln als U-Profil ausgeführt werden, welches an den Schenkeln mit dem Stehkessel und der Feuerbüchse verschweisst ist. Das U-Profil kann in gefräster, gekümpelter oder gewalzter Ausführung zur Anwendung kommen. Die aufwändigere Herstellung des Bodenringes führt jedoch zum Vorteil, dass dieser ein geringeres Gewicht aufweist. In der Regel wird der Bodenring zuerst an die Feuerbüchse und nach der Montage der Feuerbüchse an den Stehkessel geschweisst.

Feuerlochring

Wie der Bodenring wird auch der Feuerlochring als einzelnes Teil zwischen Stehkessel und Feuerbüchse eingietet.

Bei geschweissten Kesseln wird das Feuerloch durch je ein gekümpeltes Blechstück in der Feuerbüchsrohrwand und der Stehkesselrückwand gebildet. Auf diese Weise ist es möglich Schäden in der Nähe des Feuerloches einzuschränken und eventuelle Ausbesserungen zu erleichtern. Durch die Schweisskonstruktion kann ein grösserer Abstand zwischen Feuerbüchse und Stehkessel erreicht werden, was einen besseren Wasserumlauf und eine längere Biegelänge der Stehbolzen zur Folge hat.

Abdichten

Dichte Nähte können nur durch Verstemmen der Kanten erzielt werden. Dabei kommt es zu einer Kaltverfestigung, welche mit einer Gefügeumwandlung des Werkstoffes verbunden ist und zu Rissbildung führt. Genietete Kessel neigen nach längerem Betrieb eher zu Undichtigkeiten an den Nähten, da die Niete im Laufe der Zeit locker werden oder durch die ständigen Erschütterungen und Wärmedehnungen Kesselsteinansätze, welche sich zwischen den Blechen gebildet hatten abplatzen,

Werden die Schweissnähte fachmännisch ausgeführt, ist ein geschweisster Kessel von vorherein absolut dicht und bei sachgemäßem Betrieb unempfindlich auf Leckagen.

4.16 Überhitzer

Zur Leistungssteigerung des Dampflokessels lässt sich der Nassdampf in überhitzten Dampf verwandeln. Dabei darf dieser nicht mehr mit dem Kesselwasser in Verbindung stehen. Im Dampflokessel wird daher ein sogenannter Überhitzer zwischen Dampfregler und Zylinder montiert. In der Regel ist dieser als Schmidt'scher Rauchrohrüberhitzer ausgeführt.

4.16.1 Funktionsweise

Der Schmidt'sche Rauchrohrüberhitzer besteht aus den Überhitzerrohren und dem Dampfsammelkasten. Der Dampfsammelkasten besteht dabei aus einer Nassdampf- und einer Heissdampfkammer. Die Überhitzerrohre liegen in den Rauchrohren, welche hierfür einen grossen Innendurchmesser aufweisen und werden vom Wärmestrom auf dessen Weg von der Feuerbüchse in die Rauchkammer umströmt.

Bei den meisten Heissdampflokomotiven ist der Regler als Nassdampfregler ausgeführt und befindet sich im Dampfdom. Bei geöffnetem Regler strömt der Nassdampf durch das Reglerrohr in die Nassdampfkammer des Dampfsammelkastens. Von dort aus verteilt sich der Dampf auf die einzelnen Überhitzerelemente und wird auf seinem Weg auf eine Temperatur von 350°C bis 400°C erhitzt. Anschliessend strömt der nun überhitzte Dampf durch die Heissdampfkammer des Dampfsammelkastens und die Einströmröhre in die Schieberkästen der Zylinder.

Heissdampfregler welche direkt im Dampfsammelkasten integriert sind, haben sich wegen ihrer komplexen Konstruktion und ihrer späten Entwicklung nicht mehr durchgesetzt. Aus diesem Grund sind sie nur bei wenigen Dampflokomotiven wie der deutschen Baureihen 10 und 66 anzutreffen.

4.16.2 Vorteile

Mit einem Überhitzer lässt sich ohne Druckerhöhung eine Leistungssteigerung des Lokessels erzielen. Der Dampf beinhaltet dabei mehr Energie und es kommt zu keiner Kondensation in den Rohrleitungen. Der Kohle – und Wasserverbrauch lässt sich bei der Nutzung von überhitztem Dampf wesentlich senken.

4.16.3 Nachteile

Der überhitzte Dampf fordert entsprechend geeignete Schmiermittel für die Kolbenmaschine. Diese Schmiermittel müssen eine höhere Viskosität aufweisen, als sie bei Nassdampflokomotiven nötig wären.

Es ist zu beachten, dass Überhitzer ihre Vorteile primär dann ausspielen können, wenn ein kontinuierlicher hoher Wärmestrom um die Überhitzerelemente bei gleichzeitigem Dampfverbrauch herrscht. Im Betrieb mit vielen Halten kommt es daher zu einer geringeren Erwärmung der Elemente und somit auch zu einer deutlich geringeren Überhitzung des Dampfes.

4.16.4 Schäden am Überhitzer

Die häufigste Ursache von Undichtigkeiten am Überhitzer sind mangelhafte, schadhafte oder ausgeblasene Dichtungen zwischen den Überhitzerelementen und dem Dampfsammelkasten. Als Ursache für undichte Überhitzer kann in den meisten Fällen Überreissen von Wasser angesehen werden. Durch das im Überhitzer verdampfende Wasser entstehen hohe Drücke, durch welche die Dichtungen ausgeblasen werden. Gleichzeitig setzt sich in den Überhitzerelementen Kesselstein an. Damit staut sich die Wärme in den Wandungen und den Umkehrenden. Wenn sich dabei noch starker Flugaschenansatz an den Umkehrenden gebildet hat, besteht die Gefahr des Ausglühens. Durch starken Abbrand werden die Überhitzerelemente nach einiger Zeit dünnwandig und anfällig auf Risse.

Undichte Überhitzerelemente führen dazu, dass sich in der Rauchkammer kaum oder gar kein Vakuum mehr bilden kann. Somit wird der Druckunterschied zwischen Rauchkammer, Feuerbüchse und Aschekasten verringert oder aufgehoben. Da sich damit das Feuer nicht mehr angefacht wird, besteht die Gefahr, dass nach kurzer Zeit Dampfangel eintritt.

Die Gefahr des Ausglühens der Umkehrenden besteht auch bei längeren Gefällefahrten, bei welchen ohne Schmierdampf und gleichzeitig hohen Feuerbüchstemperaturen (Feuer nicht vorausschauend beschickt) gefahren wird.

Lokomotiven mit undichten Überhitzerelementen sind daher ausser Betrieb zu nehmen. Die Überhitzer sind vor der nächsten Fahrt instand zu stellen, blind zu flanschen oder zu ersetzen.

5. Kesselausrüstung

5.1 Kesselschilder

Jeder Dampflokkessel muss ein Fabrikschild aufweisen, auf welchem der maximal zulässige Druck (PS), der Name des Herstellers, die Fabriknummer und das Baujahr festgehalten sind. Das Kesselschild muss so montiert sein, dass es auch nach Montage der Kesselverschalung sichtbar bleibt.

5.2 Ausrüstung für die Kesselspeisung

Jeder Dampflokkessel muss zwei unabhängig voneinander wirkende Speisevorrichtungen aufweisen. Jede Speisevorrichtung muss für sich imstande sein, die erforderliche Wassermenge dem Kessel zuzuführen. Mindestens eine der Speisevorrichtungen muss auch im Stillstand der Lok funktionieren.

- Dampfstrahlpumpen (Injektoren)

Dampfstrahlpumpen zeichnen sich durch einfachen Aufbau und geringen Verschleiss aus. Im Gegensatz zu Kolbenpumpen weisen nur sehr wenige bewegliche Teile auf. Das Prinzip der Dampfstrahlpumpe ist die Düse. Ihre Arbeitsweise besteht darin, dass beim Durchströmen einer Flüssigkeit oder eines Gases durch ein Rohr mit verschiedenem Querschnitt an der verengten Stelle eine Saug- und an der erweiterten Stelle eine Druckwirkung entsteht. Durch geeignete Wahl der Düsenabmessung ist es möglich, einen höheren als den anfänglichen Druck zu erzielen. Von dieser Eigenschaft der Düsen wird bei der Kesselspeisung Gebrauch gemacht. Dabei muss mit der Dampfstrahlpumpe der Kesseldruck überwunden werden. Die Fördermenge einer Dampfstrahlpumpe kann bis zu 200l/min betragen. Die Wirkungsweise ist besser bei kaltem als bei warmem Speisewasser, da die zum Ansaugen notwendige Kondensation bei niedrigeren Wassertemperaturen stärker ist.

Es wird zwischen zwei grundsätzlich verschiedenen Funktionsweisen unterschieden

- Nicht saugende Pumpe

Das Wasser fließt der Pumpe aus dem Tender oder Wasserkasten von selbst zu. Bei tiefen Temperaturen besteht bei nicht saugenden Pumpen die Gefahr des Einfrierens, da sie tiefer als der Tenderboden und somit meist unterhalb des Führerhauses montiert sein müssen.

- Saugende Pumpe

Das Wasser muss von der Pumpe angesaugt werden.

5.2.1 Typische Störungen bei Dampfstrahlpumpen

Störung	Vorschläge zur Behebung
Wassertemperatur zu hoch Ist das Wasser über 50°C warm, wird dieses durch die Dampfstrahlpumpe nicht mehr gefördert, da es bereits in der Saugleitung verdampft	Ist das Wasser zu warm, muss der Wasservorrat im Tender ergänzt werden, um die Wassertemperatur herunterzusetzen.
Kesselrückschlagventil undicht In der Speiseleitung sammeln sich heisses Wasser und Dampf an und drücken auf das Pumpenrückschlagventil. Dabei erwärmt sich die Pumpe stark.	Kesselabsperrventil (Speisekopf) und Dampfanstellventil der Pumpe schliessen. Speiseleitung über Entwässerung oder Schlabberleitung drucklos machen. Anschliessend wenn notwendig Pumpe mit kaltem Wasser übergiessen.
Abschluss Saugleitung undicht Pumpe zieht Luft an und kann somit kein Wasser ansaugen.	Flansch der Saugleitung nachziehen. Ansonsten neue Dichtung einsetzen.
Kesselrückschlagventil hat sich festgesetzt oder aufgehängt.	Einige feste Hammerschläge auf das Ventilgehäuse geben, um das Rückschlagventil wieder zu lösen.

5.2.2 Speisewasserkolbenpumpen

Wenn Dampflok nicht mit zwei Dampfstrahlpumpen ausgerüstet sind, wird als zweite Speisevorrichtung eine Kolbenpumpe verwendet. Kommt eine Kolbenpumpe zum Einsatz muss zwingend auch ein Speisewasservorwärmer vorhanden sein. Damit werden Wärmespannungen durch Speisen von kaltem Wasser vermindert.

Die Kolbenpumpe saugt kaltes Wasser aus dem Tender oder dem Wasserkasten an und drückt dieses durch den Vorwärmer und den Speisekopf in den Kessel. Als Antrieb der Wasserpumpe kommt immer eine doppelwirkende Kolbendampfmaschine zur Anwendung. Beide Aggregate sind dabei in einer Baugruppe vereinigt.

Eine schlecht oder nicht fördernde Speisewasserkolbenpumpe hat meistens festgesetzten Dreck bzw. Kesselstein, undichte Dichtungen, defekte Kolbenringe oder defekte Ventildfedern als Ursache.

5.2.3 Speisewasservorwärmer

Zur Vermeidung von Schäden am Kessel ist darauf zu achten, dass kein kaltes Wasser in den Kessel gespeist wird. Damit dieses Problem, welches vor allem bei der Anwendung von Speisewasserkolbenpumpen auftreten würde, vermieden werden kann, werden Speisewasservorwärmer eingesetzt. Mittels Vorwärmer kann das Speisewasser durch Ausnutzung des Abdampfes erwärmt und somit auch der Wirkungsgrad der Kesselanlage gesteigert werden. Dies führt schlussendlich auch zur Einsparung von Brennstoffen. Unter günstigen Bedingungen kann das Speisewasser im Vorwärmer auf fast 100°C aufgewärmt werden.

5.2.4 Speisekopf

Als Speisekopf wird die Einmündung der Speiseleitung in den Kessel bezeichnet. Er verhindert selbsttätig den Abfluss von Dampf oder Wasser aus dem Kessel und muss von Hand geschlossen werden können. Die Speiseköpfe sind meistens als vereinigte Rückschlag- und Absperrventile ausgeführt. In Einzelfällen, vor allem bei der Anwendung von Industriearmaturen, können Rückschlag- und Absperrventil separat ausgeführt sein. Solange die Kesselspeisung in Betrieb ist, wird das Rückschlagventil durch den Druck aufgestossen. Sobald nicht mehr gespeist wird oder die Speiseleitung undicht wird, wird das Rückschlagventil vom Druck im Kessel auf seinen Sitz gepresst. Das Rückschlagventil ist immer zwischen der Speisevorrichtung und dem Absperrventil angeordnet, damit es im Schadfalle auch bei unter Druck stehendem Kessel repariert, gereinigt oder ausgetauscht werden kann.

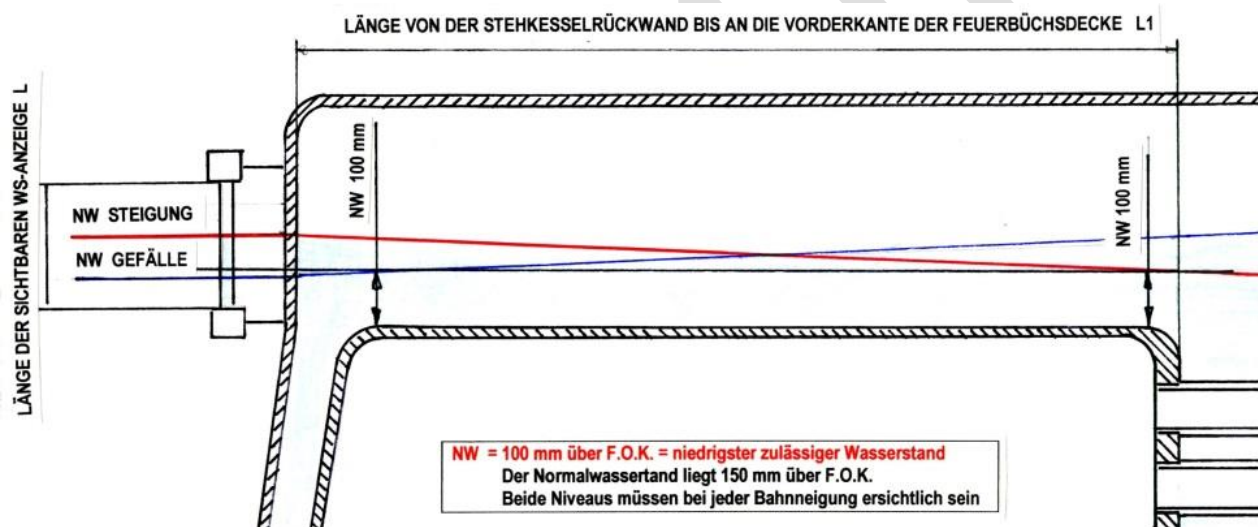
5.3 Wasserstandsanzeiger

Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung
zu Artikel 58, AB 58.2, Ausgabe 01.07.2016
Anforderungen an Dampffahrzeuge

Der Lokomotivkessel muss zwei voneinander unabhängige Wasserstandsanzeiger aufweisen. Einer der beiden muss zwingend eine Wasserstandsglas sein. Wasserstandsgläser müssen mit einer soliden, die Beobachtung des Wasserstandes nicht hindernder Schutzvorrichtung ausgerüstet sein.

Jeder Glas-Wasserstandsanzeiger muss eine Abschlussvorrichtungen aufweisen, welche bei Glasbruch gefahrlos betätigt werden können oder selbsttätig schliessen. Wenn der Selbstschluss bei der Funktionsprüfung nicht funktioniert, so ist der Wasserstandsanzeiger als ohne Selbstschluss zu betrachten. Die Lokomotive muss im Anschluss an den Dienst zwecks Revision des Wasserstandsanzeigers abgestellt werden.

Jeder Wasserstandsanzeiger muss eine unverrückbare Marke aufweisen, welche den niedrigsten zulässigen Wasserstand unter Berücksichtigung der maximalen Bahnneigung anzeigt. Die Marke muss zwingend 100mm oberhalb des obersten von Wasser benetzten Punktes der Feuerbüchse liegen.



- Tabelle Wasserstandsanzeige bei Steigung / Gefälle

Länge Stehkessel- RW bis Vorderkante F.O.K. (L1)	Veränderung des WS in mm je ‰	Etwaiger zusätzlicher bei voller Kesselanstrengung
1000 mm	1.0	30 mm
1500 mm	1.5	30 mm
2000 mm	2.0	30 mm
2500 mm	2.5	30 mm
3000 mm	3.0	30 mm

5.3.1 Typen von Wasserstandsanzeigern

Bei den Dampflokomotiven kommen zwei verschiedene Arten von optischen Wasserstandsanzeigern zum Einsatz.

Glasrohr-Wasserstandsanzeiger

Glasrohr-Wasserstandsanzeiger bestehen aus einem senkrecht angeordneten Glasrohr, das unten mit dem Wasserraum und oben mit dem Dampfraum verbunden ist. In die beiden Anschlussleitungen zum Kessel ist je ein Absperrhahn eingebaut. Ein aufgesteckter Schutzkorb schützt das Glasrohr vor Beschädigungen und vermindert die Gefahr von Unfällen im Fall eines Glasbruches. Bei Glasbruch wird das Ausströmen von Dampf und Wasser bei der oberen Öffnung durch ein kleines Ventil und bei der unteren Öffnung durch eine Ventilkugel selbsttätig verhindert. Da sich im Ventil eine feine Bohrung zum Druckausgleich im oberen Teil des Glasrohres befindet, wird auch bei geschlossenem Ventil immer etwas Dampf nachströmen.

Im Betrieb müssen sämtliche Bedienhebel senkrecht stehen. In Abschlusstellung stehen die Hebel je nach Bauart des Wasserstandsanzeigers schräg oder waagrecht.

Reflexions-Wasserstandsanzeiger

Die moderne Ausführung von Wasserstandsanzeiger wird als Reflexions-Wasserstandsanzeiger bezeichnet. Anstelle eines Glasrohres tritt hier eine mit Rillen versehene Glasplatte, die infolge der verschiedenen Lichtbrechungen den dahinter liegenden Wasserraum dunkel und den darüber liegenden Dampfraum hell anzeigen lässt. Mittels Reflexionsanzeiger lässt sich der Wasserstand besser erkennen als mittels Glasrohranzeiger. Gleichzeitig wird das Platzen eines Glasrohres ausgeschlossen, womit die Gefahr des Verbrühens für das Lokpersonal vermindert wird. Bedingt durch die massivere Ausführung des Glases gegenüber der Glasrohranzeiger, ist der Reflexionsanzeiger deutlich unempfindlicher auf mechanische Beschädigung.

Der Glashalter ist so gebaut, dass er das Glas gleichmässig auf die Dichtung drückt, trotzdem aber ein schnelles Auswechseln des Glases ermöglicht. Schmutzrückstände aus dem Wasser können sich über die Zeit in den Rillen des Reflexionsanzeigers festsetzen und damit die Anzeige undeutlich werden lassen. Aus diesem Grund muss das Glas des Anzeigers in regelmässigen Abständen demontiert und gereinigt werden.

Beide Abschlussarmaturen weisen einen Schnellverschluss, in der Regel je eine Kugel, auf. Im Betrieb müssen sämtliche Bedienhebel senkrecht stehen. In Abschlusstellung stehen die Hebel je nach Bauart des Wasserstandsanzeigers schräg oder waagrecht.

5.3.2 Anforderungen an die Betreiber

Die Neigungen der Streckenprofile, die mit der Lokomotive befahren werden müssen dem Betreiber bekannt sein.

Der Betreiber muss die Anordnung und Länge der Anzeigen, welche zur Befahrung der vorgesehenen Neigungen erforderlich sind, überprüfen.

Lokomotivkessel, die bei der Erstausrüstung für eine bestimmte Neigung ausgerüstet wurden und später auf Streckenprofilen mit grösserer Neigung eingesetzt werden, sind besonders zu kontrollieren.

Wasserstände mit ungenügender Länge (Anzeigebereich) sind zu ersetzen und die unverrückbaren Marken der grösseren Neigung anzupassen.

Die Ergebnisse der Überprüfung sind dem Inspektor bei der nächsten Inspektion im Betrieb vorzulegen.

Für die Überprüfung kann die Unterstützung durch das Kesselinspektorat angefordert werden.

5.3.3 Ermittlung der erforderlichen sichtbaren Länge der Wasserstandanzeige

<i>Bereich</i>	<i>Länge</i>
<i>NW bei 0‰</i>	<i>Marke</i>
<i>NW bei max. Steigung</i>	<i>Marke + Bsp. 2000mm 30‰ + 60 mm</i>
<i>Normalwasserstand bei max. Steigung</i>	<i>+ 50 mm</i>
<i>Reservebereich nach oben</i>	<i>+ 50 mm</i>
<i>NW bei max. Gefälle</i>	<i>+ 20 mm</i>
<i>Reservebereich nach unten</i>	<i>+ 50 mm</i>
<i>L Länge der sichtbaren Anzeige Beispiel:</i>	<i>Total: 230 mm</i>

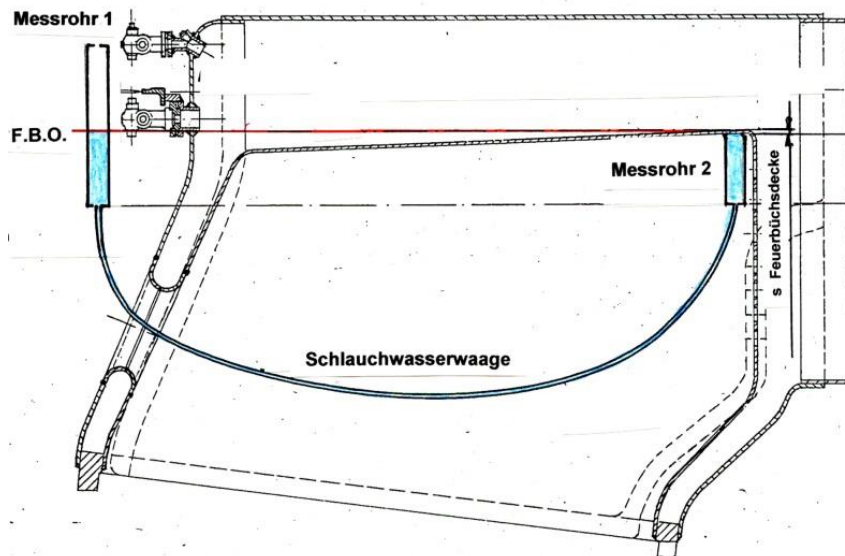
Beschreibung

Werden der etwaige Wasserstand und die Zuschläge für Steigungen und Gefälle berücksichtigt, dann ist die Gewähr dafür gegeben, dass an allen Stellen der Feuerbüchse mindestens eine Wasserhöhe von 100 mm vorhanden ist .

Ist die Höhe des Wasserstandes geringer, dann wird beim Befahren einer Steigung oder bei starker Beschleunigung der Lokomotive der vordere Teil der Feuerbüchse beim Übergang auf Gefälle oder beim starken Bremsen der vordere Teil der Feuerbüchse vom Wasser entblösst.

Wird die Feuerbüchse nicht von genügend Wasser überdeckt, so führt dies zum Ausglühen des Bleches. Auf Grund der absinkenden Festigkeit besteht dann die akute Gefahr, dass die Feuerbüchse aufgerissen wird.

5.3.4 Nachprüfung und Festlegung der NW-Marken



■ Allgemeines

Vor der Befahrung von Streckenprofilen mit grösserer Neigung als diejenige für welche die originale WS-Ausrüstung ausgelegt wurde, müssen die NW-Marken und die sichtbare Länge der WS-Anzeige nachgeprüft und wenn nötig neu festgelegt und konstruktiv angepasst werden.

Nach jedem Erneuern der Feuerbüchse, der Feuerbüchsenwand, der Feuerbüchsenstecke oder der Stehkesselrückwand müssen die NW-Marken ebenfalls nachgeprüft und neu festgelegt werden. Die Prüfung ist immer am eingebauten Kessel durchzuführen, wobei der Rahmen in Längs- und Querrichtung in Waage liegen muss.

■ Feststellen des höchsten wasserbenetzten Punktes an der Feuerbüchse

Das Festlegen und Nachprüfen der NW-Marken kann zweckmässig mit einer Schlauchwasserwaage durchgeführt werden. Alle Punkte der Feuerbüchse können leicht und rasch abgetastet werden um den höchsten Punkt zu finden. Dabei ist die Nennmasdicke der Feuerbüchse zu berücksichtigen. Beim Einsatz der Waage ist darauf zu achten, dass der Schlauch nicht geknickt ist und keine Luftblasen enthält, damit korrekt gemessen wird.

■ Ermittlung der erforderlichen sichtbaren Länge und Lage des WS-Anzeige

Unter der Berücksichtigung der max. Bahnneigungen der Strecken, die mit der Lokomotive befahren werden. Siehe Beschreibung mit Berechnungsbeispiel.

■ Kontrolle der NW-Marken bei max. Steigung und NW-Marke bei max. Gefälle.

Kontrolle der unverrückbaren NW-Markierungen, ausgehend vom festgestellten höchsten wasserbenetzten Punkt an der Feuerbüchse und der Geometrie und den Abmessungen der Feuerbüchse.

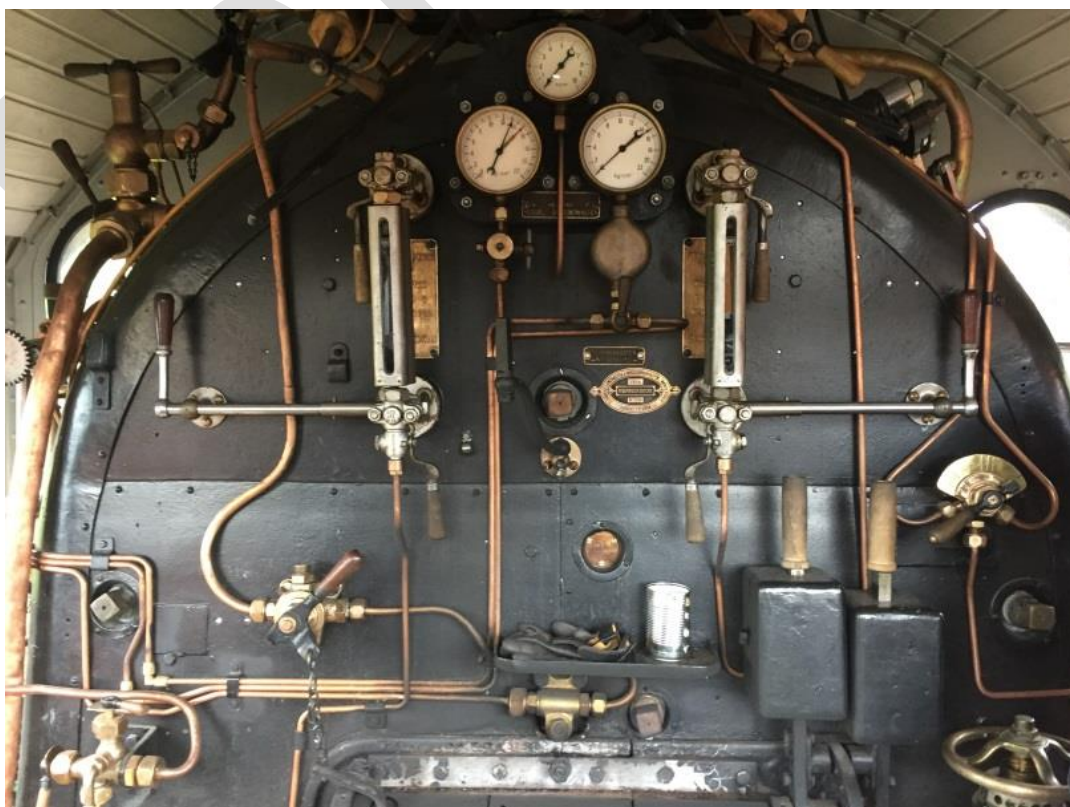
■ Kontrolle der Lage der Wasserstandköpfe

Die Stutzenrohre zu den Ventilköpfen liegen parallel zur Kessellängsachse.

Die vertikale Lage muss so gewählt werden, dass auf dem WS-Anzeigebereich die NW-Marken für die max. Steigung und max. Gefälle sowie die Reservebereiche nach oben und nach unten ersichtlich sind.



Wasserstand-Schild mit fest montierten Markierungen: NW (100mm über FB) bei 25‰ Steigung,
NW bei 25‰ Gefälle, WS (150mm über der Feuerbüchsen-Oberkante F.O.K.) bei 0‰.
Das Kesselfabrikationsschild ist auf der Höhe der F.O.K. montiert.
Die Wasser-Abschlussvorrichtungen sind für die gefahrmindernde Betätigung bei Glasbruch verlängert.



Funktionskontrolle der Selbstschlusseinrichtungen unter Betriebsbedingungen
(Simulation des Glasrohrbruchs durch ein zusätzliches Ventil)

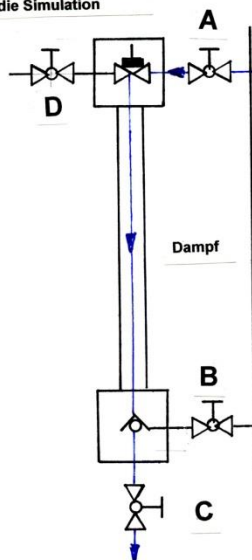
Stirnseitig eingeschraubtes Kugelventil am oberen Ventilkopf.
Foto vor der Montage der Dampf-Ableitung in den gefahrlosen Bereich.



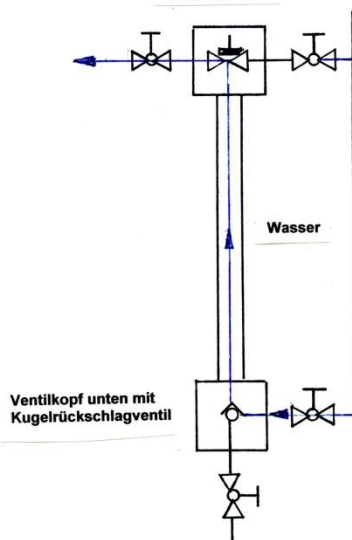
Grundsätzlich kann diese Kontrolle bei allen Ventilköpfen mit stirnseitigem Gewindeanschluss durchgeführt werden.

Funktionskontrolle der Selbstschlusseinrichtungen unter Betriebsbedingungen (Simulation des Glasrohrbruchs durch ein zusätzliches Ventil)

Kugelventil auf der Stirnseite
des Ventilkopfs eingeschraubt
für die Simulation



Ventilkopf oben
mit Tellerventil



Funktionskontrolle Rückschlagventil Im Ventilkopf unten

- C Durchspühlventil zu
B Absperrventil Wasser offen
A Absperrventil Dampf zu
D Kontrolle: **Öffnen Prüfventil**

Funktionskontrolle Tellerventil Im Ventilkopf oben

- B Absperrventil Wasser zu
A Absperrventil Dampf offen
D Prüfventil zu
C Kontrolle: **Öffnen Durchspülventil**

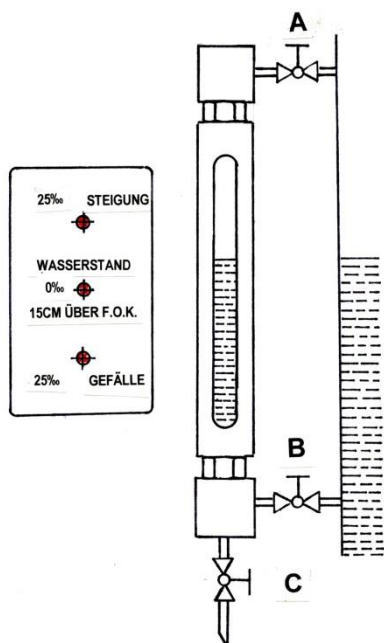
Achtung: Durch die kleine Bohrung für den Druckausgleich im Ventilteller strömt Dampf auch bei geschlossenem Selbstschlussventill

Sperren beim Öffnen des unteren Ablasshahnes die Kugeln den Durchgang nicht ab, dann muss der Wasserstandsanzeiger zunächst als solcher ohne Kugelverschluss betrachtet werden. Wenn bei diesem Wasserstandsanzeiger das Glas platzt, sind sofort beide Absperrhähne in Abschlusstellung zu legen, da ansonsten in kürzester Zeit der Führerstand in Dampf gehüllt wird. Es besteht dabei akute Verbrühungsgefahr für das Personal. Lokomotiven mit nicht funktionierendem Schnellverschluss sind nach Dienstende abzustellen. Der Wasserstandsanzeiger ist bis zur nächsten Fahrt instand zu stellen.

Die Wasserstandsarmaturen sind vor der Inspektion im Stillstand ISS zu demontieren und die Rückschlagkugel und das Tellerventil zur Kontrolle bereit zu halten.

Die Gummidichtungen sind bei der Wiedermontage zu ersetzen. Im Betrieb wird der Gummi durch das Kalkwasser spröde und verliert seine Elastizität. Ohne Nachgiebigkeit führen Bewegungen im Betrieb zu hohen Spannungen in den Glasrohren und zum Bruch.

Richtlinie zur Durchführung der Funktionskontrolle



- | | |
|--------------|---|
| A + B | schliessen |
| C | öffnen
Entleeren, Ventildichtheit prüfen |
| B | öffnen
Ausblasgeräusch und Wasser beobachten |
| B | schliessen |
| A | öffnen
Ausblasgeräusch und Dampf beobachten |
| A | offen lassen |
| C | schliessen |
| B | öffnen
Beobachten, ob die Wassersäule rasch auf den Stand der anderen Anzeige steigt |
- Wenn nicht, liegt Verstopfung vor.
Siehe Massnahmen**

Das Lokpersonal muss sich zwingend darauf verlassen können, dass der Wasserstandsanzeiger und die Selbstschlussvorrichtung jederzeit einwandfrei und sicher funktionieren. Aus diesem Grund ist obige Funktionskontrolle bei jedem Dienstantritt durch das Lokpersonal durchzuführen.

Situation	Ursache / Massnahmen
Verstopfung	Teilweise verstopfte Anzeiger täuschen stets zu hohen WS vor. wogegen er meist im Kessel zu niedrig ist.
Glasbruch	Rasch und entschlossen A + B schliessen. Gesicht u. Hände schützen
Ungewissheit über WS	Zu hoch, zu tief, unsichtbar oder bei Störung der Speisevorrichtung NICHT SPEISEN ! FEUER HERAUSNEHMEN ! Situation abklären, bevor wieder nachgespeist oder gefeuert wird.
Wassermangel	NICHT SPEISEN ! FEUER HERAUSNEHMEN ! Kessel erkalten lassen

5.4 Sicherheitsventil

Jeder Dampflokkessel muss mit zwei unabhängig voneinander wirkenden Sicherheitsventilen ausgerüstet sein. Die Sicherheitsventile müssen jederzeit in der Lage sein, den vom Kessel maximal produzierten Dampf gefahrlos ins Freie abzuleiten. Dabei darf der maximal zulässige Betriebsdruck (PS) nicht überschritten werden. Die Sicherheitsventile blasen in der Regel dann ab, wenn bei zu reichlicher Brennstoffzufuhr eine geringe Dampfentnahme stattfindet. Damit die Sicherheitsventile nicht mehr Dampf ablassen, als unbedingt notwendig ist, müssen sie beim Unterschreiten des zulässigen Betriebsdruckes von selber wieder schliessen.

Mindestens eines der Kesselsicherheitsventile muss im Fall eines Verklebens durch manuelles Anlüften zum Ansprechen gebracht werden können.

Folgende Sicherheitsventilbauarten sind am gebräuchlichsten:

- Kesselsicherheitsventil Bauart Ramsbottom
Die Ramsbottom-Sicherheitsventile sind in einem gemeinsamen Gestell eingebaut und bestehen im Wesentlichen aus zwei Ventiltellern, die durch die Federkraft gegen ihren Sitz gepresst werden. Der Dampfdruck, bei dem die Ventile öffnen müssen, wird mit einer einzigen Spanschraube eingestellt. Da sich die Ventilteller nur wenig anheben, hat die Bauart Ramsbottom den Nachteil, dass der Überdruck nur langsam entweicht.
- Kesselsicherheitsventil Bauart Coale
Bei den Hochsicherheitsventilen der Bauart Pop-Coale hebt der ausströmende Dampf den Ventilteller sofort stark an. Damit entsteht ein grosser Austrittsquerschnitt. Der Überdruck wird viel schneller entfernt als bei den Ramsbottom-Sicherheitsventilen. Bei den mit Pop-Coale-Sicherheitsventilen ausgerüsteten Dampfloks sind stets zwei einzelne solche montiert.
- Kesselsicherheitsventil Bauart Ackermann

5.4.1 Zerstörungsfreie Prüfungen an Sicherheitsventilen

Die Sicherheitsventile von Dampflokkesseln müssen alle 8 Jahre revidiert werden. Je nach Typ muss hierfür eine Fachfirma hinzugezogen werden. Im Rahmen der Revision müssen folgende Teile mittels zerstörungsfreier Prüfung auf Risse überprüft werden. Die Prüfungen müssen durch entsprechend zertifizierte Personen durchgeführt werden.

Die Resultate der zerstörungsfreien Prüfung müssen der zuständigen Fachorganisation vorgelegt werden.

Bauteil	Art der möglichen zerstörungsfreien Prüfung
Feder	PT, ET, MT
Haube	PT, RT, MT
Stössel	PT, ET, MT
Ventilsitz	PT, MT

PT: Farbeindring - Prüfung

ET: Wirbelstrom - Prüfung

RT: Röntgen - Prüfung

MT: Magnetpulver - Prüfung

5.5 Prüfhähne

Ältere Dampflok können anstelle von zwei Wasserstandsgläsern mit einem Wasserstandsglas und zwei bis drei Prüfhähnen ausgerüstet sein. Die Prüfhähne sind so angeordnet, dass der unterste Hahn 100mm über der Feuerbüchsedecke sitzt. Aus dem untersten Hahn muss beim Öffnen stets Wasser austreten. Tritt aus dem obersten Prüfhahn Wasser aus, so von zu hohem Wasserstand auszugehen und es besteht die Gefahr, dass leicht Wasser übergerissen werden kann. Die Prüfhähne sind regelmässig durchzuspülen. Bei verstopften Prüfhähnen ist der Weiterbetrieb des Kessels nicht gestattet.

5.6 Abschlammeinrichtung

Dampflok sind mit einer Abschlammeinrichtung ausgerüstet, damit die Betriebszeit zwischen zwei Auswaschungen verlängert werden kann. Über die Abschlammeinrichtung kann der in der Kesselsohle und im Bodenring abgesetzte Schlamm abgelassen werden. Dabei wird ohne allzu grossen Wärmeverlust eine Klärung des Kesselwassers erreicht. Die Abschlammvorrichtungen werden so gebaut, dass sich kein Kesselstein darin verklemmen kann. Die Häufigkeit des Abschlammens hängt direkt mit der Qualität des Kesselwassers zusammen und ist entsprechend der Erfahrung in regelmässigen Abständen durchzuführen. Wird beim Schliessen der Abschlammvorrichtung festgestellt, dass Kesselstein darin verklemmt wurde, muss die Vorrichtung noch einmal geöffnet werden, damit der Kesselstein weggespült werden kann.

5.7 Dampfregler

Die Menge an Dampf, welche dem Kessel zum Betrieb der Dampfmaschine entnommen wird, wird durch die Öffnungsweite des Dampfreglers bestimmt. Grundsätzlich kann zwischen Flachschieberregler und Ventilregler unterschieden werden. Die Flachschieberregler mit ihren grossen ebenen Dichtflächen sind bei älteren Kesseln anzutreffen. Die Ventilregler tragen den Anforderungen durch höhere Drücke und Temperaturen Rechnung und sind vor allem bei den neueren Lokomotiven zu finden. Undichte Dampfregler (vor allem in Folge Verschleiss, Dreck- und Kesselsteinansammlung) führen dazu, dass dauernd Dampf vom Kessel in die Zylinder eintritt. Dies führt einerseits zu einem Verlust von Wasser und Energie. Andererseits ist bei undichtem Regler darauf zu achten, dass im Stillstand die Entwässerungsventile (Schlammhähnen) der Zylinder stets geöffnet sind, um ein Wegrollen der Lok bei ungenügender Bremsleistung zu verhindern.

5.8 Manometer mit Kontrollanschluss

Jeder Dampflok muss mit einem Manometer ausgerüstet sein, um den herrschenden Kesseldruck ständig ablesen zu können. Der maximal zulässige Druck (PS) muss auf dem Zifferblatt mit einer unverstellbaren, besonders auffälligen Markierung (in der Regel ein roter Strich) gekennzeichnet sein. Der Messbereich des Manometers muss mindestens die Höhe des Prüfdruckes einschliessen. Der Manometer darf während dem Betrieb auf keinen Fall abgesperrt werden. Im besten Fall ist keine Absperrvorrichtung vorhanden. Um das genaue Arbeiten des Manometers überprüfen zu können, muss jeder Kessel einen Kontrollanschluss für ein Prüfmanometer aufweisen.

5.9 Heissdampfthermometer

Heissdampflok sind mit einem Heissdampfthermometer ausgerüstet. Dieses misst die Temperatur des überhitzten Dampfes beim Eintritt in den Schieberkasten. In der Regel zeigt das Zifferblatt von Heissdampfthermometern den Messbereich 0 bis 450°C an.

5.10 Aschekasten (Luftklappen, Verlust von Glut)

Asche und Schlacke fallen während dem Betrieb zwischen den Roststäben hindurch in den Aschekasten. Geleert wird der Aschekasten in der Regel durch Bodenklappen, welche vom Führerstand aus bedient werden können. In der vorderen und hinteren Stirnwand des Aschekastens sind Luftklappen angebracht, über welche dem Feuer die Verbrennungsluft zugeführt wird. Bei Vorwärtsfahrt wird dabei meistens die vordere und bei Rückwärtsfahrt die hintere Luftklappe geöffnet. Damit wird erreicht, dass im Aschekasten ein geringer Überdruck entsteht, welcher den Verbrennungsprozess auf dem Rost positiv beeinflusst.

Die Grösse der Luftklappen sollte mindestens 15% der gesamten Rostfläche betragen. Wird der Querschnitt zu gering gewählt oder haben Asche, Eis oder Schnee den Querschnitt verkleinert, so tritt Luftmangel ein.

Damit glühende Brennstoffrückstände nicht aus dem Aschekasten auf die Strecke fallen und eventuell Brände verursachen, werden im Bereich der Luftklappen Funkensiebe angebracht. Wenn die Lokomotive unter Feuer abgestellt wird, sollten die Luftklappen geschlossen werden, um Wärmeverluste und Kesselschäden durch Einströmen von kalter Luft zu verhindern.

5.11 Rost

Der Rost schliesst in Höhe des Bodenringes die Feuerbüchse nach unten ab und dient zur Aufnahme des Brennstoffes. Die Roststäbe aus Grauguss liegen lose nebeneinander auf den Rostbalken. Bei grossen Feuerbüchsen ist der Rost leicht gegen die Feuerbüchsenrohrwand hin geneigt. Während dem Betrieb kommt es zum Abbrand an den Roststäben. Dies führt mit der Zeit zu deren Schwächung und je nach Ausführung auch zu deren Verzug. Zu stark abgebrannte Roststäbe müssen aus diesem Grund durch neue ersetzt werden. Andernfalls besteht die Gefahr, dass die Stäbe während dem Betrieb brechen und das Feuer durch das Loch in den Aschekasten fällt.

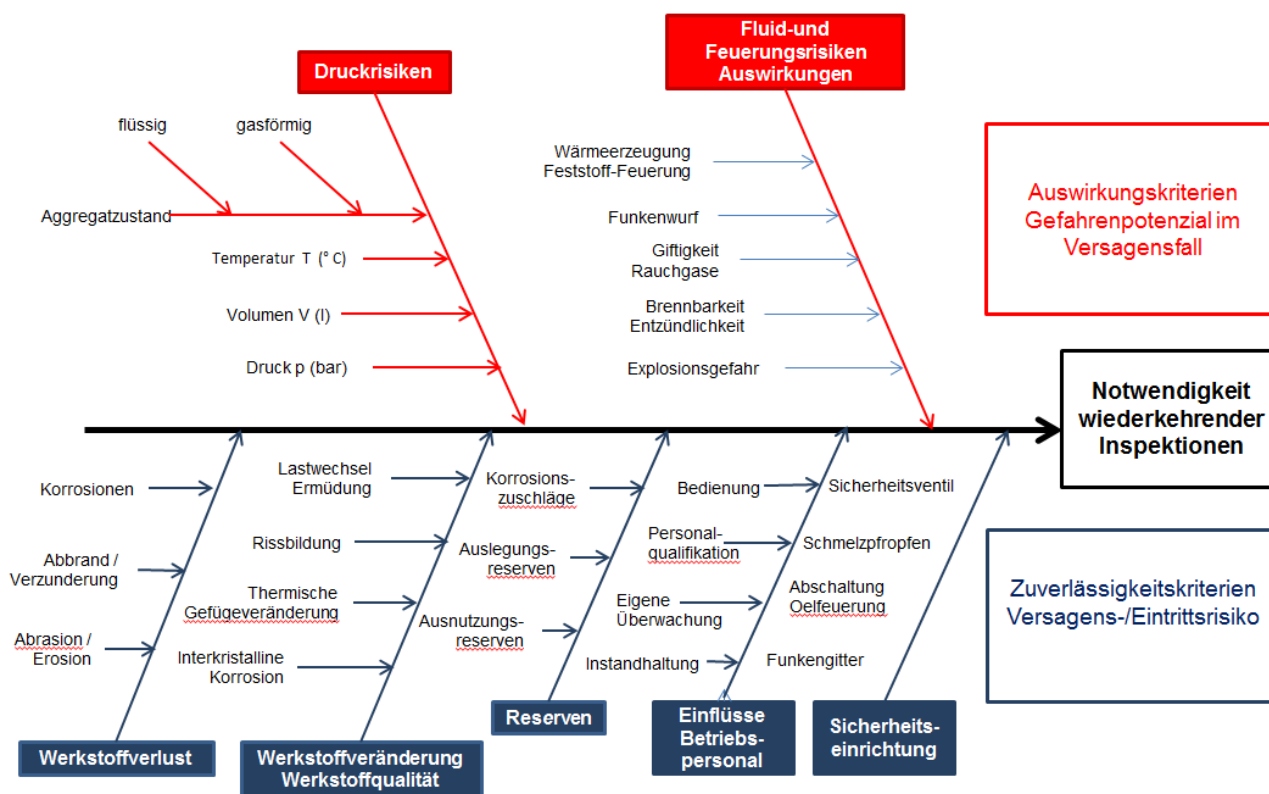
Starker Abbrand der Roststäbe kann auch die Luftspalten zusetzen, was zu schlechter Feueranfachung führt. Den gleichen Effekt kann stark schlackende Kohle haben.

6. Wiederkehrende Inspektionen

6.1 Einflussfaktoren auf die wiederkehrenden Prüfungen

Dampflokesseln sind periodisch zu prüfen. Dies geschieht durch die wiederkehrenden Prüfungen mit den festgelegten Inspektionsintervallen. Unterschieden wird in Inspektionen während des Betriebs (IWB) und Inspektionen im Stillstand (ISS).

Einflussfaktoren auf die wiederkehrenden Prüfungen an Lokomotivkesseln



Die oben genannten Einflussfaktoren sind im Hinblick auf die wiederkehrenden Prüfungen zu beachten.

6.2 Inspektionsintervalle

Die Inspektionsintervalle sind für die inneren und äusseren Prüfungen unterschiedlich.

Art der Inspektion	Intervall	Bemerkungen
IWB	Jährlich	bzw. vor jedem Saisonstart EBV, AB 58.2 Ziffer 3.14
ISS	Alle 2 Jahre / alle 4 Jahre	Zustandsabhängig, wird vom SVTI festgelegt

6.3 IWB Inspektion während des Betriebs

Die Inspektion während des Betriebs ist in der EKAS 6516, Punkt 7.2 geregelt. Die IWB bei Dampflokesseln wird unter Betriebsbedingungen des Dampflokessels durchgeführt. Dies setzt folgendes voraus:

- Der Kessel muss frühzeitig vor der IWB angefahren und auf Betriebsdruck gebracht werden.
- Der Druck im Kessel muss kurzfristig über den Absicherungsdruck erhöht werden können, um das Abblasen des (der) Sicherheitsventils (-ventile) zu ermöglichen.
- Der Prüfanschluss für das Prüfmanometer muss vor der IWB auf Funktionalität geprüft werden. Der Anschluss des Prüfmanometers muss einfach möglich sein.

6.4 IWB-Checkliste für Betreiber und Inspektor

Die wesentlichen Punkte beim Ablauf der IWB sind im Folgenden gezeigt:

- Bereitstellen des Revisions- bzw. Kesselbuchs
- Identifikation der Lok bzw. der Fabriknummer
- Anbringen des Manometers am Kontrollflansch des Betriebsmanometers und Durchführen Druckvergleich
- Funktionsprüfung der Niveauschaugläser. Auf korrektes Durchführen achten, ggf. instruieren.
- Feuerraum visuell durch die Feuerungstüre auf Leckagen (Wandungen, Bolzen, Nieten und Schmelzpfropfen) absuchen
- Rundgang um die Lok durchführen, auf Leckagen (Inspektionsöffnungen sowie Putzluken / Zapfen) und geometrische Form achten
- Rauchkammer öffnen und auf Leckagen prüfen
- Speisekopf links und rechts auf Gängigkeit überprüfen lassen
- Rohrführung der Speiseabflussrohre kontrollieren (dürfen nicht auf „Perron“ ausdampfen)
- Speisevorgang zeigen lassen, beide Seiten (2 Injektoren oder 1 Injektor und 1 Kolbenpumpe)
- Sicherheitsventile auf Lok visuell überprüfen, Druck und Plomben Datum kontrollieren, sowie der Ansprechüberdruck und Schliessüberdruck scharf anfahren.
- Dom- und Langkesseldeckendichtheit mit ggf. Inspektionsöffnungen überprüfen
- Durchführen des Abschlämmens
- Überprüfen des Vorhandenseins einer korrekten Speisewasserkonditionierung (Betreiber ist nachweispflichtig)
- Wenn möglich, sollte eine Fahrt im Beisein des Prüfers durchgeführt werden (Handhabung, Prüfen der Kompetenz der Lok-Crew)

6.5 IWB Prüfbericht Massnahmen

Der Prüfer des SVTI stellt eine Prüfbescheinigung aus. Diese Bescheinigung muss folgende Angaben enthalten:

1. Kesselidentifikation, KIS-PV., Fabriknummer
2. Prüfdatum,
3. Art der Prüfung,
4. Prüfungsgrundlagen,
5. Prüfumfang,
 1. Eignung und Funktion der Kesselsicherheitseinrichtung (Sicherheitsventil(e), Wasserstandsanzeiger, Manometer),
6. Ergebnis der Prüfung,
7. Mängel, falls vorhanden
8. Frist für die Beseitigung der Mängel, falls vorhanden
9. Auflagen zum Weiterbetrieb, falls notwendig
10. Name und Unterschrift des Prüfers, bei ausschließlich elektronisch übermittelten Dokumenten die elektronische Signatur.

Aufzeichnungen und Prüfbescheinigungen sind während der gesamten Verwendungsdauer am Betriebsort oder auf dem Fahrzeug aufzubewahren und der zuständigen Prüfstelle (SVTI) auf Verlangen vorzulegen. Sie können auch in elektronischer Form aufbewahrt werden.

AB 58.2 Ziffer 3.4 Die Original-Betriebsvorschriften müssen auf der Maschine vorhanden sein.

6.6 ISS Inspektion im Stillstand

Die Inspektion im Stillstand ist in der EKAS 6516, Punkt 7.3 geregelt.

Der Kessel sollte so gut wie möglich gereinigt und die Stehbolzen durchgebohrt werden. Laut EKAS 6516, Punkt 7.3, umfasst die ISS folgende Punkte:

- Sichtprüfung der inneren und äusseren druckbeanspruchten Bereiche des Kessels und der druckhaltenden Ausrüstungsteile. Dies sind insbesondere:
 - Feuerbüchse mit Rost, Stehbolzen, Decken- und Eckankern, Schmelzpfropfen, Nieten.
 - Stehkessel, soweit zugänglich durch Handlöcher mit Spiegel, ggf mit Endoskop, Decken-, Quer- und Eckanker.
 - Langkessel, soweit zugänglich durch Handlöcher / Dampfdom. Hier insbesondere auf Korrosion im Solebereich achten.
 - Berohrung, soweit zugänglich auf Ablagerungen, Korrosion und Beschädigungen prüfen. Die Überhitzerlemente müssen nur dann ausgebaut werden, wenn Zweifel bezüglich des Zustandes der Rauchrohre bestehen.
- Sichtprüfung der Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion (Sicherheitsventil/e Manometer, Schaugläser). Die Schaugläser sind auszubauen und der Zustand der Selbstschlussvorrichtung (Glasbruchsicherung) zu prüfen.
- diejenigen Aufgaben der Inspektion während des Betriebs, die sich auch im Stillstand durchführen lassen.
- stichprobenweise Sichtprüfung auf Aussenkorrosion an repräsentativen Stellen bei thermisch gedämmten Druckgeräten, die aufgrund ihrer Betriebsweise und der bisherigen Betriebserfahrung als aussenkorrosionsanfällig bekannt sind.

Der letztgenannte Punkt bedingt das (teilweise) Entfernen der Isolation. Dieses sollte bei einer vorliegenden Notwendigkeit und in Absprache mit dem SVTI erfolgen.

6.6.1 Erweiterte ISS Inspektion im Stillstand

Im Rahmen einer Neuberohrung, bei ausgebauten Rohren, ist der Langkessel vollständig prüfbar. Diese Prüfung sollte, nach gründlicher Reinigung (falls erforderlich), folgende Punkte beinhalten:

- Ermitteln der Restwandstärke, vor allem im Solebereich und wo erforderlich
- Oberflächenrissprüfung (PT oder MT) der Rohrplatte
- Prüfen der Stehkessel-Aussenseite, soweit zugänglich
- Prüfen der Decken- und Eckanker, soweit zugänglich

Gegebenenfalls ist zum Befahren der Wasserseite des Langkessels der Ausbau des Dampfreglers erforderlich.

6.7 WDP Wiederholte Wasserdruckprüfung

Die Druckprüfung, als „andere Prüfmethode“, ist u.a. in der EKAS 6516, Punkt 7.4 geregelt.

Eine Druckprüfung wird bei Dampflokesseln fast ausschliesslich mit Wasser (hydraulisch) durchgeführt. Sie kann vor allem dann eingesetzt werden, wenn der Zustand des Kessels und der Berohrung nicht mit einer erweiterten Sichtprüfung (z.B. Endoskopie) hinreichend ermittelt werden kann.

Die Druckprüfung bei Raumtemperatur simuliert das Absenken der Streckgrenze, welches sich im Betrieb durch die hohen Temperaturen / Drücke einstellt. Daher muss eine Druckprüfung immer mit dem ursprünglichen Prüfdruck (PT), der bei der Druckfestigkeitsprüfung angewendet wurde, durchgeführt werden. Es gelten immer die ursprünglichen Herstellerangaben. Können diese nicht mehr ermittelt werden, wird der Prüfdruck in Absprache mit dem SVTI festgelegt. Die Druckprüfung wird nach den Regeln der Technik durchgeführt (z.B. muss die Isolierung entfernt sein, 30 Minuten Halten auf Prüfdruck).

Eine Druckprüfung ist immer erforderlich nach wesentlichen Umbau- / Revisionsarbeiten.

6.8 Beispiel ISS-Prüfbericht

KESSELINSPEKTORAT
INSPECTION DES CHAUDIÈRES

Richtstrasse 15/Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044 877 61 11, Telefax 044 877 62 11

SVTI
ASIT

CH -

Auftrag Nr.: 15215904

Subkreis: [REDACTED]

Druckgerät: [REDACTED]

KIS: PV: [REDACTED]

Fabriknummer: [REDACTED]

Hersteller: [REDACTED]

Baujahr: [REDACTED]

Anlage Position: [REDACTED]

Standort: [REDACTED]

Kammerdaten:

Raum 1:	Wasser-/Dampfraum	Zul. Druck (PS):	0.0 / 14.0 bar	Zul. Temp (TS):	0.0 / 198.0 °C
Volumen:	4120.0 Ltr.	Konz.-Druck (PC):	0.0 / 14.0 bar	Konz.-Temp. (TC):	/ °C

Inspektionsbescheinigung vom 16.03.2018

(Gestützt auf die Druckgeräteverwendungsverordnung 832.312.12)

- IWB Inspektion während des Betriebes (Kontrollpunkte gemäss EKAS Richtlinie 6516, Abs. 7.2)
- ISS Inspektion im Stillstand (Kontrollpunkte gemäss EKAS Richtlinie 6516, Abs. 7.3 und 7.4)

Ergebnis der Inspektion:

- Soweit ersichtlich wurden keine Mängel festgestellt
- Zusatzinformationen / Bemerkungen / Empfehlungen an den Betreiber
- Bedingungen für einen konformen Betrieb sind nicht erfüllt (siehe unten aufgeführte Beanstandungen)

Befund der visuellen Inspektion im Stillstand

(Durch qualifiziertes Personal nach EN ISO 9712, mind. Stufe 2)

Wandungen / Rohre

Im Bereich des Langkessels auf der ganzen Länge Korrosionsnarben / Abtrag mit einer Tiefe bis ca. 2.0mm und vereinzelte Korrosionsgruben Ø 15-25mm (siehe Bild 3). Im Nassbereich leichte Kalkablagerungen und allgemein rau mit Narben von 1.0 bis 1.5mm Tiefe. Im Dampfbereich leichte Flächenkorrosion, sonst soweit ersichtlich gut erhalten.

Ein Stehbolzen im hinteren Teil der rechten Seitenwand (Seite Lokführer) ist gebrochen und wurde durch das Personal fachmännisch vernagelt (siehe Bild 5). Bricht in direkter Nachbarschaft zu diesem Stehbolzen ein weiterer Stehbolzen ist dies dem Kesselinspektorat zu melden. Ein Weiterbetrieb der Lok ist dann erst nach weiteren Abklärungen gestattet.

Feuerung

Planrost ausgebaut. In gutem Zustand erhalten (siehe Bilder 7 und 8).

Isolation

Es ist keine Isolation vorhanden.

Belag

Auf der Wasserseite leichter Kalkbelag an den Rohren und den Wandungen. In den Siederohren schwarzer Russbelag.

In den Ecken / Rundungen der Rauchkammer geringer Materialabtrag durch chemische Verbindung des Schwefels in der Kohle mit dem Stahl (siehe Bild 4).

Instandsetzungen und Änderungen an Druckgeräten dürfen nur in Absprache mit der Fachorganisation durchgeführt werden.

KESSELINSPEKTORAT
INSPECTION DES CHAUDIÈRES

Richtstrasse 15/Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044 877 61 11, Telefax 044 877 62 11

Armaturen

Sicherheitsventile zwecks Öffnung des Dampfdomes demontiert (**siehe Bild 2**). Die Sicherheitsventile müssen vor der ersten Fahrt neu plombiert werden.

Korrodierte Absperrkugeln der Wasserstandsanzeiger werden ersetzt.

Verschlüsse

Die Gewinde der Auswaschlöcher sind sauber gereinigt und in Ordnung.

Reinigung

Gut besorgt.

Zusatzinformationen / Bemerkungen / Empfehlungen:

- Der Schmelzpfropfen (Joggeli) wurde auf Empfehlung ausgebaut und kontrolliert (**siehe Bild 6**). Es hat sich gezeigt, dass der Pfropfen neu ausgegossen werden muss.

Inspektionsdatum: 16.03.2018

Vom Betreiber war anwesend: Herr [REDACTED]

SVTI Kesselinspektorat

Inspektor [REDACTED]

Instandsetzungen und Änderungen an Druckgeräten dürfen nur in Absprache mit der Fachorganisation durchgeführt werden.

KIS. PV-NR. [REDACTED]

Auftrag-NR. 15215904

Seite 2 von 4



**KESSELINSPEKTORAT
INSPECTION DES CHAUDIÈRES**

Richtistrasse 15/Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044 877 61 11, Telefax 044 877 62 11



Anhang

Bilder

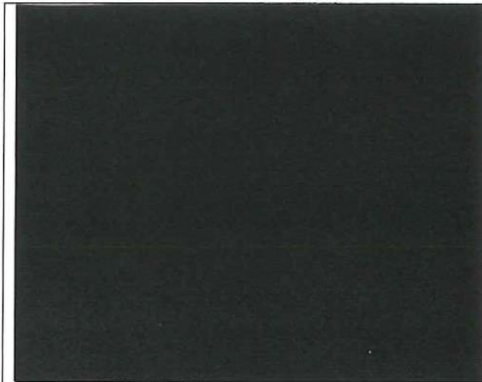


Bild 1

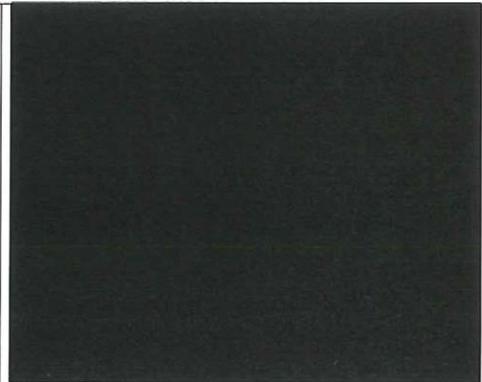


Bild 2 Demontierte Sicherheitsventile



Bild 3 Langkesselsohle mit Korrosionsspuren



Bild 4 Materialabtrag in der Rauchkammer

Instandsetzungen und Änderungen an Druckgeräten dürfen nur in Absprache mit der Fachorganisation durchgeführt werden.

**KESSELINSPEKTORAT
INSPECTION DES CHAUDIÈRES**

Richtstrasse 15/Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044 877 61 11, Telefax 044 877 62 11



Bild 5 Vernagelter Stehbolzen in der rechten Seitenwand der Feuerbüchse



Bild 6 Schmelzpfropfen vor der Demontage



Bild 7 Ausgebauter Planrost



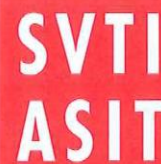
Bild 8 Ausgebauter Planrost

Instandsetzungen und Änderungen an Druckgeräten dürfen nur in Absprache mit der Fachorganisation durchgeführt werden.

6.9 Beispiel IWB-Prüfbericht

KESSELINSPEKTORAT
INSPECTION DES CHAUDIÈRES

Richtstrasse 15/Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044 877 61 11, Telefax 044 877 62 11



CH - [REDACTED]

Auftrag Nr.: 15173190
Subkreis: [REDACTED]
Druckgerät: [REDACTED]
KIS: PV: [REDACTED]
Fabriknummer: [REDACTED]
Hersteller: [REDACTED]
Baujahr: [REDACTED]
Anlage Position: [REDACTED]
Standort: [REDACTED]

Kammerdaten:

Raum 1:	Wasser-Dampfraum	Zul. Druck (PS):	0.0 / 15.0 bar	Zul. Temp (TS):	0.0 / 200.0 °C
Volumen:	1000.0 Ltr.	Konz.-Druck (PC):	0.0 / 15.0 bar	Konz.-Temp. (TC):	0.0 / 200.0 °C

Inspektionsbescheinigung vom 10.09.2017

(Gestützt auf die Druckgeräteverordnung 832.312.12)

- IWB Inspektion während des Betriebes (Kontrollpunkte gemäss EKAS Richtlinie 6516, Abs. 7.2)
 ISS Inspektion im Stillstand (Kontrollpunkte gemäss EKAS Richtlinie 6516, Abs. 7.3 und 7.4)

Ergebnis der Inspektion:

- Soweit ersichtlich wurden keine Mängel festgestellt
 Zusatzinformationen / Bemerkungen / Empfehlungen an den Betreiber
 Bedingungen für einen konformen Betrieb sind nicht erfüllt (siehe unten aufgeführte Beanstandungen)

Inspektionsdatum: 10.09.2017

Vom Betreiber war anwesend: [REDACTED]

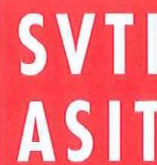
SVTI Kesselinspektorat

Inspektor [REDACTED]

Instandsetzungen und Änderungen an Druckgeräten dürfen nur in Absprache mit der Fachorganisation durchgeführt werden.

KESSELINSPEKTORAT
INSPECTION DES CHAUDIÈRES

Richtstrasse 15/Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044 877 61 11, Telefax 044 877 62 11



Bericht zur visuellen Inspektion während des Betriebes:

Äusserer Zustand

Äusserer Zustand soweit ersichtlich in Ordnung.

Plomben für Sicherheitsventil

Kammer 1: Wasser-Dampfraum

Bezeichnung 2 Gebr Leser

Plombendatum 2012

Absicherungsort Kessel

Absicherungsart Sicherheitsventil federbelast.

Absicherungsdruck 15 bar

Anschlussgrösse DN. mm

Wird angelüftet Ja

Funktionsprüfung

Folgende Funktionsprüfungen wurden durchgeführt:

- Niveauschaugläser gespült
 - beide Speisevorrichtungen geprüft.
 - Sicherheitsventile scharf angefahren $p_0 = 14.86$ bar.
 - Visuelle Leckkontrolle um die Lok und in Feuerraum und Rauchkammer
- Soweit ersichtlich in Ordnung.


Anzeigeelemente

Soweit ersichtlich in Ordnung.

Zusatzinformationen/Bemerkungen/Empfehlungen

- Das Betriebsmanometer geht gegenüber SVTI Prüfmanometer 0,6 bar vor.

Inspektionsdatum: 10.09.2017

Vom Betreiber war anwesend: 

SVTI Kesselinspektorat

Inspektor 

Instandsetzungen und Änderungen an Druckgeräten dürfen nur in Absprache mit der Fachorganisation durchgeführt werden.

KIS. PV- NR. 

Auftrag- NR. 15173190

Seite 2 von 2

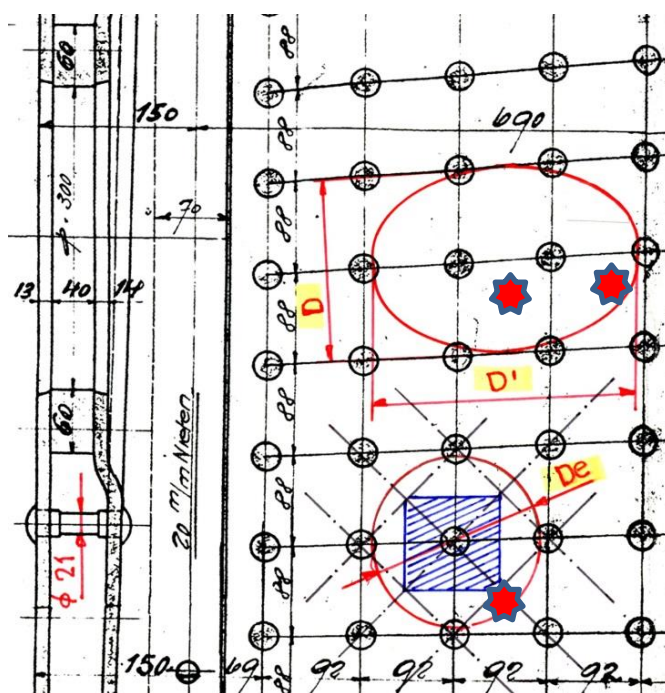
7. Zulässigkeitsgrenzen für Kesselbauteile

Für alle druckberührten Teile gilt grundsätzlich: Risse sind nicht zulässig. Die gilt sowohl für Bleche als auch für Anker und Stehbolzen.

Für weitere Informationen diesbezüglich siehe SVTI-Information CL13272

7.1 Feuerbüchse mit Stehbolzen

Skizze einer Feuerbüchs-Seitenwand mit Stehbolzenraster



★ Durch Beschädigung (Riss, Bruch) unwirksamer Stehbolzen

Massgebend für die rechnerische Ermittlung der erforderlichen Wanddicken der Seitenwände in der Feuerbüchse ist die unverankerte Wandfläche zwischen den umliegenden intakten Stehbolzen. Bei **einem** beschädigten (fehlenden) Stehbolzen ist das die Fläche des eingeschriebenen Kreises **De**. Bei **zwei** nebeneinander liegenden (fehlenden) Stehbolzen ist das die Fläche der eingeschriebenen Ellipse **D / D'**.

Je grösser die Fläche oder der Druck ist, desto grösser wird auch die erforderliche Wanddicke.

Seitenwände, Rückwand und Vorderwand der Feuerbüchsen haben meist einen quadratischen Stehbolzenraster. Die Teilungen liegen je nach Grösse der Feuerbüchse und Kesseldruck im Bereich von 70 - 110 mm.

Bei kleinen Abweichungen wie auf der Skizze gezeigt 92 / 88 mm können die Wanddicken mit dem Raster 90 / 90 mm verwendet werden.

Bei den Deckenankern mit quadratischem Raster können zur Bestimmung der Wanddicke die Tabellenwerte ebenfalls angewendet werden.

In vielen Fällen sind die Deckenanker in einem rechteckigen Muster angeordnet und die Wanddicke muss mit dem auf das jeweilige Objekt bezogenen Mass berechnet werden.

7.2 Angewendete Technische Regeln

Der SVTI Schweizerischer Verein für technische Inspektionen war bis zum Inkrafttreten der Druckgeräteverwendungsverordnung (DGVV) im Jahre 2007 mit dem Vollzug der damals geltenden Verordnungen betreffend Dampfkessel (VO 25) und Druckbehälter (VO 38) betraut, dies gestützt auf Verträge mit den Kantonsregierungen und der SUVA. In Zusammenhang mit der Wahrnehmung dieses behördlichen Mandats erliess der SVTI entsprechende technische Bestimmungen, die jeweils vorgängig dem SNV/NK 30 zur Freigabe vorgelegt worden waren. Diese als **SVTI-Regelwerk** bekannt gewordenen Vorschriften wurden laufend dem Stand der Technik angepasst.

Mit der Umsetzung der Europäischen Druckgeräterichtlinie in das Schweizer Recht und der Möglichkeit zur Anwendung harmonisierter Normen ist der Vorschriftencharakter des SVTI-Regelwerks entfallen. Aus diesem Grund hat der SVTI beschlossen, das SVTI-Regelwerk nicht mehr nachzuführen, sondern stattdessen die Vorschriften allgemein zugänglich zu machen.

SVTI-Regelwerk Vorschrift 300er Reihe Berechnungen

Erfüllt den Stand der Technik

Entspricht den heutigen formellen Anforderungen

Wir abgedeckt durch neue Normen z.B.:
(auszugsweise)

AD 2000 für Berechnungen von neuen
EN 12953 Bauteilen
EN 13445

Vorschrift 200er Reihe Werkstoffe

Erfüllt nicht mehr Stand der Technik

Entspricht nicht mehr den heutigen formellen Anforderungen

Wir abgedeckt durch neue Normen z.B.:
(auszugsweise)

AD 2000 für Berechnungen von neuen
EN 12953 Bauteilen
EN 13445

Die in den Berechnungen eingesetzten
Werkstoffkennwerte sind mit AD 2000 identisch.

7.3 Berechnung der minimal erforderlichen Wanddicken

Die Feuerbüchswände und die Stehkesselwände sind durch Stehbolzen verankert. Die Stehbolzen müssen die Wasser- und Dampfdruckkräfte zwischen den beiden Konstruktionselementen mit ausreichender Sicherheit aufnehmen können.

Der eingeschriebene Kreis D_e um einem beschädigten Stehbolzen oder die Ellipse D / D' um zwei angrenzende beschädigte Stehbolzen betrachtet man rechnerisch als allseitig eingespannte Blechplatten, die zur Aufnahme des Dampfdrucks mit ausreichender Wanddicke dimensioniert sein müssen. Die Konturen von Kreis und Ellipse grenzen an den Schaft der umliegenden intakten Stehbolzen an.

- 4.2 Für Platten, die durch Anker, Stehbolzen, Rohre, aufgeschweisste Profile etc. gehalten sind, gilt die Berechnungsformel (312.3). Die Verstärkungselemente müssen den vorhandenen Kräften genügen.

$$s = 0,4 \cdot D_e \sqrt{\frac{p}{f}} \quad (312.3)$$

$$s_e \geq s + c_3 \text{ gemäss SVTI 301}$$

s = Wanddicke in mm, ohne Zuschlag c_3

D_e = Durchmesser des grössten Kreises in mm, der zwischen den verankernden oder verstärkenden Elementen resp. der Behälterwand eingeschrieben werden kann. Dieser Kreis muss mindestens 3 Punkte der Verstärkung bzw. der Behälterwand tangieren.

p = Berechnungsüberdruck in N/mm^2

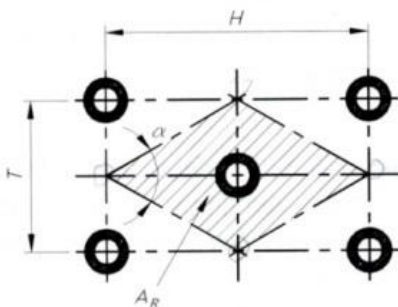
f = zulässige Spannung in N/mm^2

c_3 = Konstruktionszuschlag in mm

s_e = gewählte (nominelle) Wanddicke in mm

} gemäss SVTI 301

Fig. 312 S2



Q = Rohrkraft in N

p = Berechnungsüberdruck in N/mm^2

A_R = massgebende Fläche in mm^2

d_a = Rohraussendurchmesser in mm

$$Q = p \cdot A_R \quad (312.5)$$

$$A_R = T \cdot \frac{H}{2} - \frac{\pi d_a^2}{4}$$

$$H = T \cdot \frac{1}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

$$\text{(bei } \alpha = 60^\circ, A_R = 0,866 \cdot T^2 - \frac{\pi d_a^2}{4}\text{)}$$

Die schraffierte Fläche multipliziert mit dem Betriebsdruck wirkt als Kraft auf einen Stehbolzen und erzeugt im Bolzenquerschnitt eine Zugspannung.

Bei einem oder zwei nebeneinanderliegenden durch Beschädigung unwirksam gewordenen Stehbolzen muss die Kraft auf den schraffierten Fläche von den umliegenden Stehbolzen zusätzlich aufgenommen werden.

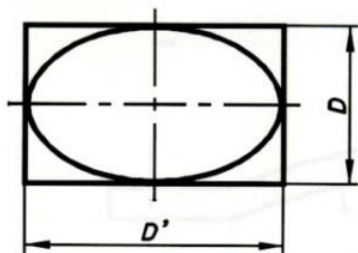
Ausschnitte aus dem Regelwerk Band 1 Berechnung von ebenen Platten Vorschrift 312

3.2 Rechteckige und elliptische Platten

3.2.1 Für rechteckige und elliptische Platten ist anstelle des Beiwertes C der Beiwert $y' \cdot C$ und für D die Länge der kürzeren Rechteckseite resp. der Durchmesser der kleinen Ellipsenachse in die Berechnungsformel einzusetzen.

3.2.2 Der vom Verhältnis D / D' abhängige Faktor y' ist aus der Tabelle 312 B zu entnehmen.

Fig. 312q



$$s = 0,4 \cdot y' \cdot D_e \cdot \sqrt{\frac{p}{f} + C_3}$$

Tabelle 312 B Y'-Werte

	Verhältnis D / D'					Zwischenwerte sind zu interpolieren
	1,0	0,75	0,5	0,25	$\leq 0,1$	
Ellipse	1	1,16	1,30	1,52	1,56	
Rechteck	1,1	1,26	1,40			
Formeln						
1 Ellipse:	$D / D' >$	0 $\leq 0,25$	0,25 $\leq 0,5$	0,5 $\leq 1,0$	y'	$1,57 - (D / D')^{2,033}$ $1,713 - 0,812 \cdot (D / D')$ $2,302 - 1,289 \cdot (D / D')^{0,374}$
Rechteck:	$D / D' >$	0,1	$\leq 1,0$	y'		$1,575 - 0,47 (D / D')^{1,4}$

Die minimalen Feuerbüchswanddicken müssen so dimensioniert sein, dass nach dem Bruch eines Stehbolzens während der Fahrt genügend Sicherheit gewährleistet bleibt. Siehe AnhangTabellen Seiten 4 und 6

Vor der Fahrt mit einem bereits gebrochenen Stehbolzen müssen die Bleche in diesem Bereich die minimalen Wanddicken nach den Tabellen siehe Anhang Seite 5 und 7 aufweisen.

Sind zwei oder mehrere benachbarte Stehbolzen beschädigt, ist eine Instandsetzung vor der nächsten Fahrt erforderlich.

Berechnungen
BerechnungsgrundlagenVorschrift 301
Rev. 9.02
Seite 5Tabelle 301 B Sicherheitsfaktoren x_1 bis x_9

Objekt Auslegungs- kategorie *1	Stähle *2	Stahl- guss	Sphäro- guss	Grau- guss	Alu- Knet- Leg.	Alu- guss	Kupfer *3	Nickel Titan *4	Schrau- ben *5
x_1	1	2,7 *6	3,0	3,5	7,0	-	-	4,0	2,4
x_2		1,6 *6	1,8	2,2	-	-	-	-	1,8
x_3		1,6 *6	1,8	2,2	-	-	-	-	1,8
x_4	2 und 3	2,4 *7 *8	2,8	3,2	6,0	2,5	4,0	3,5 *9	2,4

Berechnungen
BerechnungsgrundlagenVorschrift 301
Rev. 9.02
Seite 75. Berechnungstemperatur t_{calc}

- Die Berechnungstemperatur (siehe SVTI 105) ist mitbestimmend bei der Werkstoffwahl sowie für die Höhe der zulässigen Spannung. Sie ist gemäss den nachstehenden Festlegungen zu wählen und muss auf den Konstruktionszeichnungen und in der Berechnung stets angegeben werden.
- Als Berechnungstemperatur für die einzelnen Druckgeräteeile gelten in der Regel die zulässigen Temperaturen (TS) t_{min} und t_{max} gemäss SVTI 105, allenfalls zuzüglich eines Zuschlages je nach Druckgerätekategorie und Verwendungszweck des Bauteils gemäss Ziffer 5.1 bis 5.3 dieser Vorschrift.

5.1 Druckgeräte der Auslegungskategorie 1 (Einteilung siehe SVTI 109)

5.1.1 Die Berechnungstemperatur ist abhängig von der Verwendung des betreffenden Bauelementes zu wählen:

- bei unbeheizten Elementen: maximale Mediumtemperatur
- bei beheizten Elementen:
 - im Strahlungsteil
max. Mediumstemp. zuzüglich +50 °C
 - im Konvektionsteil
max. Mediumstemp. zuzüglich +25 °C
- bei Überhitzern:
 - im Strahlungsteil
max. Mediumstemp. zuzüglich +50 °C
 - im Konvektionsteil
max. Mediumstemp. zuzüglich +35 °C

8. Änderungen an sicherheitsrelevanten Funktionen oder Baugruppen eines Dampflokessels

Gemäss Art. 15 DGVV, Instandsetzungen und Änderungen, gilt:

„Instandsetzungen und Änderungen an Druckgeräten dürfen nur in Absprache mit der Fachorganisation oder mit der Betreiberprüfstelle durchgeführt werden.“

Das heisst, dass alle geplanten und ausserplanmässigen Instandsetzungen und Änderungen an Dampflokesseln meldepflichtig sind. Darüber hinaus muss jede dieser Instandsetzungen / Änderungen mit der Fachorganisation (SVTI-Kesselinspektorat) abgesprochen werden. Dies gilt im Besonderen im Hinblick auf die erforderlichen zerstörungsfreien Prüfungen.

Des Weiteren heisst es in der EKAS Richtlinie 6516: *„Instandsetzungen fallen unter die Bestimmungen der Druckgeräteverwendungsverordnung (DGVV). Der Betrieb (Betreiber der Lokomotive) ist verantwortlich für eine den anerkannten Regeln der Technik entsprechende Ausführung.*

Ist die untere Zustandsgrenze des Druckgerätes erreicht, so ist es entweder ausser Betrieb oder instand zu setzen (zum Beispiel, wenn die rechnerische Mindestwandstärke durch Korrosion des Werkstoffs erreicht ist).

Wenn die Instandsetzung eines Druckgerätes nicht durchgeführt werden kann, entscheidet der SVTI, ob und unter welchen Bedingungen eine befristete Nutzung bis zur definitiven Stillsetzung möglich ist.“

Dies gilt insbesondere für den sehr wahrscheinlichen Fall eines Stehbolzenbruches. Nach dem Bruch nur eines Stehbolzens in einem Sektor, ist in den meisten Fällen ein Weiterbetrieb möglich (siehe hierzu Kap. 7, 7.5 + 7.6). Der eingeschränkte Weiterbetrieb bei dem zweiten gebrochenen Stehbolzen im selben Sektor, ist nur nach der Absprache mit dem SVTI gestattet. Gebrochene Stehbolzen müssen grundsätzlich sobald wie möglich instand gesetzt werden. Auch diese Art der Instandsetzung ist grundsätzlich meldepflichtig.

8.1 Wesentliche Änderung gegenüber der Ursprungsausführung und dem bestimmungsmässigen Betrieb

Wesentliche Änderungen gegenüber der Ursprungsausführung und dem bestimmungsmässigen Betrieb sind im Vorfeld, das heisst in der Planungsphase meldepflichtig. Als wesentliche Änderung wird eine bauliche Tätigkeit bezeichnet, die die ursprüngliche Auslegung nach den Vorgaben des Herstellers, im Bezug auf die wesentlichen Komponenten des Kessels, wie Stehkessel, Feuerbüchse, Langkessel, Dampfdom und alle Mess- und Sicherheitsarmaturen ändert. Eine solche Änderung stellt eine Abweichung des durch den Hersteller erdachten und realisierten Konzeptes dar. Ganz egal, ob es sich bei der Änderung um eine Verbesserung, Vereinfachung oder Erweiterung, im Bezug auf den Betrieb des Kessels handelt.

Das Kesselinspektorat muss vor diesen geplanten wesentlichen Änderungen frühzeitig kontaktiert und mittels einer umfassenden technischen Dokumentation einer qualifizierten Fachfirma über die geplanten Arbeiten informiert werden.

Hier sind vor allem die schweisstechnischen Unterlagen (falls Schweißarbeiten ausgeführt werden) einzureichen. Das Kesselinspektorat gibt Auskunft über die erforderlichen Unterlagen. Auch bei anderen Arbeiten, insbesondere das Nieten, Löten, Schneiden, Fräsen, Bohren, Schleifen, etc. sind die Planungsunterlagen (insbesondere Zeichnungen), zusammen mit einer Beschreibung der geplanten Änderung, frühzeitig dem Kesselinspektorat zur Verfügung zu stellen.

Die Sachverständigen des Kesselinspektorats behalten sich vor, die geplanten Änderungen zu prüfen und nach Einreichung aller Unterlagen freizugeben.

Erst nach erfolgter Freigabe (z.B. im Rahmen einer Entwurfsprüfung oder Festlegung), können die geplanten Arbeiten als regelkonform gelten.

Beispiele für wesentliche Änderungen gegenüber der Ursprungsausführung und dem bestimmungsmässigen Betrieb sind:

- Umbau der Feuerung, Änderung des Brennstoffs
- Erhöhung der Leistung
- Temperatur- und Druckerhöhung

Auf die oben genannten Beispiele wird nun im Detail eingegangen.

8.2 Umbau der Feuerung, Änderung des Brennstoffs

Der Umbau der Feuerung, Änderung des Brennstoffs, ist eine wesentliche Änderung im Sinne der DGUV, EKAS Richtlinie 6516.

Der Wechsel des Brennstoffs von z.B. Kohle auf leichtes oder schweres Heizöl, bedingt den Umbau der Feuerungsanlage. Davon betroffen sind der Brennraum, insbesondere der Umbau von Feststoff-Rostfeuerung auf Ölbrenner, die Brennstofffördereinrichtung (manuelles Kohleschaufeln gegenüber Ölförder- und Einspritzpumpen), der Brennstoffvorrat Kohle- oder Öltender) und nicht zuletzt die Sicherheitseinrichtungen. Für den Betrieb von Dampfkesseln mit leichtem oder schwerem Heizöl, ist der Einbau einer Brennerüberwachung mittels Flammenwächter erforderlich.

Ebenso muss sichergestellt werden, dass nichtverbrannte Gase, wie Kohlenmonoxid vor einem Zündversuch sicher aus dem Abgasraum (Feuerbüchse, Rauchrohre, Kamin) zwangsentlüftet werden. Zusätzlich zur sicherheitstechnischen Einrichtung des sich unter ständiger Beaufsichtigung befindlichen Kessels ist eine automatisierte Einrichtung für die Sicherheit der Brennstoffzufuhr erforderlich. Es genügt also nicht, den Kessel durch Heizer und Lokführer abzusichern, sondern das Brennstoffsystem muss einen gewissen Grad der sicherheitstechnischen Automatisierung aufweisen.

Da der Heizwert von leichtem oder schwerem Heizöl in der Regel höher ist, als von Steinkohle, ist ein Nachweis der neuen thermischen Leistung erforderlich. Diese besteht aus rechnerischem Nachweis und einer Abnahmeprüfung.

Wird durch den Umbau der Feuerung, Änderung des Brennstoffs, eine Leistungserhöhung angestrebt, ist der nächste Abschnitt zu beachten.

8.3 Erhöhung der Leistung

Eine Leistungserhöhung ist eine wesentliche Änderung im Sinne der DGUV, EKAS Richtlinie 6516.

Eine Erhöhung der Leistung kann durch eine Anhebung von Druck / Temperatur auf der Wasser- Dampfseite, durch den Einbau eines Überhitzers, durch das Erhöhen des Luftdurchsatzes, oder durch den Einsatz eines höherwertigen Brennstoffs erfolgen (siehe vorherigen Abschnitt).

Die Erhöhung von Druck / Temperatur auf der Wasser-/ Dampfseite ist nur bedingt möglich, da die Grenzen der maximal zulässigen Spannungen des gewählten Materials und der Wandstärke in der Regel schon in der Auslegung erreicht wurden. Es ist oft jedoch möglich, durch rechnerische Nachweise nach den heute gültigen Regelwerken, eine Steigerung von Druck und Temperatur von ein paar Prozent zu erreichen. Dies bedingt jedoch eine genaue Kenntnis des eingesetzten und gealterten Materials, welches dann umfangreich zerstörend und zerstörungsfrei zu prüfen ist.

Der Einbau eines Überhitzers ermöglicht eine Erhöhung der Dampfenthalpie und eine Trocknung des Dampfes. Hierzu ist ein rechnerischer Nachweis über die Auslegung erforderlich.

Ein wichtiger Punkt ist die Sicherstellung eines ausreichenden Durchflusses durch den Überhitzer, auch bei geschlossenem Regelventil. Es muss sichergestellt werden, dass die Überhitzerrohre durch Durchströmung immer ausreichend gekühlt werden, auch bei wenig oder keiner Dampfentnahme.

Eine Leckage an einem oder mehreren Überhitzerrohren führt zu einem Druckanstieg im Bereich der Rauchrohre und kann im schlimmsten Fall zu einem Zusammenbrechen der Rauchgasströmung durch den Kessel führen.

9. Betrieb

9.1 Allgemein

- Eine angeheizte Lok darf nicht unbeaufsichtigt stehen gelassen werden. Ist dies ausnahmsweise nicht möglich, ist folgendes vorzunehmen:
 - Kontrolle ob
 - der Regulator geschlossen ist
 - die Steuerung in Mittelstellung steht
 - die Schlammhahnen geöffnet sind
 - Wasserstände absperren
 - Aschenkastenklappe schliessen
 - Führerstandtüren schliessen.
- Nicht besetzte, unter Druck stehende Dampflokomotiven dürfen nur in den durch das Eisenbahnunternehmen bekannt gegebenen Gleisen abgestellt werden.
- Bei Betriebsstörungen hat der Lokführer oder der Heizer auf bzw. bei der Lok zu bleiben
- Die Temperaturänderungen in Feuerbüchse und Kessel sind möglichst gering zu halten und langsam vor sich gehen zu lassen
- Jeder schnellen Abkühlung nach Möglichkeit entgegenwirken
- In der Feuerbüchse ist „vorne“ an der Rohrwand, „hinten“ ist bei der Tür- oder Feuerlochwand.
- Sollte jemals der Wasserstand unter das zulässige Minimum gesunken sein, so darf unter keinen Umständen Wasser nachgespiessen werden (KESSELZERKNALL)
Massnahme gemäss Kapitel 5.3.3., Feuer herausnehmen!
- Bei Ausschmelzen des Joggeli (Sicherheitsbolzen) besteht Verbrennungs- und Verbrühungsgefahr, Feuertüre nicht öffnen. Die einzig mögliche Gegenmassnahme in diesem Fall besteht darin, das Feuer so rasch als möglich durch Entfernen von Roststäben mit dem Feuerhaken oder das Absenken des Kipprostes, durch den Aschkasten, ins Freie zu kippen
- Bei Einbeulungen der Feuerbüchswände oder bei Erglühen der Feuerbüchsdecke ist ebenfalls wie oben beschrieben zu verfahren
- Bei Schräglage der Lok infolge Entgleisung ist genau abzuklären, ob noch alle Teile der Feuerbüchsdecke wasserbedeckt sind, sonst ist das Feuer so rasch als möglich heraus zu nehmen.
- Es ist wenn möglich so anzuhalten, dass sich keine Tragwerke der Fahrleitung und deren Isolatoren direkt über dem Kamin oder den Sicherheitsventilen befinden. Ebenso ist zu verhindern, dass durch den Hilfsbläser oder durch Abdampf der Zylinder und Luftpumpen mitgerissenes Wasser elektrische Überschläge verursacht.

9.2 Emissionen

- Der Kesselbetrieb hat möglichst emissionsfrei zu geschehen.
- Starke Rauchentwicklung ist zu vermeiden.
- Es ist darauf zu achten, dass der Funkenflug möglichst gering bleibt.
- Bei Dampflokomotiven bei welchen Schutzvorrichtungen gegen Funkenwurf vorgeschrieben sind, müssen diese stets betriebsbereit und in einwandfreiem Zustand sein.

9.3 Feuerung

9.3.1 Grundsätze der Feuerung

Folgende Grundsätze sind beim Befeuern eines Dampfkessels einzuhalten:

- Im Feuer dürfen keine toten Stellen oder gar Löcher entstehen
- Kohle häufig und in kleinen Mengen aufwerfen
- Feuertüre wenn möglich für jede Schaufel besonders öffnen und schliessen
- Höhe des Feuers je nach Lok und Beanspruchung
- Feuer bei jedem Einbrennen zuerst überblicken und mit dem Aufwerfen an der Rohrwand beginnen
- Nie die ganze Feuerfläche überdecken
- An weissen Stellen, wo eine raschere Verbrennung stattfindet, mehr Kohle aufwerfen
- Entstehende Löcher, besonders den Wänden entlang, sorgfältig auffüllen
- Stets auf helles Feuer und dickere Kohlschicht den Wänden entlang achten
- Feuern während des Anfahrens und bei starker Anstrengung der Lok unterlassen
- Bei geschlossenem Regulator vor dem Öffnen der Feuertüre Hilfsbläser so weit anstellen, dass die Flamme nicht herausschlägt
- Bei geöffneter Feuertüre sollte der Lokführer vor dem Schliessen des Reglers dies bekannt geben
- Hilfsbläser stets schonend benützen (künstlicher Zug)
- Bei mattem Feuer nachsehen, ob
 - Kohlschicht zu dick
 - Rost verschlackt
 - Aschkasten angefüllt
 - Rauchkammer angefüllt
 - Siederohr verrusst
- Aus fahrdienstlichen Gründen bei der Ein-, Aus- und Durchfahrt auf Stationen sowie auf unübersichtlichen Streckenabschnitten nicht feuern (Fahrwegbeobachtung)
- Luftklappen nur im Stillstand od. Leerlauf ganz öffnen (natürlicher Zug)
- Es ist verboten, während der Fahrt mit Feuergeräten so umzugehen, dass sie über die Begrenzungslinie der Fahrzeuge hinausragen. Unter eingeschalteter Fahrleitung ist beim Hantieren mit Feuergeräten grösste Vorsicht geboten
- Das Abspritzen der Kohle ist auf Gleisen mit Fahrleitung, sofern diese nicht ausgeschaltet, geerdet und gegen unbeabsichtigtes Einschalten gesichert ist, verboten
- Unter eingeschalteter Fahrleitung darf die Kohle nur im Entnahmebereich im Führerhaus genässt werden

9.3.2 Brände durch Funkenflug

Bei grosser Hitze oder langandauernden Trockenheit können Wald-, Feld-, oder Böschungsbrände durch Funkenflug der Lokomotive entstehen. Schadhafter oder nicht völlig abschliessender Funkenfänger, fehlende oder abgezerzte Prallbelche, abgerissene Rauchkammerspritzrohre und zu trockener Kohlenabrieb können die Ursache von Funkenflug aus dem Kamin sein. Sind die Aschkastenklappen undicht, der Aschkasten oder die Luftklappen ausgeglüht oder verzogen, die Funkengitter oder die Aschkastenspritzevorrichtung mangelhaft, so können glühende Kohlestücke aus dem Aschkasten fallen und Brände verursachen. Alle Schäden an diesen Einrichtungen sind sofort zu beheben.

9.4 Kesselspeisung

Vor Fahrtantritt müssen alle Speiseeinrichtungen kontrolliert und funktionsfähig sein. Folgende Grundsätze sind beim Nachspeisen von Wasser bei einem Dampflokessel einzuhalten:

- Zur Vermeidung von Kesselschäden durch starkes Abkühlen des Kessels sollten die Speisevorrichtungen nur bei geschlossener Feuertüre angestellt werden
- Häufig und in kleinen Mengen speisen. Lässt man den Injektor zu lange fördern, dann kommen grosse Mengen kalten Wassers in den Kessel. Durch die Temperaturschwankungen entstehen Materialspannungen, die im Laufe der Zeit zu Rissbildung in den betroffenen Bauteilen führen können.
- Wasserstand möglichst gleichbleibend halten
- Kesseldruck nie mehr als 3 bar unter den maximalen Betriebsdruck sinken lassen
- Starke und schnelle Druck (und somit Temperaturschwankungen) führen zu einer Wechselbelastung des Kessels und somit zu einer schnelleren Schädigung desselben
- Das Schlabbern über Sicherungseinrichtungen ist zu vermeiden.

9.5 Wasserstandsanzeiger im Betrieb

9.5.1 Bedienung der Wasserstandsanzeiger

Um die richtige Anzeige der Wasserstandsanzeiger sicherzustellen, sind diese beim Anheizen und danach im Betrieb in regelmässigen Abständen durchzublasen. Dasselbe gilt für allfällig vorhandene Prüfhahnen.

Das verantwortliche Personal hat vorausschauend sicherzustellen, dass der Dampfessel jederzeit über einen ausreichenden Wasserstand verfügt. Der aktuelle Wasserstand ist laufend an den beiden Wasserstandsanzeigern zu überwachen.

Folgende Grundsätze sind bei der Bedienung der Wasserstandsanzeiger einzuhalten:

- Die Wasserstandsanzeiger sind mit grösster Vorsicht zu behandeln, die Hahnen sorgfältig zu bedienen (Glasbruch)
- Die Hebel der Wasserstandsanzeiger sind im Betrieb alle senkrecht, abgestellt sind sie waagrecht
- Die Sicherheit des Kesselbetriebs hängt vom ordnungsgemässen Funktionieren der Wasserstandsanzeiger ab
- Das vorschriftsmässige Prüfen der Wasserstandsanzeiger besteht aus dem Kontrollieren des freien Spiels der Wassersäule und der Dichtheit von Flanschen, Hahnen und Verschraubungen sowie dem Durchspülen aller Bohrungen
- Verstopfte Bohrungen oder ein undichter oberer Wasserstandskopf täuschen immer einen höheren Wasserstand vor
- Der gesetzlich niedrigste Wasserstand liegt 10 cm über der Feuerbüchdecke und ist als fixe Markierung auf der Stehkesselnrückwand ersichtlich
- Lokomotiven, welche anstelle eines zweiten Wasserstandsanzeigers Prüfhahnen aufweisen, müssen bei Versagen des Wasserstandsanzeigers unter Nutzung der Prüfhahnen abgestellt werden. Auf Prüfhahnen ist im Fahrbetrieb kein Verlass
- Bei den Prüfhahnen rauschen Wasser und Dampf verschieden
- Bei Dampfentnahme steigt der Wasserstand an, weil die Dampfbläschen im Kesselwasser aufsteigen und so den Wasserspiegel anheben, man spricht vom „scheinbaren Wasserstand“. Dasselbe tritt beim Abblasen der Sicherheitsventile ein und täuscht ebenfalls einen höheren Wasserstand vor

9.5.2 Scheinbarer Wasserstand

Wenn der Regler geöffnet wird oder die Sicherheitsventile abblasen, ist dem scheinbaren Wasserstand Rechnung zu tragen. Bei der Entnahme von Dampf kommt es im Kessel zu einer weiteren Verdampfung. Die aufsteigenden Dampfbläschen durchsetzen das Wasser, so dass dieses einen wesentlich grösseren Raum einnimmt. Dadurch erscheint im Wasserstandsanzeiger ein Wasserstand, der je nach Dampfverbrauch und Grösse des Kessels bis zu 30 bis 50mm höher liegt, als ohne Dampfenahme. Wenn der Kessel zu lange nicht ausgewaschen wurde, führt der erhöhte Salzgehalt im Wasser ebenfalls zu einem erhöhten scheinbaren Wasserstand.

Dem Effekt des scheinbaren Wasserstandes ist vor allem beim Befahren von Steigungen Rechnung zu tragen. Beim Schliessen des Reglers besteht bei Unachtsamkeit die Gefahr, dass der Wasserstand plötzlich unter dem erlaubten Minimum liegt.

9.6 Kesselwasser

9.6.1 Wasseraufbereitung

Im Trinkwasser, wie es heute an den meisten Standorten aus dem örtlichen Leitungsnetz entnommen wird, sind viele Stoffe enthalten, welche für den direkten Einsatz in der Dampferzeugung zu grossen Problemen führen. Die Wasserqualität hängt stark von den Standorten ab, an welchen das Wasser nachgefasst wird und sie sollte daher regelmässig überprüft werden.

Die Härtebildner Calcium und Magnesium, welche anteilmässig am meisten vorkommen, führen zu Kalkablagerungen, auch bekannt als Kesselstein. Kesselstein verhindert eine gute Wärmeübertragung an das Kesselblech, die Feuerbüchse, bzw. die Rohre und kann zur lokalen Überhitzung des Materials führen. Im Weiteren besteht die Gefahr von Verstopfen von Ventilen und Hahnen durch abgeplatzten Kesselstein. Die gelösten Gase wie Sauerstoff und Kohlensäure sowie ein saurer pH-Wert können das Kesselblech angreifen, zu starken Korrosionen und zur Schwächung des Material führen. Der Wasseraufbereitung ist daher gleich viel Aufmerksamkeit zu schenken wie den Funktionsprüfungen der Kesselsicherheiten.

9.6.2 Konditionierungsmittel

Zur Einhaltung der Alkalität des Speisewassers, zur Resthärtebindung und zur Bindung des Restsauerstoffes werden dem Speiswasser Korrekturchemikalien zugegeben.

9.6.3 Kesselstein

Durch die ständige Dampfenahme tritt im Lokomotivkessel eine Salzanreicherung im Kesselwasser ein und Calcium- sowie Magnesiumsalze fallen bei hoher Temperatur und entsprechend starker Konzentration in Form von Kesselstein aus.

Kesselsteingegenmittel bewirken, dass der Härtebildner im Dampfkessel in lockerer, schlammartiger Form abgeschieden wird. Es wird somit die Bildung eines dichten Kesselsteins verhindert. Zur Verhütung von Kesselstein gibt es eine grosse Anzahl von chemischen Präparaten. Es ist zu beachten, dass meist gleichzeitig angreifende Stoffe vorhanden sind. Ausserdem kann durch die Schlammabildung die Aufschäumung des Wassers verstärkt werden.

Vergrosserung der Temperaturunterschiede zwischen Kesselbaustoff und Kesselwasser

	a) Ohne Kesselstein	b) Mit 5mm Kesselstein
Kesselwasser	+180°C	+180°C
Kesselblech	+205°C	+380°C
Unterschied	25°C	200°C

Durch Kesselsteinester wird der Wasserumlauf stark behindert, was zu lokaler Erwärmung der Kesselbaumaterialien führen kann.

Um allfällige Kesselsteinablagerungen entfernen zu können, sollte der Kessel regelmässig d.h. mindestens einmal pro Jahr oder u.U. auch häufiger ausgewaschen werden. Das Auswaschen hat vorteilhafterweise direkt nach dem Leeren des Kessels zu erfolgen, damit die feuchten Kalkablagerungen (vor allem im Bodenring) nicht zu ungewollter zusätzlicher Korrosion führen. Der Kessel sollte in regelmässigen Abständen während des Betriebes abgeschlämmt werden, um Ausscheidungen, Kesselsteinabplatzungen und Dreck aus dem Kessel zu entfernen.

9.6.4 Abschlammern

Der Kesselschlamm muss öfter abgelassen werden, da er sonst mit den anderen Härtebildnern zusammen erhärtet und einen festen Kesselstein bildet. Da sich der Kesselschlamm während der Fahrt in der Schwebe befindet, ist es zu empfehlen, den Kessel beim Halten der Lokomotive und nach jeder Zugfahrt mehrmals 2 bis 3s abzuschlammern. Längere Zeit abschlammern würde grosse Wärmeverluste verursachen, ohne weitere Erfolge zu bringen.

9.6.5 Überreissen von Wasser

Wird ein Überreissen von Wasser festgestellt, so ist der Regler sofort zu schliessen und die Schlammhähnen der Zylinder zu öffnen. Der Wasserschleier wird dadurch schnell unterbrochen und das bereits im Zylinder befindliche Wasser ausgestossen. Bei vorschriftsgemässer Bedienung der Lokomotive durch das Personal dürfte ein Überreissen von Wasser überhaupt nicht eintreten. Die hauptsächlichen Ursachen hierfür sind folgende:

- Zu hoher Wasserstand.
- Abblasen der Sicherheitsventile während grosser Anstrengung der Lokomotive.
- Seltenes Auswaschen und mangelhaftes Abschlammern des Kessels. Das Kesselwasser hat sich dadurch mit Salz angereichert oder ist sogar verölt, so dass es zur Schaumbildung neigt.
- Schleudern der Lokomotive während der Fahrt.
- Plötzlich starkes Aufreissen des Reglers.
- Falsche Dosierung des Kesselwassers.

Durch Wasserüberreissen und des möglicherweise daraus folgenden Wasserschlages kann es Schäden kommen. Häufig geht hierbei der Zylinderdeckel zu Bruch. Als weitere Folgen des Wasserschlages können Brüche des Kolbens, des Kolbenstangenkonus, der Trieb- und Kuppelstangen oder des Rahmens auftreten oder auch Lager heisslaufen.

9.7 Sicherheitsventile

Die Funktion der Kesselsicherheitsventile ist durch den Lokführer täglich mindestens einmal zu kontrollieren, möglichst während der Fahrt.

Werden die Sicherheitsventile nicht durch Steigerung des Kesseldruckes geprüft, sind sie von Hand anzulüften.

9.8 Personal

9.8.1 Allgemein

Dampfkessel gelten als unmittelbar beaufsichtigte Druckgeräte. Dies bedeutet, dass der Kessel solange er befeuert wird, nicht unbeaufsichtigt stehen gelassen werden darf. Das anwesende Personal muss jederzeit in der Lage sein, die notwendigen Handgriffe durchzuführen.

Damit die Dampflok sicher und wirtschaftlich betrieben werden kann, muss der Kessel sorgfältig und schonend betrieben werden. Dafür es zwingend, dass das Betriebspersonal gut ausgebildet und fähig ist, den Kessel unter allen Umständen sicher betreiben zu können.

Das Betriebspersonal der Dampflok sollte sich nach Möglichkeit auch regelmässig an deren Unterhalt beteiligen.

Das Betriebspersonal muss aus oben genannten Gründen körperlich und geistig in der Lage sein, die ihm übertragenen Aufgaben zu übernehmen.

9.8.2 Streckenkenntnis

Sowohl Lokführer als auch Heizer müssen eine ausreichende Streckenkenntnis besitzen, da sie nur dann jeden Neigungswechsel wirtschaftlich nutzen können. Streckenunkundiges Personal kann die einerseits Ursache dafür sein, dass die Lokomotive auf längeren Steigungsstrecken unter Dampf mangel leidet oder dass bei Talfahrten grosse Mengen an Dampf und Kohle durch Abblasen verloren gehen. Andererseits kann die Unkenntnis über die zu befahrenden Strecken dazu führen, dass nach längeren Steigungsabschnitten für die darauffolgende ebene Strecke zu wenig Wasser im Kessel ist. Besteht die Gefahr, dass der Wasserstand mit abnehmender Steigung unter minimal erlaubte Grenze oder sogar unter den Anzeigebereich der Wasserstandsanzeiger fällt, muss dringend Wasser nachgespiesen werden. Kann dies während der Fahrt nicht mehr rechtzeitig erfolgen, so muss die Fahrt unterbrochen werden, bevor die Feuerbüchse mit zu wenig Wasser überdeckt ist.

9.8.3 Vom Dampfkessel ausgehende spezifische Gefahren

Der Betrieb von Dampflokomotiven birgt einige spezifische Gefahren, welchen das Betriebspersonal besonders ausgesetzt ist. Nachfolgend sind die wichtigsten gesundheitsgefährdenden Gefahren aufgeführt:

- Verbrühungen durch heisses Wasser oder Dampf
- Verbrennungen wegen Kontakt mit heissen Leitungen oder Flächen bzw. direkter Kontakt mit dem Feuer
- Vergiftung durch die Rauchgase
- Innerliche Verbrühung der Atemorgane durch eingeatmete heisse Luft oder Dampf
- Augenverletzungen durch Funkenflug oder austretenden Dampf

Damit Verletzungen schnell behandelt werden können, sollte ein Konzept bestehen, wie diesen vorgegangen wird.

Das Personal sollte darüber instruiert werden, wie sie sich selber oder anderen in obigen Fällen helfen können.

9.8.4 Sonstige Gefahren

Beim Umgang mit langen Werkzeugen wie Feuerhacken oder ähnlichem ist auf genügend Abstand zur Oberleitung zu achten. Dasselbe gilt beim Wässern der Kohle im Schlepptender. Muss auf den Kessel geklettert werden, ist die Fahrleitung auszuschalten und zu erden.

9.8.5 Ausbildung

Jeder Betreiber muss einen Ausbildungsplan für die Ausbildung der Dampflokheizer erstellen. Der Betrieb hat zu dokumentieren, wer die Ausbildungen erteilt.

Alle Heizer müssen in Dampflok- und Kesseltechnik geschult werden.

Die technische Ausbildung sollte vorteilhafterweise folgende Themen umfassen:

- Wärmetechnische Grundlagen (Brennstoffe, Verbrennung, Kesselwirkungsgrad, Verdampfung, etc)
- Aufbau des Lokkessels (Hauptbestandteile, Werkstoffe, etc)

Ausrüstung des Lokkessels (Speiseeinrichtungen, Sicherheitsventile, Wasserstandsanzeiger, etc.)

- Bedienung des Lokkessels (Aufgaben, Wartung, Wasseraufbereitung, etc)
- Praxistraining

Ausbildungen und abgelegte Prüfungen sind zu dokumentieren. Die so erworbene Sachkunde muss der Fachorganisation und dem Bundesamt für Verkehr vorgelegt werden können.

Einweisung in den betrieblichen Ablauf und Anforderung zum Erden (Kurzschluss) und Abschalten der Fahrleitung. (Hinweis auf Tel.-Nummer der zuständigen Stelle).

9.8.6 Heizer

Als Heizer wird derjenige Mitarbeiter bezeichnet, der die Feuerung sowie bestimmte technische Aufgaben an der Dampflokomotive übernimmt. Er muss dafür fahrdienstlich nicht geprüft sein siehe FDV R.300.13 – Lokführer – Zusatzbestimmungen Dampftraktion - aktuell gültige Ausgabe.

Folgende Aufgaben und Kenntnisse sollte der Heizer einer Dampflok selbständig übernehmen können:

- Zuständig für ordnungsgemässen Kesselbetrieb (Heizer-Anwärter sollten die Lok nur unter Aufsicht eines Lokführers oder Heizers anheizen).
- Zusammenarbeit mit dem Lokführer.

Werden die Funktionen des Führergehilfen und des Heizers von einer einzigen Person wahrgenommen, haben die Aufgaben des Führergehilfen Vorrang.

- Arbeit so organisieren, dass das Beobachten der Strecke, Signale, Bahnübergängen, Bahnhofsein- und Ausfahrten möglich ist.
- Gegenseitiges Melden der Signale und fahrdienstlicher Befehle.
- Kenntnis, wie die Lok oder der Zug mit der Hand- und Luftbremse anzuhalten ist.

Es ist sehr vorteilhaft, wenn der Heizer die zu befahrende Strecke genauso gut kennt wie der Lokführer. Schon geraume Zeit vor einer grösseren Steigung sollte das Feuer stärker beschickt werden, so dass bei Beginn der grösseren Leistung bereits wieder ein gut durchgebranntes Grundfeuer vorliegt. Gegen Ende der Steigungstrecke sollte dagegen das Feuer bereits soweit abgebrannt sein, dass nach dem Schliessen des Reglers nicht sofort die Sicherheitsventile abblasen.

9.8.7 Lokführer

Für Lokführer gelten die Bestimmungen nach den Fahrdienstvorschriften (FDV) R.300.13 – Lokführer, aktuell gültige Ausgabe.

- Dampflokomotiven dürfen vom Lokführer nur bewegt werden, wenn sich ein Führergehilfe im Führerstand befindet. Für Rangierbewegungen über kurze Distanzen kann das Eisenbahnverkehrsunternehmen besondere Anordnungen treffen.
- Dampflokomotiven, welche grundsätzlich einmännig bedient werden können, sind in den Ausführungsbestimmungen des Eisenbahnverkehrsunternehmens aufzuführen.
- Der Lokführer ist für die Arbeit des Heizers mitverantwortlich. Der Lokführer hat gegenüber dem Heizer Weisungsbefugnis.

Folgende Aufgaben und Kenntnisse muss der Lokführer einer Dampflok nachweisen können:

- Kenntnis über die von ihm bediente Lokomotive (Fahrzeugkenntnisse)
- Allgemeine Kenntnisse zu der Dampflokkenntnis
- Gültige Regelwerke zum Betrieb der Dampflokomotive
- Vorteilshafterweise ist der Lokführer auch in der Funktion des Heizers geschult sein, um entsprechendes Fachwissen vorweisen und anwenden zu können.

9.8.8 Weiterbildungsmöglichkeiten im Bereich Wärmeerzeugung

Im Bereich Dampf- und Wärmetechnik werden in der Schweiz primär zwei empfehlenswerte Lehrgänge angeboten.

- Sachkundeschulung für Betriebspersonal von Dampf- und Heisswasserkesseln

Die "Sachkundeschulung für Betriebspersonal von Dampf- und Heisswasserkesseln" richtet sich an Mitarbeitende, welche im Nebenamt für die Bedienung und den reibungslosen Betrieb einer wärmetechnischen Anlage (spez. Dampf- und Heisswasserkessel) zuständig sind. Für diese Zielgruppe wurde dieser Kurs durch den Schweizerischen Verein für technische Inspektionen SVTI inhaltlich massgeschneidert und zielt vor allem darauf ab, dass Theorie und Praxis zusammenfinden. Dieser Kurs ist auch ideal für Instandhaltungsfachleute oder Heizwerkführer, die sich für die Materie interessieren und sich auf den neusten technischen Stand bringen möchten.

Ziel dieser Schulung ist, dass sich die Teilnehmer die Kenntnisse über den korrekten Betrieb einer Kesselanlage aneignen und umsetzen, die Risiken kennen sowie über die daraus resultierenden Verpflichtungen Bescheid wissen.

Der Kurs dauert 2.5 Tage. Davon finden 2 Tage als Theorieteil beim SVTI in Wallisellen statt. Ein halber Tag wird als Praxisteil vor Ort beim Betreiber am eigenen Kessel durchgeführt.

- Heizwerkführerlehrgang

Das zentrale Element der Heizwerkführerausbildung ist der dreiwöchige Heizwerkführerkurs (Vorbereitungskurs für die Berufsprüfung für Heizwerkführerinnen und Heizwerkführer mit eidg. Fachausweis) der Umtec Technologie AG. In diesem Hauptkurs erhalten Personen, welche bereits über Berufserfahrung in der Wärmetechnik verfügen, fundiertes und fachspezifisches Wissen für ihren Berufsalltag. Sie erarbeiten sich die Grundlagen und die Kompetenzen für das qualifizierte Bedienen und Überwachen von wärmetechnischen Anlagen. Dabei wird zwischen der Fachrichtung «Industrielle Wärmetechnik» (IWT) und «Kehrichtheizkraftwerke» (KHKW) unterschieden.

Der Heizwerkführerkurs ist im Weiteren die bestmögliche Vorbereitung für die Berufsprüfung zum/zur Heizwerkführer/in mit eidgenössischem Fachausweis (ausgestellt vom Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation SBFI).

Zur Repetition gewisser Inhalte des Heizwerkführerkurses besteht die Möglichkeit, an einem Prüfungsvorbereitungskurs teilzunehmen (IWT und KHKW gemeinsam).

Voraussetzung zur Teilnahme am Prüfungsvorbereitungskurs ist das Absolvieren des oben erwähnten Heizwerkführerkurses. Die Prüfung zum/zur Heizwerkführer/in mit eidgenössischem Fachausweis kann in den Schwerpunkten IWT oder KHKW absolviert werden.

9.9 Instandhaltung

9.9.1 Dokumentation Instandsetzung

Gemäss AB 58.1 der Ausführungsbestimmungen der Eisenbahnverordnung (AB 58.1 AB-EBV) gelten nachfolgende Anforderungen an die Instandhaltung historischer Fahrzeuge:

1. Die Instandhaltung historischer Fahrzeuge betreffend gelten die folgenden Bestimmungen:

1.1 Die Fahrzeuge werden ihrer Verwendung entsprechend unterhalten.

1.2 Die durchgeführten Instandhaltungsarbeiten sind mit Umfang, Namen, Visum und Datum zu dokumentieren.

1.3 Nach einem Stillstand von mehr als einem halben Jahr ist vor dem erneuten Einsatz die Lauffähigkeit des Fahrzeuges festzustellen; die Untersuchung ist mit Umfang, Namen, Visum und Datum zu dokumentieren.

2. Für jedes zugelassene historische Fahrzeug ist ein Dossier in Papier oder elektronischer Form zu führen. Es ist bis zu Verschrottung des Fahrzeuges aufzubewahren.

Es enthält mindestens die folgenden Angaben:

2.1 Technische Daten

2.2 Typenskizze, falls nicht vorhanden, Fotos

2.3 Aufstellung sämtlicher durchgeführter Instandhaltungsarbeiten gemäss Ziff. 1.2

2.4 Originalprotokolle von extern durchgeführten Instandhaltungsarbeiten gemäss Ziff.

2.5 Arbeitsanweisungen

2.6 Bedienungsanleitung

2.7 Angaben über vorhandene Asbestlasten sowie durchgeführte Asbestsanierungen

Bezüglich der Instandhaltung von Dampflokesseln sind sämtliche Instandsetzungsarbeiten sind zu protokollieren und zusammen mit den dazugehörigen Dokumente wie Materialatteste in im Kesselrevisionsbuch abzulegen.

Die Original-Betriebsvorschriften müssen auf der Maschine oder aus Gründen der Verschmutzung allenfalls am Stationierungsort vorhanden sein. Dies gilt auch für sogenannte "Museumsfahrzeuge".

9.10 Kontrollen

Die durch den Betreiber durchgeführten Kontrollen im Rahmen von Betrieb und Unterhalt sind zu dokumentieren. Die entsprechenden Dokumente müssen dem BAV und dem SVTI vorgelegt werden können. Es ist festzuhalten, was durch wen zu welchem Zeitpunkt kontrolliert wurde.

9.11 Inspektionen

Die wiederkehrenden Inspektionen am Dampflokessel nach EKAS 6516 werden durch den SVTI, Kesselinspektorat durchgeführt. Für die Inspektionen sind die Kessel nach Vorgabe des Kesselinspektorats vorzubereiten.

9.12 Reinigung

Starke Verunreinigungen am Dampflokkessel verringern die Wärmeübertragung an das Wasser. Zusätzlich kommt es zu einer stärkeren Wärmebelastung der Werkstoffe, da die wasserseitige Kühlwirkung abnimmt.

Die Dampflokkessel müssen in regelmässigen Abständen ausgewaschen werden. Dabei werden Kesselstein und Dreckablagerungen aus dem Kessel gespült. Es ist darauf zu achten, dass vor allem die Wandungen der Feuerbüchse so gut wie möglich gereinigt werden.

Rückstände, welche sich nicht herauspülen lassen, sollten so gut wie möglich mechanisch abgetragen werden. Deckenanker mit starken Anhaftungen von Kesselstein können einen deutlich besseren Zustand vortäuschen, wie er in Realität tatsächlich ist.

Die Feuer- und Rauchgasseite ist ebenso regelmässig zu reinigen. Rückstände von stark schwefelhaltiger Kohle führen zu verstärktem Verschleiss an den Siede- bzw. Rauchrohren sowie der Rauchkammer. Die Kontrollbohrungen der Stehbolzen sind feuerseitig in regelmässigen Abständen zu reinigen, damit gebrochene Stehbolzen schneller und besser erkannt werden können.

Vor jeder längeren Abstellung sind zur Minderung der Korrosion sämtliche Verbrennungsrückstände so gut wie möglich aus Kessel und Aschekasten zu entfernen. Die Kombination von Feuchtigkeit und Verbrennungsrückständen kann auch während der Abstellung zu Korrosionseffekten führen.

9.13 Konservierung

Wird ein Dampflokkessel länger nicht genutzt, ist es vorteilhaft diesen zu leeren, zu reinigen und ihn anschliessend trocken zu konservieren.

Besteht eine hohe Luftfeuchtigkeit sollte der Kessel je nach Bedarf nachgetrocknet werden. Von einer Konservierung mit Öl, wie sie früher zum Teil angewendet wurde, ist abzusehen. Dies einerseits aus Umweltschutzgründen und andererseits, weil sich die Ölrückstände nur schwer komplett aus dem Wasserraum entfernen lassen.

Bezugsquellennachweis

■	BAV, Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung AB EBV, Ausgabe 01.07.2016
■	BAV, Richtlinie Zulassung historischer Fahrzeuge der Eisenbahnen 1.September 2010
■	Reglement Dampflokomotiven SBB
■	Europäische Druckgeräte Richtlinie PED 2014/68/EU
■	DGVV Druckgeräteverwendungsverordnung SR 832.312.12
■	EKAS Richtlinie Nr.6516 Druckgeräte, 2007
■	AD-2000 Regelwerk
■	SVTI-Regelwerk Band 1
■	SVTI-Archiv nach der Übertragung der Kontrolle der Dampflokomotivkessel 1974 vom Eigenössischen Amt für Verkehr (EAV) an den SVDB. Dokumente und Prüfrapporte der periodischen Prüfungen und Instandsetzungen.
■	SLM Zusammenfassung Lokomotivkesselbau von 1914 – 1944, Anton Fritz
■	100 Jahre Kupferne Feuerbüchsen in Dampflokomotiven Ernst Weese, Deutsches Kupfer-Institut E.V. 1937
■	Nieten und Schweißen der Dampfkessel mit Berücksichtigung von Versuchen des SVDB 1924/25 von E. Höhn, Oberingenieur
■	DB DV 946 1959 Teilheft 1 Kessel
■	Die Dampflokomotive – Entwicklung, Aufbau, Wirkungsweise, Bedienung und Instandhaltung sowie Lokomotivschäden und ihre Beseitigung, Transpress 1965, Johann Schwarze et.all.
■	Ermittlungsergebnisse von Materialeigenschaften im Zusammenhang mit Instandsetzungen an Lokomotivkesseln durch nachstehende Prüfinstitute
	- EMPA
	- Sulzer Innotech
	- Qualitech AG
	- SVS
	- IWT
	- Swiss Safety Center AG

Anhang Technische Richtlinie für Lokomotivkessel TR 716

Der Inhalt dieses Anhangs besitzt rein informativen Charakter.

Erläuterungen zu den Anhängen A und B

Die dargestellten Daten basieren auf Versuchen, welche durch die SVTI durchgeführt wurden. Die Erfahrungen mit Instandsetzung von Lokomotivkesseln hat gezeigt, dass die neu erhobenen Werte weniger konservativ sind, wie die jeweiligen Herstellerunterlagen. Dies führt dazu, dass mit den neuen Versuchs- bzw. Berechnungsmethoden teilweise deutliche tiefere Mindestwerte bestimmt werden können, wie dies in den Originalunterlagen der Fall war.

Für Fälle von Instandsetzungen, bei welchen die Originalunterlagen komplett oder teilweise fehlen, können nachfolgende Angaben als Grundlage zur Festsetzung der Arbeiten herangezogen werden. Die beschriebenen Vorgehensweisen zur Instandsetzung von Lokomotivkessel können vom SVTI je nach Situation vorgegeben werden.

Anhang A Zulässigkeitsgrenzen

A.1 Werkstoffe für Feuerbüchswände und Stehbolzen

Werkstoffe
Kupfer und Kupferlegierungen

Vorschrift 212

Rev. 9.02
Seite 6

Tabelle 212 B Mechanische Eigenschaften für Bleche und Bänder

Bezeichnung Kurzname	W.-Nr.	Werkstoff Zustand	Dicke s (mm)	Festigkeit (bei Temperatur in °C) (N/mm ²)										
				20	50	100	150	200	250	300	350			
SF-Cu	2.0090	F20	5 < s ≤ 15	Rm	200	200	200	175	150	125				
				Re1.0	60	60	55	55						
		F22	0,2 < s ≤ 5	Rm	220	220	220	195	170	145				
				Re1.0	65	65	58	58						
		F24 *1	0,2 < s ≤ 15	RM	240									
				Re0.2	180	180	170	160	150					

Tabelle 212 D Mechanische Eigenschaften für Stangen (Rundprofile/
Flachprofile)

Bezeichnung Kurzname	W.-Nr.	Werkstoff Zustand	Dicke s (mm)	D max (mm)	Festigkeit (bei Temperatur in °C) (N/mm ²)									
					20	50	100	150	200	250	300	350		
SF-Cu	2.0090	F20	5 < s ≤ 60	6 < D ≤ 100	Rm	200	200	200	175	150	125			
				Re1.0	60	60	55	55						
		F22	≤ 5	≤ 6	Rm	220	220	220	195	170	145			
				Re1.0	65	65	58	58						
		F24 *1	≤ 5	≤ 40	Rm	240								
					Re0.2	160	160	140	130	125	120			
CuZn40	2.0360	F34	6 < s ≤ 60	10 < D ≤ 100	Rm	340								
				Re1.0	140	140	137	137	132					
		F41 *1	≤ 6	≤ 40	Rm	410								
					Re0.2	250	250	225	200					
CuNi10Fe1Mn	2.0872	F28	-	10 < D ≤ 100	Rm	280								
					Re1.0	125	125	118	114	109	104	99		
CuNi30Mn1Fe	2.0882	F34	-	10 < D ≤ 100	Rm	340								
					Re1.0	140	140	130	126	123	120	117	112	
CuAl10Ni5Fe4	2.0966	F64	-	12 ≤ D ≤ 80	Rm	640								
					Re0.2	270	270	265	260	260	250			

Anmerkung

*1 Zustand kaltverfestigt, bei der Bemessung Ziffer 7.3 beachten

Seite 16 AD 2000-Merkblatt W 6/2, Ausg. 07.2006

Tafel 13.1 Zulässige Spannung K/S für Blech, Band oder Platte

Temperatur °C	Zulässige Spannung K/S in MPa für Auslegungsdauer in h											
	Cu-DHP						CuZn40 und CuZn39Pb0,5					
	R200	R200 ¹⁾	R220	R220 ¹⁾	R240		R340		R400		R400 ²⁾	
	bis 100 000				10 000	100 000	10 000	100 000	10 000	100 000	10 000	100 000
20/50	57	50	63	55	120	120	93	160	160	160	133	133
100	57	50	63	55	113	113	91	145	145	125	127	125
110	56	49	62	54	112	112	91	139	139	114	125	114
120	54	48	60	53	111	111	91	130	130	104	125	104
130	53	46	59	51	109	109	91	120	120	93	120	93
140	51	45	57	50	108	108	91	108	108	82	108	82
150	50	44	56	49	107	107	91	96	96	72	96	72
160	49	43	54	48	106	106	84	84	84	61	84	61
170	47	41	53	46	104	104	72	72	72	50	72	50
180	46	40	51	45	103	103	60	60	60	40	60	40
190	44	39	50	44	101	101	48	48	48	31	48	31
200	43	38	49	43	100	94	37	37	37	24	37	24
210	41	36	47	41	99	82	29	29	29	18	29	18
220	40	35	46	40	97	69	23	23	23	13	23	13
230	39	34	44	39	90	55	18	18	18	9	18	9
240	37	33	43	38	78	42	14	14	14	7	14	7
250	36	31	41	36	66	28	12	12	12	5	12	5

1) gelötet
2) > 10 bis ≤ 40 mm

Tafel 12.2 Langzeit-Warmfestigkeitseigenschaften für Cu-DHP R240 und R250

Temperatur °C	1%-Zeitdehngrenze für				Zeitstandfestigkeit (Mittelwert) für			
	10 000 h	30 000 h	50 000 h	100 000 h	10 000 h	30 000 h	50 000 h	100 000 h
	MPa				MPa			
150	160	153	146	145	212	204	200	195
160	154	145	141	136	207	196	192	187
170	147	138	133	126	202	188	184	177
180	139	128	123	117	196	180	175	166
190	130	118	113	106	188	171	164	155
200	122	108	103	94	180	161	153	143
210	112	98	91	82	170	148	139	129
220	102	86	79	69	159	134	124	114
230	90	73	65	55	145	120	111	99
240	78	61	52	42	128	103	94	82
250	66	49	39	28	109	84	76	64

Für die Ermittlung der erforderlichen Mindestwanddicken für Feuerbüchsbliche aus Stahl wurden die Werkstoffkennwerte von RSt 37-2, S 235 JRG2, W.-Nr. 1.0038 in die Berechnung eingesetzt.

A.2 Tabellenwerte für Kupferfeuerbuchsbleche

Minimal erforderliche Wanddicke (mm)
im Bereich von **einem** durch Beschädigung wirkungslos gewordenen
Stehbolzen

Stehbolzen Raster mm)	Betriebsüberdruck (bar)					
	6	7	8	9	10	11
70 x 70	4.8	5.1	5.5	5.8	6.1	6.4
75 x 75	5.2	5.6	6.0	6.3	6.7	7.0
80 x 80	5.6	6.0	6.4	6.8	7.2	7.5
85 x 85	6.0	6.4	6.9	7.3	7.7	8.1
90 x 90	6.4	6.9	7.3	7.8	8.2	8.6
95 x 95	6.8	7.3	7.8	8.3	8.7	9.1
100 x 100	7.2	7.7	8.3	8.8	9.2	9.7
105 x 105	7.6	8.2	8.7	9.3	9.8	10.2
110 x 110	8.0	8.6	9.2	9.7	10.3	10.8

Stehbolzen- Raster mm)	Betriebsüberdruck (bar)				
	12	13	14	15	16
70 x 70	6.7	7.0	7.3	7.5	7.8
75 x 75	7.3	7.6	7.9	8.2	8.4
80 x 80	7.9	8.2	8.5	8.8	9.1
85 x 85	8.4	8.8	9.1	9.4	9.7
90 x 90	9.0	9.4	9.7	10.1	10.4
95 x 95	9.6	9.9	10.3	10.7	11.0
100 x 100	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7
105 x 105	10.7	11.1	11.5	11.9	12.3
110 x 110	11.3	11.7	12.2	12.6	13.0

Minimal erforderliche Wanddicke (mm)
im Bereich von **zwei** nebeneinanderliegenden Stehbolzen die durch Beschädigung
wirkungslos geworden sind.

Stehbolzen- Raster mm)	Betriebsüberdruck (bar)					
	6	7	8	9	10	11
70 x 70	6.4	6.7	7.4	7.9	8.3	8.7
75 x 75	6.9	7.5	8.0	8.5	8.9	9.4
80 x 80	7.4	8.0	8.5	9.1	9.5	10.0
85 x 85	7.9	8.5	9.1	9.6	10.2	10.7
90 x 90	8.3	9.0	9.6	10.2	10.8	11.3
95 x 95	8.8	9.5	10.2	10.8	11.4	12.0
100 x 100	9.3	10.1	10.7	11.4	12.0	12.6
105 x 105	9.8	10.6	11.3	12.0	12.6	13.3
110 x 110	10.3	11.1	11.9	12.6	13.3	13.0

Stehbolzen- Raster mm)	Betriebsüberdruck (bar)				
	12	13	14	15	16
70 x 70	9.1	9.5	9.8	10.2	10.5
75 x 75	9.8	10.2	10.6	10.9	11.3
80 x 80	10.5	10.9	11.3	11.7	12.1
85 x 85	11.1	11.6	12.0	12.4	12.9
90 x 90	11.8	12.3	12.8	13.2	13.6
95 x 95	12.5	13.0	13.5	14.0	14.4
100 x 100	13.2	13.7	14.2	14.7	15.2
105 x 105	13.8	14.4	14.9	15.5	16.0
110 x 110	14.5	15.1	15.7	16.2	16.8

A.3 Tabellenwerte für Stahlfeuerbüchsbliche

Minimal erforderliche Wanddicke (mm)
Im Bereich von **einem** durch Beschädigung wirkungslos gewordenen
Stehbolzen

Stehbolzen- Raster mm)	Betriebsüberdruck (bar)					
	8	9	10	11	12	13
70 x 70	4.3	4.5	4.8	5.1	5.3	5.6
75 x 75	4.6	4.9	5.2	5.5	5.8	6.0
80 x 80	5.0	5.3	5.6	5.9	6.2	6.5
85 x 85	5.3	5.7	6.0	6.3	6.7	7.0
90 x 90	5.7	6.1	6.4	6.8	7.1	7.4
95 x 95	6.0	6.4	6.8	7.2	7.6	7.9
100 x 100	6.4	6.8	7.2	7.6	8.0	8.4
105 x 105	6.8	7.2	7.7	8.1	8.5	8.8
110 x 110	7.1	7.6	8.1	8.5	8.9	9.3

Stehbolzen- Raster mm)	Betriebsüberdruck (bar)				
	14	15	16	17	18
70 x 70	5.8	6.0	6.3	6.5	6.6
75 x 75	6.3	6.5	6.8	7.0	7.2
80 x 80	6.8	7.1	7.3	7.6	7.7
85 x 85	7.3	7.6	7.8	8.1	8.3
90 x 90	7.8	8.1	8.4	8.6	8.9
95 x 95	8.3	8.6	8.9	9.2	9.4
100 x 100	8.7	9.1	9.4	9.7	10.0
105 x 105	9.2	9.6	9.9	10.3	10.6
110 x 110	9.7	10.1	10.5	10.8	11.1

Minimal erforderliche Wanddicke (mm)
im Bereich von **zwei** benachbarten durch Beschädigung wirkungslos gewordenen
Stehbolzen

Stehbolzen- Raster mm)	Betriebsüberdruck (bar)					
	8	9	10	11	12	13
70 x 70	5.8	6.1	6.5	6.9	7.2	7.5
75 x 75	6.2	6.6	7.0	7.4	7.7	8.1
80 x 80	6.6	7.1	7.5	7.9	8.3	8.6
85 x 85	7.0	7.5	8.0	8.4	8.8	9.2
90 x 90	7.5	8.0	8.5	8.9	9.4	9.8
95 x 95	7.9	8.4	8.9	9.4	9.9	10.3
100 x 100	8.3	8.9	9.4	9.9	10.4	10.9
105 x 105	8.8	9.3	9.9	10.4	11.0	11.4
110 x 110	9.2	9.8	10.4	10.9	11.5	12.0

Stehbolzen- Raster mm)	Betriebsüberdruck (bar)				
	14	15	16	17	18
70 x 70	7.9	8.2	8.5	8.8	9.0
75 x 75	8.4	8.8	9.1	9.4	9.7
80 x 80	9.0	9.4	9.7	10.1	10.4
85 x 85	9.6	10.0	10.4	10.7	11.1
90 x 90	10.2	10.6	11.0	11.4	11.7
95 x 95	10.8	11.2	11.6	12.0	12.4
100 x 100	11.4	11.8	12.2	12.7	13.1
105 x 105	12.0	12.4	12.9	13.3	13.7
110 x 110	12.5	13.0	13.5	14.0	14.4

A.4 Mindestwanddicken

Auslegungskategorie 2 und 3		
Rohr-Aussen- durchmesser d_a *1	Mindestwanddicke	
	unlegierter und niedrig legierter Stahl	austenitischer Stahl; Kupfer
mm	mm	mm
≤ 10,2	0,5	0,5
> 10,2	0,6	0,5
> 13,5	0,8	0,8
> 21,3	1,0	0,8
> 17,2	1,2	0,8
> 26,9	1,5	1,0
> 33,7	1,8	1,0
> 42,4	2,0	1,0
> 48,3	2,2	1,2
> 60,3	2,4	1,4
> 76,1	2,6	1,6
> 88,9	3,1	2,0
> 108	3,3	2,3
> 114,3	3,5	2,5
> 139,7	3,8	2,6
> 168,3	4,0	3,0

In der Tabelle sind die Mindestwanddicken für Rohre nach Berechnungsvorschrift 313 angegeben. In der Auslegung Kategorie 2 wird im Konvektionsteil die Berechnungstemperatur für die Rauch- und Siederohre um 25°C und bei den Überhitzerrohren um 35°C erhöht.

Die Werte für Kupferrohre treffen für Rohrstützen nicht zu, weil das Kupfer bei der Hartlötung bei 900°C seine Festigkeit um ca. 50% verliert.

Die Wanddicke der Kupferstützen muss nach dem Rohr-Aussen-Durchmesser, dem Aussendruck und der Wasser-/Dampf Temperatur erhöht um 25°C mit den Streckgrenzwerten des gewählten Werkstoffs berechnet werden.

Abweichungen gegenüber der originalen Konstruktionszeichnung werden dokumentiert.

Kesselteile mit Untermass oder mit Beschädigungen werden speziell geprüft.

Die häufigsten Schadenarten wie sie an den Kesselelementen auftreten und erkannt werden und die geeigneten Massnahmen zur Beseitigung der Risiken sind im Kapitel 8.3 angeführt.

Schweiss- und Lötfügeverbindungen mit Rissen und formschlüssige Fügeverbindungen mit Rissen oder Brüchen (z.Bsp. Nieten, Stehbolzen, Anker) sind nicht zulässig und zu ersetzen. Bei beschädigten Stehbolzen oder Ankern muss nachgewiesen werden, dass die zulässigen Spannungen bei den max. Berechnungsparametern nicht überschritten werden.

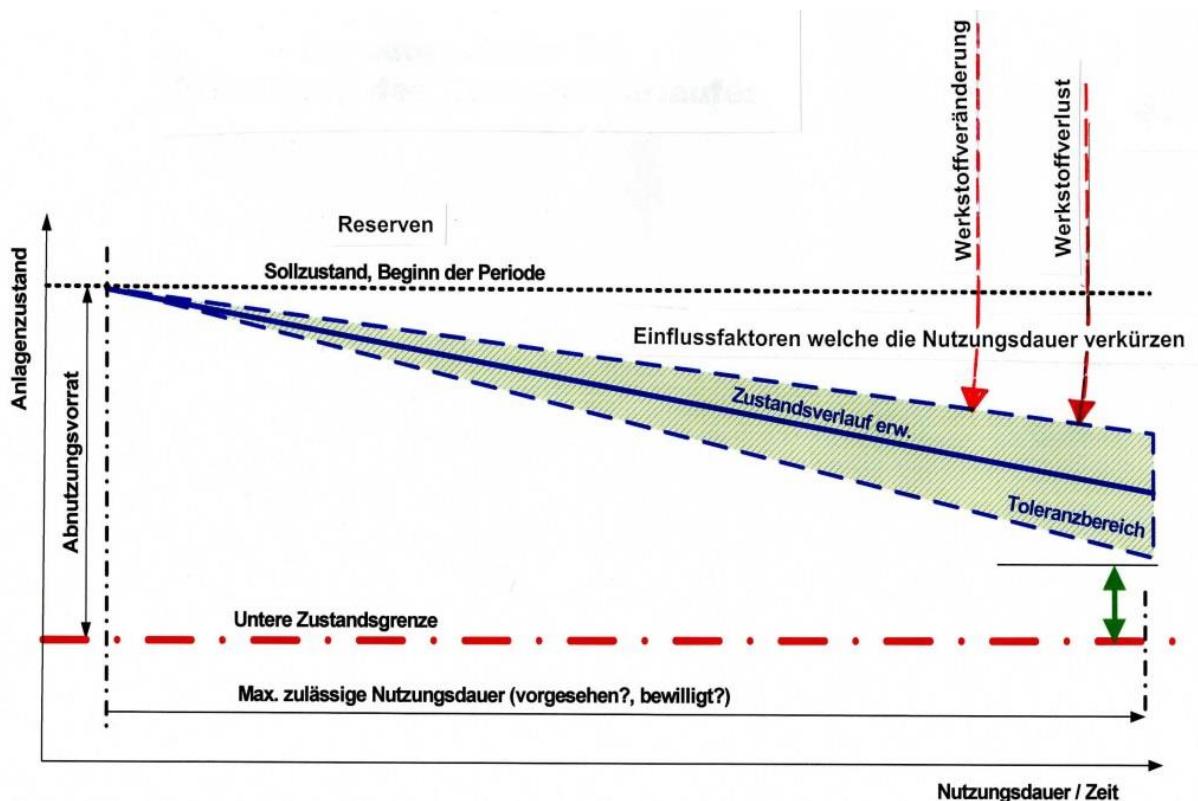
Undichtigkeiten werden bei der Druckprüfung oder bei der Inspektion im Betrieb IwB festgestellt und sind zu beheben.

Bauteile mit Abweichungen oder Beschädigungen, die bei der Inspektion erkannt und als Versagensrisiko bewertet werden müssen, sind zu ersetzen, oder in Stand zu setzen.

Der Betreiber erbringt den Nachweis, dass die erforderliche Sicherheit für den Betrieb des Kessels gewährleistet ist.

Anhang B Instandsetzungen an druckführenden Kesselteilen

B.1 Untere Zustandsgrenze



Bedingung: Der Ist - Zustand muss bis zum Ende der Nutzungsdauer mit genügender Sicherheit über der unteren Zustandsgrenze liegen.

© SVTI, MO/Öspspeicher, 12.09.06/K+MG_Heizertagung_2006.ppt/Seite

Drucktragende Teile sind grundsätzlich vor der Erreichung der unteren Zulässigkeitsgrenze in Stand zu setzen.

Instandsetzungs- / Änderungsvorhaben sind immer vorgängig mit dem SVTI abzusprechen.

Für Schweiss- und Lötarbeiten (Schmelzfügeverbindungen) dürfen nur Firmen mit Herstellerzulassung, welche die technischen Normen nach Regelwerk erfüllen beigezogen werden.

EN ISO 3834-3 Standard-Qualitätsanforderungen

EN 13445-4 Herstellung, EN ISO 13133, AD-2000 Herstellung und Prüfung, SVTI 501 oder gleichwertig anerkannten Vorschriften.

Für die angewendeten Verfahren müssen die gültigen Schweisserzertifikate, die Schweissverfahrensprüfung (WPAR) und die Schweissanweisung (WPS) und die dazugehörigen Arbeitsprüfungen vorliegen.

**Sicherheit ist kein Zustand sondern ein Prozess.
Er besteht aus der Erkenntnis und Bewertung der Versagensrisiken
und den erforderlichen Massnahmen welche die Eintrittswahrscheinlichkeit
minimieren.**

Einflussfaktoren, welche die Nutzungsdauer verkürzen:

Risiken durch Beschädigung und Werkstoffverlust an den Kesselbauteilen

- Formschlüssige Fügeverbindungen (z.B. Nietverbindungen, Stehbolzen, Anker) dürfen keine Risse oder Brüche aufweisen.
- Schweissverbindungen an Kesselblechen und Verbindungselementen dürfen keine Risse aufweisen.

Materialverlust erleiden die Kesselbauteile durch Korrosion, Verzunderung und Erosion.

- In der Dokumentation von historischen Kesseln liegen keine Angaben über die Auslegungsreserven und Korrosionszuschläge vor.
- Meist liegen von den eingesetzten Werkstoffen nur die Zugfestigkeit und der Streckgrenzwert bei 20°C vor.
- **Die originale, mit Nennmassen versehene Herstellungszeichnung des Kessels und der Verbindungselemente muss beim Betreiber vorhanden sein oder aus den Archiven beschafft werden.**
- Massliche Abweichungen von den ursprünglichen Nennmassen lassen sich bei der Inspektion damit erkennen und bewerten.
- Um bei der Inspektion verlässliche Angaben über die Restwanddicken oder die Dimensionen von korrodierten Bauteilen zu erhalten muss der Kessel auf der Feuerseite und Wasserseite bestmöglichst gereinigt werden.
- Bauteile mit starkem Kesselstein und Kalkablagerungen können nicht erkannt und bewertet werden. Verunreinigungen **verhindern das Inspektionsergebnis und die Kontrollmessungen.**

Risiken entstehen durch Veränderung der Werkstoffe die zu einer Minderung der Qualität führen.

- Gefügeveränderung durch thermische Beanspruchung
- Ermüdung durch Lastwechsel
- Rissbildung durch mechanische Belastung und Spannungsrissskorrosion
- An den meisten historischen Lokomotivkesseln liegen nach der Betriebszeit von 100 Jahren und mehr keine metallographische Untersuchungsergebnisse von der Feuerbüchse, dem Stehkessel oder dem Langkessel vor.
- Entsprechende Ermittlungen wurden nur an wenigen Kesseln im Zusammenhang mit Instandsetzungen und Beurteilung der Schweisseignung durchgeführt.
- Das Risiko einer Werkstoffveränderung kann ohne Erkenntnis nicht bewertet werden.
- Wir empfehlen den Betreibern deshalb, mit mobilen Prüfungen (siehe 8.4) die Ungewissheit über eine eventuell betriebsbedingt entstandene Veränderung der Materialeigenschaften aufzuklären.

B.2 Konstruktionsprinzipien an historischen Lokomotivkesseln

Dampflokomotivkessel weisen alte Konstruktionsmerkmale mit entsprechenden Eigenschaften auf. Diese erfüllen meist nicht in allen Belangen die heutigen definierten Vorgaben und den Stand der Technik. Zudem liegen meistens keine Sicherheitsnachweise nach neuesten Vorschriften vor. Dafür liegen für diese historischen Fahrzeuge meistens umfangreiche Betriebserfahrungen früherer Einsatzperioden vor.

Eisenbahnverkehrsunternehmen, Dampfbahnvereine und private Betreiber müssen sich vor dem Einsatz historischer Dampflokomotiven mit diesem epochebedingten Unterschieden und dem Zusammenwirken zwischen dem Fahrzeug und Infrastruktur auseinandersetzen. Bei historischen Fahrzeugen kann die positive Betriebserfahrung früherer Einsätze zur Beurteilung der ausreichenden Sicherheit beigezogen werden. Für den Betriebseinsatz, sowie die Überwachungs- und Instandhaltungsmassnahmen sind die erkannten Differenzen zum Stand der Technik angemessen zu berücksichtigen.

Unter Druck stehende Anlageteile der Dampf-, Druckluft- und Hydraulikanlagen auf Dampflokomotiven sind gemäss der **Druckgeräteverwendungsverordnung vom 15. Juni 2007** vor deren Inbetriebnahme den vorgeschriebenen Inspektionen und Druckproben zu unterziehen.

Die Eisenbahnverkehrsunternehmen, Dampfbahnvereine und private Betreiber stellen sicher, dass die vorgeschriebenen Prüfungen durch die autorisierten Stellen fristgerecht durchgeführt und dokumentiert werden. Sie sind für die Instandhaltung verantwortlich. Sie stellen sicher, dass die erforderlichen Arbeiten ausschliesslich unter Führung kompetenter und erfahrener Fachleute geplant, durchgeführt und dokumentiert werden.

Der technischen Betreuung von unter Druck stehenden Anlagen auf historischen Fahrzeugen ist unter den Aspekten der **Alterung, Ermüdung, Korrosion, Wechselbelastung** besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Für die Planung der notwendigen Instandhaltungsarbeiten sind die originalen Unterlagen und Aufzeichnungen des historischen Fahrzeugs einzubeziehen. Zur Planung des laufenden Unterhalts sind Alterung, Belastung, Beobachtungen des Betriebspersonals und der allgemeine Zustand der sicherheitsrelevanten Baugruppen zu berücksichtigen. Inspektionsintervalle sind entsprechend diesen Erkenntnissen anzusetzen.

Nachträgliche Änderungen

Die Betriebsbewilligung bezieht sich auf den technischen Zustand in der Phase der Antragstellung. Wird ein historisches Fahrzeug später an sicherheitsrelevanten Funktionen oder Baugruppen umgebaut, oder wird es später für einen anderen oder erweiterten Betriebseinsatz verwendet, so muss dies vor erneuter Inbetriebnahme durch das BAV genehmigt werden.

Für den Einbau neuer Systeme in historische Fahrzeuge und den Umbau von Systemen in solchen Fahrzeugen sind die im Zeitpunkt des Ein- oder Umbaus gültigen Vorschriften massgebend. (EBV 742.141.1 Art. 58)

B.3 Häufige Beschädigungen an den drucktragenden Kesselelementen

WS Wasser-/Dampfseite
RG Rauchgas-/Feuerseite
AS Aussenseite

Kalk- und Russablagerungen beeinträchtigen die Wärmeübertragungsfunktion der betroffenen Bauteile und verhindern die Sicht-Kontrolle. Die Teile sind überhitzungsgefährdet und können beschädigt werden.

Element	W S	R G	A S	Schadenarten	Massnahmen
---------	--------	--------	--------	--------------	------------

Kupfer-Feuerbüchse genietet				Abzehrungen flächig im Stehbolzenfeld	Zulässigkeitsgrenze
				Unterschreitung der min. erforderlichen Wanddicken	Teilersatz
				Krempebrüche (Umbug)	Kontrolle, Ausdehnung
				Stegrisse um die Bohrungen der Rohrwand	Schraubbüchsen-einsatz
				Matratzenbildung, örtliche Überhitzung	Zulässigkeitsgrenzen Wanddicke, Wölbung

Kupfer-Feuerbüchse geschweisst				Abzehrungen flächig im Stehbolzenfeld	Zulässigkeitsgrenze
				Unterschreitung der min. Wanddicke	Teilersatz
				Matratzenbildung, örtliche Überhitzung	Kontrolle Wölbung
				Stegrisse um die Bohrungen der Rohrwand	Schraubbüchsen-einsatz
				Schweissnähte mit Rissanzeigen	Risse eliminieren Nachschweissen

Stahl-Feuerbüchse geschweisst				Abzehrungen flächig im Stehbolzenfeld	Zulässigkeitsgrenze
				Unterschreitung der min. erf. Wanddicke	Teilersatz
				Risse in den Rohrschweissungen	Eliminieren Nachschweissen
				Stegrisse in der Rohrwand	Eliminieren Nachschweissen
				Schweissnähte mit Rissanzeigen	Risse eliminieren Nachschweissen

Stehkessel genietet				Abzehrungen flächig, muldenartig	Zulässigkeitsgrenze Nachweis Wanddicke
				Korrosionsfurchen über dem Bodenring Tiefe > als min. zul. Wanddicke	Auftragschweissung Teilersatz
				Korrosionsfurchen und Mulden generell Tiefe > als min. zul. Wanddicke	Auftragschweissung Teilersatz
				Verformungen, Aus-Einbeulungen	Untersuchung

Stehkessel geschweisst				Abzehrungen flächig, muldenartig	Zulässigkeitsgrenze Nachweis Wanddicke
				Korrosionsfurchen über dem Bodenring Tiefe > als min. zul. Wanddicke	Auftragschweissung Teilersatz
				Korrosionsfurchen und Mulden generell Tiefe > als min. zul. Wanddicke	Auftragschweissung Teilersatz
				Risse an den Schweissnähten	Eliminieren Nachschweissen
				Verformungen, Aus-Einbeulungen	Untersuchung

WS Wasser-/Dampfseite RG Rauchgas-/Feuerseite AS Aussenseite DS Dampfseite	<i>Kalk- und Russablagerungen beeinträchtigen die Wärmeübertragungsfunktion der betroffenen Bauteile und verhindern die Sicht -Kontrolle. Die Teile sind überhitzungsgefährdet und können beschädigt werden.</i>
---	--

Element	W S	R G	A S	Schadenarten	Massnahmen
Langkessel genietet				Muldenkorrosionen in der Sohle vereinzelt, tiefer als min. zulässige Wanddicke	Rechn. Nachprüfung Auftragschweissung
				Muldenkorrosionen in der Sohle flächig, Tiefe unter der min. zul. Wanddicke	Teilersatz
				Kesselsteinbelag >0.5 mm, Schiefen	Reinigen
Langkessel geschweisst				Muldenkorrosionen in der Sohle vereinzelt, tiefer als min. zulässige Wanddicke	Rechn. Nachprüfung Auftragschweissung
				Muldenkorrosionen in der Sohle flächig, Tiefe unter der min. zul. Wanddicke	Teilersatz
				Schweissnähte mit Rissanzeigen	Eliminieren, Nachschweissen
				Bei Neuberohrung	MT-Prüfung 100% LN + RN
Dom				Undichtigkeit am Flansch	Nacharbeit
				Undichtigkeit am Domdeckel	Nacharbeit
				Beschädigte Gewindebolzen	Ersatz
Rauchrohre				Undichtigkeit durch Lochkorrosion	Ersatz
				Querschnittsverengung durch Russ	Reinigung
				Kesselsteinbelag >0.5 mm	Reinigung
				Korrosion Übergang Cu-Stutzen/Stahlrohr hinter Lötung, kreisförmig am Stahlrohr	Ersatz
				Unterschreitung der min.Wanddicke	Ersatz
Siederohre				Undichtigkeit durch Lochkorrosion	Ersatz
				Querschnittsverengung durch Russ	Reinigung
				Kesselsteinbelag >0.5 mm	Reinigung
				Korrosion Übergang Cu-Stutzen/Stahlrohr hinter Lötung, kreisförmig am Stahlrohr	Ersatz
				Unterschreitung der min.Wanddicke	Ersatz
Überhitzer- Rohre	DS			Undichtigkeit durch Lochkorrosion	Ersatz
	DS			Unterschreitung min.Wanddicke	Ersatz
	DS			Korrodierte Umkehrnadeln Unterschreitung min. Wanddicke	Ersatz
	DS			Alle 6 Jahre Kontrolle und Druckprüfung	Ausbau Reinigung Rauchrohre

WS	Wasser-/Dampfseite	<i>Kalk- und Russablagerungen beeinträchtigen die Wärmeübertragungsfunktion der betroffenen Bauteile und</i>
RG	Rauchgas-/Feuerseite	
AS	Aussenseite	<i>verhindern die Sicht -Kontrolle. Die Teile sind überhitzungsgefährdet und können beschädigt werden.</i>
DS	Dampfseite	

Element	W S	R G	A S	Schadenarten	Massnahmen
---------	--------	--------	--------	--------------	------------

Rauchkammer- rohrwand				Krempe durch Schwefelwasser abgezehrt	Auftragschweissung oder Teilersatz
				Nietköpfe abgezehrt	Ersatz
				Rohrwanddicke im unteren Segment	Teilersatz Segment
				Undichte Rohreinwalzungen	Nachwalzen
				Risse in der Rohrschweissung	Eliminieren Nachschweissen
				Stegrisse	Eliminieren Nachschweissen

Rauchkammer Statisch tragend Kesselaufleger				Flächen und Muldenkorrosion durch schwefeliges Wasser	Auftragschweissung oder Teilersatz
				Korrodierte Schweissnähte	Nachschweissen

Dampf- einströmröhre	DS			Verformungen	Ersatz
	DS			Risse an den Schweissnähten	Eliminieren Nachschweissen
	DS			Unterschreitung min.Wanddicke	Ersatz

Verbindungs- und Verankerungs- elemente				Stehbolzen ohne Kontrollbohrung	Nacharbeiten, Ersatz
				Deckenanker ohne Kontrollbohrung	Nacharbeiten, Ersatz
				Cu-Stehbolzen mit abgezehrtem Kopf	Zulässigkeitsgrenze Ersatz
				Stehbolzen mit Bruch oder Anriss (Kontrolle der benachbarten Bolzen mittels Spiegel, Endoskopie)	Ersatz Untersuchung
				Deckenanker mit Bruch oder Anriss (Kontrolle der benachbarten Anker mittels Spiegel, Endoskopie)	Ersatz oder Nachweis Untersuchung
				Stahl-Stehbolzen mit Riss in der Schweissnaht	Riss eliminieren Nachschweissen
				Deckenanker mit Einschnürung über der Cu-FB (elektrochemische Korrosion)	Zulässigkeitsgrenze ermitteln Ersatz
				Halbrundnieten mit abgezehrtem Kopf	Zulässigkeitsgrenze Ersatz
				Nietkopf abgezehrt in Cu-Feuerbüchse	Ersatz durch Schraubniete
				Längsanker mit Riss	Eliminieren Schweissung

Sicherheits- schmelzpfropfen				Schmelzlegierung zurückgebrannt	Ersatz
---	--	--	--	---------------------------------	--------

B.4 Metallographie und Prüfungen, Ermittlung der Materialeigenschaften

Qualifikation der Prüforganisationen

Prüforganisationen, welche mechanisch-technologische Prüfungen, metallographische Untersuchungen und chemische Analysen mobil oder im Labor an Lokomotivkesseln durchführen, müssen nach **EN ISO 17025 akkreditiert** sein.

Prüforganisationen, welche zerstörungsfreie Prüfungen an Lokomotivkesseln durchführen müssen nach **EN ISO 9712** zertifiziert sein.

Die Prüfer müssen für die einzelnen Prüfarten mindestens auf **Stufe 2** zertifiziert sein.

Zerstörungsfreie Prüfungen ZfP

Werden zur Messung von Wanddicken, zur Ermittlung der Materialeigenschaften, als Ergänzung zur Sichtprüfung und für die Qualitätskontrolle nach Schweiss- und Lötarbeiten eingesetzt.

Mechanisch-technologische Prüfungen, zerstörende Materialprüfungen

Bei fehlenden Angaben kann auf diese Weise der Nachweis der Werkstoffkennwerte erbracht werden.

Mit den ermittelten Kennwerten kann die Auslegung und Dimensionierung erfolgen.

Die Kerbschlagbiegeprüfung ist die geeignete Prüfmethode, um eine allfällige Versprödung nachzuweisen.

Metallographie hilft die Gefügestruktur und die Gefährdungen des Werkstoffs festzustellen.

Veränderungen durch chemische, thermische und mechanische Belastungen (Alterung) Thomas-Stähle sind auf Grund ihrer chemischen Zusammensetzung anfällig auf den Mechanismus der Alterungsversprödung. Da bei der Herstellung dieser Stähle mit Luft gefrischt wurde war die Aufnahme von Stickstoff unvermeidlich. Gerade in un- und niedrig legierten Stählen ist Stickstoff oft in die Kategorie der störenden Begleitelemente einzuordnen. In nicht abgebundener Form kann er sich an den Korngrenzen anlagern (Nitridnadeln, Einlagerungsverbindungen mit harten Kristallen) und im Laufe des Alterungsprozesses die Zähigkeit negativ beeinflussen.

Das Problem an erhöhten Stickstoffgehalten ist, dass sich im Laufe der Zeit submikroskopische Ausscheidungen bilden, die sich auf die Kerbschlagzähigkeit des Stahls negativ auswirken.

Durch den tiefen Kohlenstoffgehalt (>0.1%) kann schalenförmig an den Korngrenzen ausgeschiedener Teritärzementit auftreten, der einen zusätzlich versprödenden Einfluss auf den Stahl hat. Siehe Gefügeuntersuchung 8.4

Verbunden ist diese Erscheinung mit einer zunehmenden Anfälligkeit gegenüber interkristalliner Spannungsrisskorrosion. Die verwendeten Wasserkonditionierungszusätze sind hinsichtlich der Spannungsrisskorrosionsgefährdung zu überprüfen.

Chemische Analyse

Anhand der chemischen Analysewerte und der Gefügestruktur kann eine grobe Einteilung der Stahlproben bezüglich ihrer Schweißeignung durchgeführt werden.

Mechanisch-technologische Prüfungen ZP, Chemische Analysen Metallographische Untersuchungen

M = mobil, ohne Beschädigung des Bauteils, Prüfflächen angeschliffen, poliert und geätzt

L = Laborprüfungen an Proben

	Prüfart	Ermittlung
--	---------	------------

Zerstörende Materialprüfungen ZP, mechanisch-technologische Prüfungen

	L	Zugversuch mit Dehnungsmessung	Bei Raumtemperatur (RT) und Betriebstemperatur Rm N/mm ² , Re N/mm ² , Bruchdehnung %
--	---	---------------------------------------	--

	L	Kerbschlagbiegeversuch	Standardproben, Kleinproben Nachweis von Versprödung Experimentelle Ermittlung des Umwertungsfaktors an Kleinproben aus Vergleichswerkstoff bei RT und 0°C Einheit J oder J/cm ²
--	---	-------------------------------	---

	L	Biege- und faltversuch	Riss- und Dehnungsprüfung
--	---	-------------------------------	---------------------------

Härtemessungen			
M		Rückprallhärteprüfer	Angeschliffene Prüffläche Werte HB
	L	Härteprüfung nach Vickers, Brinell, Rockwell	
		Umwertung von Härtewerten nach DIN 50150	A Tabelle zur Härteumwertung von unlegierten und niedrig legierten Stählen auf die Zugfestigkeit

Quantitative chemische Analyse

M	L	Funkenemissions-Spektrometrie	Angeschliffene Fläche
			Vergleichsproben zur Kalibrierung
			Nachweis der chemisch reinen Elemente
			Metalle und Nichtmetalle in % g/100g

Metallographische Untersuchungen

M		Ambulante Metallographie mit Mikroskop	Bei geeigneten geometrischen Verhältnissen
		Gefügeuntersuchungen	Replikafolienabdrücke bei beengten Verhältnissen
	L	Mikroskopische Gefügeuntersuchungen	Mikroschliffe geätzt, poliert
	L	Makroskopische Gefügeuntersuchungen	Makroschliffe geätzt, poliert

	L	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	
	L	Energiedispersive Röntgenspektrometrie	Nachweis der chemischen Elemente
		EDX-Spektrum	Z. Bsp. Nichtmetallische Einschlüsse und Nitridnadeln in Stahl oder nichtmetallische Einschlüsse, Phosphor und Sauerstoff in Kupfer.

Zerstörungsfreie Prüfungen ZfP

M = mobil, ohne Beschädigung des Bauteils, Prüfflächen angeschliffen

L = Laborprüfungen an Proben

	Prüfart	Ermittlung
--	---------	------------

Zerstörungsfreie Prüfungen ZfP

M	L	Sichtprüfung VT	Oberflächen, Konturen, Werkstoffe, Überwachung Wissen als Grundlage zur Feststellung von Fehlern
		Hilfsmittel Endoskopie, Spiegel, Mikroskopie	Die mit direkter VT nicht ersichtlichen Bereiche z.Bsp. benachbarte Stehbolzen nach Demontage von einem gebrochenen Stehbolzen.
		Messwerkzeuge als Ergänzung zur VT	Vergleich: Unbekannte Grösse mit Masseinheit Durchmesser von Stehbolzen, Ankern und Nieten

M	L	Eindringprüfung PT (Oberflächen-Prüfungstechnik)	Nach der Oberfläche offene Fehler (Risse) Anwendung für Bauteile aus Stahl und Kupfer Fertigungs- und betriebsbedingte Fehler
---	---	---	---

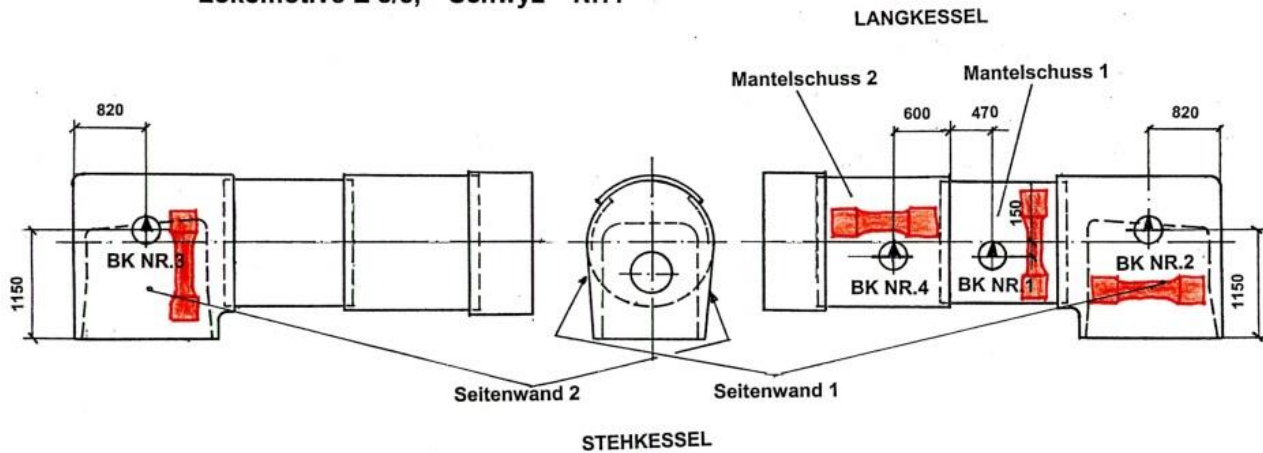
M	L	Magnetpulverprüfung MT (Oberflächen-Prüfungstechnik)	Nach der Oberfläche offene Fehler (Risse) nur für ferromagnetische Werkstoffe Instandsetzungen, Schweissnahtfehler betriebsbedingt entstandene Fehler
---	---	---	--

M	L	Ultraschallprüfung UT	Wanddickenmessungen an Stahl und Kupfer Ermittlung der Schallgeschwindigkeit VL Kupfer Kalibrierung am Prüfojekt Kalibrierung am Referenzprüfstück Richtwert VL Kupfer 4'700 m/s
		Volumetrische Prüfungstechnik	Doppelungen, Materialtrennungen Einschlüsse (Luft, N-Metalle, Verunreinigungen) Bindefehler an Schweissungen Kontrolle der Bindung bei Auftragschweissungen Kontrolle von Deckenanker und Stehbolzen ohne Kontrollbohrung auf Bruch

M	L	Durchstrahlungsprüfung RT Volumetrische Prüfungstechnik	Bindefehler und Risse an Schweissungen Luft und Fremdmaterialeinschlüsse
---	---	--	---

M	L	Wirbelstrommessungen ET Modifiziertes Verfahren	Hinweis auf potentielle Stickstoffalterung Nachweis von Versprödung Referenzen: Thomas-Stähle mit bekannter Kerbschlagarbeit Referenz zäh: > 27 J / 0°C Referenz spröde: ca. 10 J / 0°C Wirbelstromsignalwerte zäh: 2400 - 2500 Wirbelstromsignalwerte spröde: 1800 - 1900
---	---	--	--

Entnahme von Proben, Probenorientierung



Orientierung der Proben zur Walzrichtung

Bohrkern Nr. 1: **Längs**

Bohrkern Nr. 2: **Quer**

Bohrkern Nr. 3: **??**

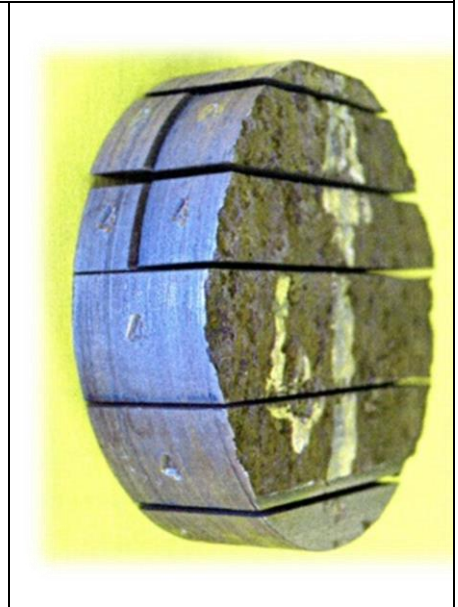
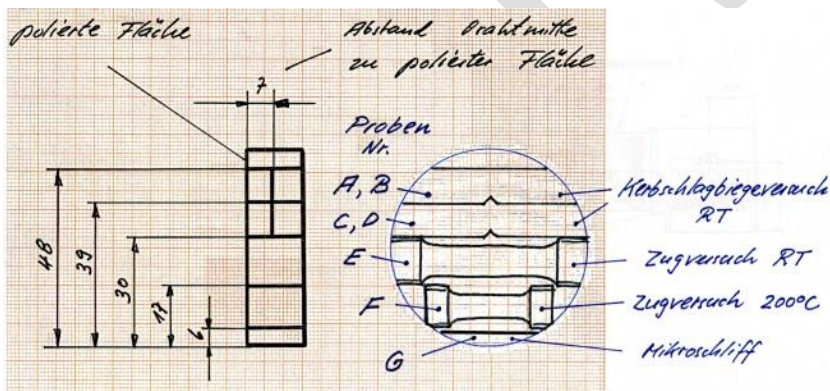
Bohrkern Nr. 4: **Quer**

Die Festlegung der Probenorientierung basiert auf:

Orientierung des Bohrkerns & Befund der Metallographie zum Bauteil

Befund der Metallographie

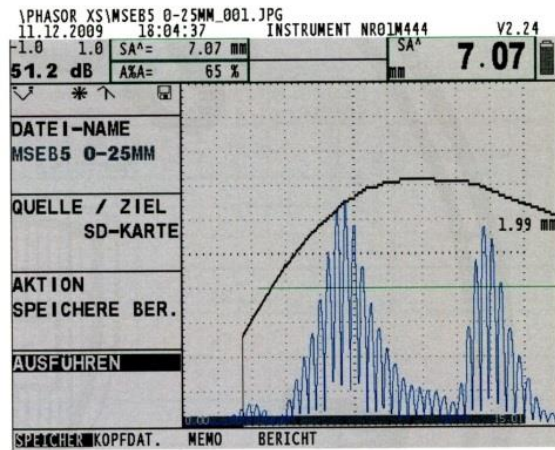
Orientierung des Bohrkerns zum Bauteil



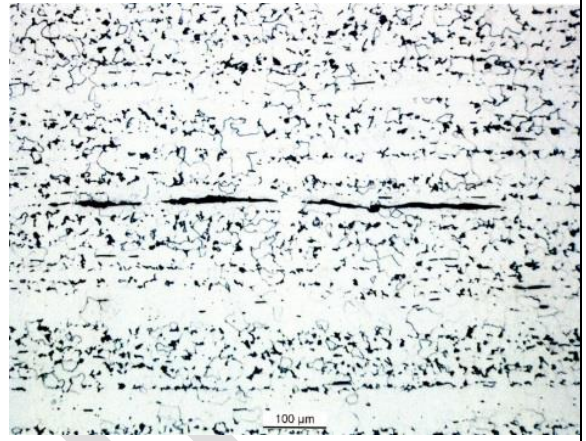
Die Entnahme von Bohrkernen zur Ermittlung von Materialeigenschaften eignet sich besonders für alte Kessel aus Puddelstahl, bei denen die Schweißseignung sehr kritisch ist. Die Bohrungen können mit einer Gewindescheibe wieder verschlossen werden, vorausgesetzt, die Ausschnitte sind durch den Wandungsüberschuss genügend verstärkt.

Gefügeuntersuchungen an Flusseisen "Puddelstahl", Thomas-Stahl und Kupfer

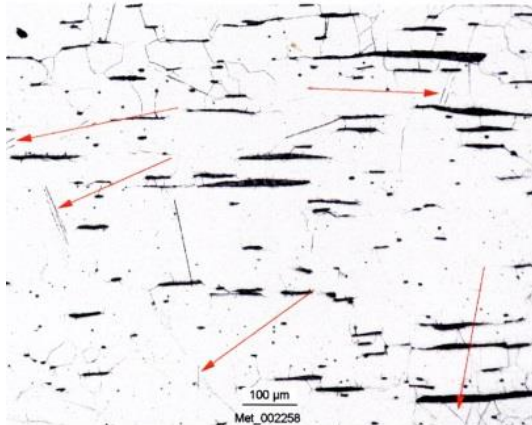
Fehlerechoanzeige in 7.07 mm Tiefe
Reflektorgrosse entspricht einer Kreisscheibe
von \varnothing 2.0 mm
Rückwandechoanzeige der Wanddicke bei 12,7 mm



Ferritisch perlitisches Gefüge mit zeiligem Perlit.
Ausgeprägte Einschlusszeile (*Thomas-Stahl 1907*)
Diese erschweren durch ihre Reflexionen die UT-
Wanddickenmessungen. Siehe Bild links.



Geätzter Mikroschliff. Ferritische Gefügeausbildung mit
zahlreichen nichtmetallischen Einschlüssen und
Nitridnadeln (Pfeile). *Puddelstahl 1887*



Thomas-Stahl 1914

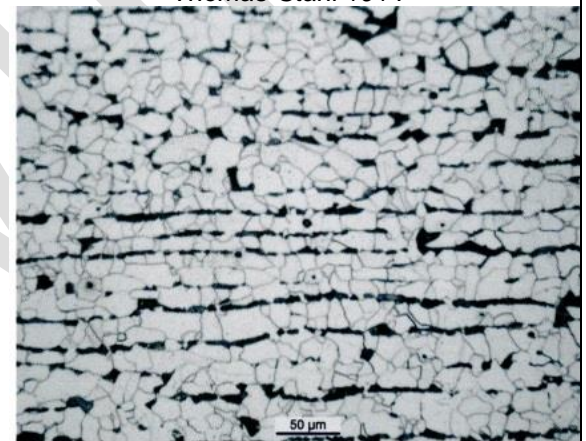


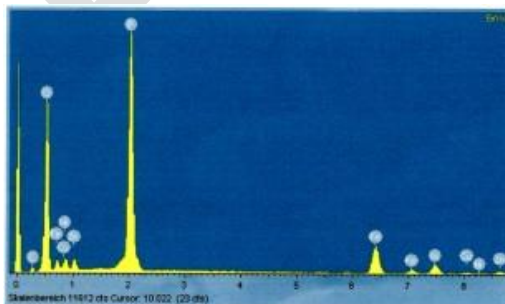
Bild 2: Probe 2: geätztes Mikrogefüge. Ferritisches Gefüge mit feinlamellarem Perlit in zeiliger Anordnung. Des Weiteren sind globulare Oxide, Mangansulfid und Tertiärzementit an den Korngrenzen sichtbar.

Kupferbohrkern aus Feuerbüchse Haddenheimer-Kupferwerke 1914

Bohrkern
 \varnothing 10 x 18 mm



Oxydische Einschlüsse herstellungs-
bedingt in unveränderter Form.



EDX-Spektrum einer Einschlusszeile. Hauptelemente Phosphor und Sauerstoff

Phosphoroxyside, Überreste vom
Desoxidieren. Die Zeilen verhindern
zum Teil die UT-Messungen

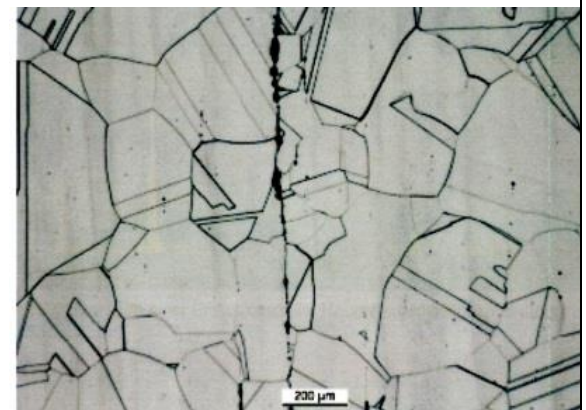


Bild 5: Geätzter Mikroschliff. Regelmässige, grobkörnige Polyeder mit Einschlusszeile

Gefügeuntersuchung von Spannungsrisskorrosion SRK

Deutliche Rissanzeigen nach MT-Prüfung



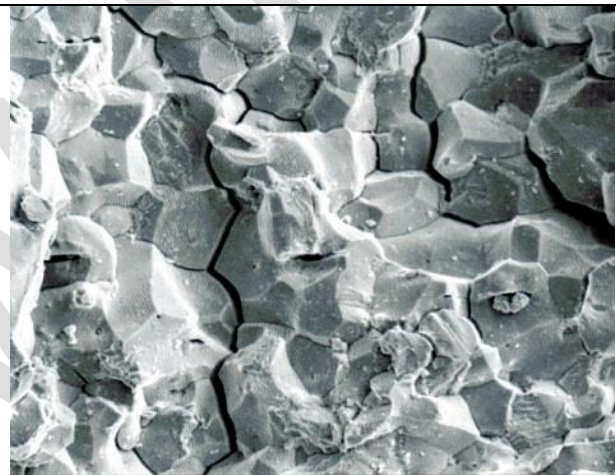
Blechteil vor der Herausnahme



Blechmaterial Wasserseite geöffneten Riss



Bild 1: Übersichtsaufnahme des Blechmaterials aus der Dampflokotive, Wasserseite. Die Schadstelle (geöffneter Riss) ist eingezeichnet.



Bruchfläche Interkristalliner Bruchverlauf

Auf Grund der Untersuchungsergebnisse kann ausgesagt werden, dass es sich beim Rissbildungsmechanismus um **Laugensprödigkeit** handelt. Bei der Laugensprödigkeit handelt es sich um eine Form der Spannungsrisskorrosion, die an niedrig legierten Stählen in basischen Medien auftritt, wobei mit steigendem pH-Wert der Mechanismus häufiger wird. Die nötigen Spannungen liegen oft als Eigenspannungen von Kaltverformungsprozessen vor. Besonders empfindlich sind Stähle mit höheren Stickstoffgehalten, wie sie für historische Stähle, die nach dem Thomas-Verfahren erschmolzen wurden, typisch sind.

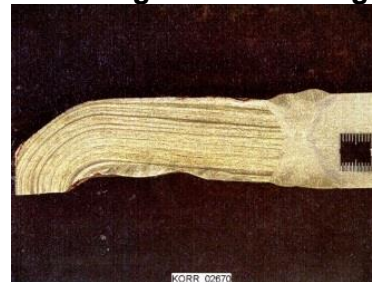
Charakteristisch für den Mechanismus ist der festgestellte interkristalline Rissverlauf mit den Verzweigungen. Zur Vermeidung ähnlicher Schäden muss die Berührung mit basischen Medien (z.B. Ammoniak, Kalziumhydroxid etc.) vermieden werden.

Bei der Wasserkonditionierung ist entsprechend der pH-Wert einzustellen und ein adäquater Puffer zu erstellen.

Beurteilung der Schweisseignung

Anhand der chemischen Analysewerte und der Gefügestruktur kann eine grobe Einteilung der Stahlproben bezüglich ihrer Schweisseignung durchgeführt werden. In der Tabelle sind Maximalwerte von verschiedenen Legierungselementen aufgeführt, bei deren Unterschreitung von einem gut schweissgeeigneten Werkstoff für allgemeinen Baustahl gesprochen werden kann. In der Tabelle ist ebenfalls ersichtlich, welche Auswirkungen die Elemente bei Überschreitung des Grenzwertes auf die Schweissverbindung oder des Grundmaterial haben können.

Element	Grenzwert in %	Nachteilige Folgen
Kohlenstoff (C)	0,2 – 0,25	Aufhärtung
Phosphor (P)	0,05	Risse
Schwefel (S)	0,05	Heissrisse
Stickstoff (N)	0,01	Alterung
Nickel (Ni)	1,5	Aufhärtungs- begünstigung
Mangan (Mn)	1,0	
Chrom (Cr)	0,3	
Molybdän (Mo)	0,3	

**Bsp. H-Elektroden-
Lichtbogenschweissung**

Gute Bindung trotz Seigerungen
Die Verunreinigungen hatten im
Schweissbad genügend Zeit an die
Oberfläche zu entweichen

Die bisher im Zusammenhang mit Instandsetzungen entnommenen Proben aus den Stählen der historischen Lokomotivkesseln zeigen ein überwiegend ferritisches Gefüge mit zahlreichen groben nichtmetallischen Einschlüssen.

Die mit metallkundlichen Untersuchungen festgestellten Gefügebildungen sind typisch für sogenannte Puddelstähle, wie sie vor 100 Jahren eingesetzt wurden. Phosphor-, Schwefel- und Stickstoffgehalt sind deutlich höher als bei den heute üblichen Stählen. Diese können zu Problemen beim Schweißen führen.

Bezüglich der Schweissbarkeit sind Puddelstähle erfahrungsgemäss als kritisch bzw. bedingt schweisbar zu bezeichnen. Auf Grund der tiefen Schmelzpunkte der Schlackeneinschlüsse besteht die Gefahr von Terrassen- und Holzfaserverbrüchen. Zusätzlich besteht bei hohen Stickstoffgehalten Versprödungsgefahr. (künstliche Alterung durch Wärmeeinfluss beim Schweißen) Bei hohen Schwefelgehalten besteht die Gefahr von Heissrissen und ein zu hoher Gehalt kann die Schweisseignung sogar verwehren.

Durch das Aufschmelzen der Schlacken wird das Schmelzbad stark verunreinigt – der Stoffschluss zwischen Zusatzwerkstoff und Grundwerkstoff wird verhindert. Durch die zeitigen Schlackeneinschlüsse entstehen Materialtrennungen, die eine Kraftübertragung verhindern. Dadurch ist das notwendige duktile Fliessen zum Abbau der Spannungsspitzen nicht möglich. Die Phosphorzeitigkeiten wirken sich zusätzlich verspröden auf das Material aus.

Eine genauere Aussage über das Verhalten der untersuchten Stahlproben beim Schweißen ist anhand der Untersuchungsergebnisse meist nur beschränkt möglich.

Vor einer Sanierung schadhafter Partien am Stehkessel oder Langkessel ist die Durchführung von Schweissversuchen mit Originalmaterial für die Bestimmung der Schweissparameter (Zusatzwerkstoff, Gas, Verfahren) unerlässlich.

B.5 Schweissproben mit altem und neuen Material

Prüfbericht einer Arbeitsprüfung

IWT-Nr.: 11.5071
IWM No.:

Art des Dokumentes: **Prüfbericht**
Document type / Type de document:

Titel: **Schweissverfahrensprüfung in Anlehnung an SVTI 505**
Subject / Titre:

Prüfgegenstand: **Blech - Blech Stumpfnah**
Test object / Objet à essayer:

Werkstoff: **P265GH (neues Blech)& altes Blech**
Material / Matériau:

Chargen-Nr.:
Batch No. / Coulée no.:

Probe-Nr.: **WT 1**
Sample No. / Eprouvette no.:

Total Seiten: 6 (inkl. Titelblatt incl. front page / incl. page frontal)
total pages / pages totales:

Bestellung: Order / Commande: **VP - 10.01.2011**
Wareneingang: Arrival / Entrée: 10.01.2011 überbracht

Auftraggeber:
Client / Client:

Auftrag: **RT & PT Prüfung**
Task / Tâche: **Biegeversuche, Kerbschlagbiegeversuche, Zugversuche und Makroschliff nach Absprache**

Inhalt: **Prüfergebnisse** Seite
Content / Contenu: **Test results / Résultat d'essai** Page / Page

1. RT & PT Prüfung	2 - 3
2. Biegeprüfung	4
3. Zug- und Kerbschlagbiegeprüfung	5
4. Makroschliff	6

Verteiler: Auftraggeber (1) Auftragsdossier (1)
Distribution / Distributeur: Client / Client Archive / Archives

Blechausschnitt aus dem Stehkessel



Blech-Blech-Stumpfnah
P265GH neues Blech + altes
Blech 400 x 200 mm



Arbeitsprüfung
nach dem Schweißen



<p>Mechanische Prüfung Mechanical Test Contrôle mécanique</p>		<p>Attest-Nr. 11.5071 Certific. no.</p>										
<p>Prüfergebnisse Test results Résultat d'essai</p>		<p>Seite 5 page / page</p>										
<p>Besteller: Client Commande</p>		<p>Best. Order: VP - 10.01.2011 Commande</p>										
<p>Anforderung nach Requirements according to Exigence selon</p>												
<p>EN 10028-2:2003 (D) für P265GH bei RT: Rm min. 410N/mm²; Rp 0.2% Dehngrenze bei +200°C: min. 205 N/mm²</p>												
<p>Zugversuch Tensile test essai de traction</p>												
<p>EN ISO 6892-1 / EN 895</p>												
Nr. no.	Pos. Loc. Pos.	Art *) Sort *) nature *	Abmessung Dimensions Dimensions [mm x mm]	R _{0.2} [N/mm ²]	R _m [N/mm ²]	F _m [kN]	A anionien L ₀ [mm] 50	Z [%]	Bruchlage fract. locat. Cass. posit.	Temp. Temp. Temp. °C		
1-3	PA	TW	ø10.0	258	395	30.84	20.5	66	PM	+21		
1-4	PA	TW	ø10.0	265	368	28.30	16.8	62	PM	+202		
										Altes Blech		
<p>*) TW = Quer zur Naht - Irav. To the weld - transvers soudure AW = Schweissgutprobe - All weld metal - métal déposé PM = Grundwerkstoff - parent material - métal de base H = WEZ (Wärmeinflusszone) - HAZ - ZAT W = Schweissgut - weld metal - métal déposé GWL = Bruch ausserhalb L₀-fracture outside L₀-cassure hors de L₀</p>												
<p>Kerbschlagbiegeversuch Notched bar impact test Essai de résilience</p>				<p>EN 10045-1 / EN 875</p>		<p>Art: KV</p>		<p>Anforderung [J] Requirements [J] Exigences [J]</p>		<p>min.27</p>		
Nr. no.	Pos. Loc. Pos.	Kerblage Notch location Sens de l'entaille	Grösse size dimens. [mm]	Temp. Temp. Temp. [°C]	1 [J]	2 [J]	3 [J]	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ [J]				
1-5	PA	VWT 0/1	10x8	5	111	79	75	88				
1-6	PA	VHT) 1/1 (P265GH)	10x8	5	263	292	298	284				
1-7	PA	VHT1/1 (altes Blech)	10x8	5	64	49	32	48				
<p>Kerblage: notch location - sens de l'entaille: W = Schweissgut - weld metal - métal déposé H = WEZ - HAZ - ZAT T = Senkrecht - perpendicular - perpendiculaire S = parallel zur Oberfläche - parallel to surface - parallel au direct. de surface</p>												

<p>Mechanische Prüfung Mechanical test Contrôle mécanique</p>		<p>Prüfbericht-Nr. 10.6009 Test report No. Rapport d'essai no.</p>	
<p>Zugversuch EN 10002-1 / DIN 50125 Tensile test Essai de traction</p>		<p>Seite 2 von 2 Page</p>	
<p>Bestell-Nr. KV Purchase order No. No. de commande</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Kerbschlagbiegeversuch EN 10045-1 Charpy impact test Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Auftraggeber Client</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Probennr. KV Sample No. Eprouvette no.</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Werkstoff KV Material Matériau</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Chargen-Nr. KV Batch No. Coulée no.</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Prüfgegenstand KV Object à essayer</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Sollwerte nach Nominal values acc. to Valeur nominale selon</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Probennr. L Q L Q L Q Sample No. Eprouvette no.</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Lage Orientation</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Sollwerte Nominal values Valeur nominale</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>S₀ [mm²]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>R_{p0.2} / R_{p1.0} [N/mm²]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>R_m [N/mm²]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>A [%]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Z [%]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>KV 1 [J]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>KV 2 [J]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>KV 3 [J]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Mittelwert Mean [J]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>KV 1 [J]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>KV 2 [J]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>KV 3 [J]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	
<p>Mittelwert Mean [J]</p>		<p>bei 0°C / +10 / +23°C at</p>	

*) Probenlage aus dem Probestück: L=längs; Q=quer; T=tangential; R=radial
Orientation of the sample: L=longitudinal; Q=transversal; T=tangential; R=radial
Position de l'éprouvette: L=longitudinal; Q=transversal; T=tangential; R=radial

Metallographische Prüfung
Makroschliff
WT 1-8Prüfbericht-Nr. 11.5071
Seite 6

Abb. 1 Probe Nr. 1-8
Makrogefüge der Schweissverbindung
links "altes" Blech - rechts "neues" Blech
Befund: Fehlerfreier Nahtaufbau und einwandfreie Durchschweissung

Angaben zum Stehkesselblech aus dem Protokoll über die erstmalige Druckprobe des Kessels 1914 Flusseisen vom Lieferant Krupp Essen.

Werkstoffkennwerte: R_m max. 418 N/mm², min. 360 N/mm².

Als Vergleich hat Werkstoff P265GH eine R_m min. 410 N/mm² und eine $Re_{0,2}$ von 265 N/mm².

Auf Grund der analysierten chemischen Zusammensetzung des ausgeschnittenen Stahlblechs am Kessel kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei dem verwendeten Werkstoff um einen so genannten Thomasstahl handelt.

Thomasstähle sind wegen ihrer chemischen Zusammensetzung anfällig auf den Mechanismus der Alterungsversprödung. Da bei der Herstellung dieser Stähle mit Luft gefrischt wurde, war die Aufnahme von Stickstoff unvermeidlich. Das Problem an den erhöhten Stickstoffgehalten ist, dass sich im Laufe der Zeit submikroskopische Ausscheidungen bilden, die sich auf die Kerbschlagzähigkeit des Stahls negativ auswirken. Die submikroskopischen Ausscheidungen bewirken ein Blockieren der Versetzungsbewegung, welche für die plastische Deformation des Stahles nötig ist.

Bei statischen Beanspruchungen bzw. geringen Belastungsgeschwindigkeiten, wie sie z.B. während dem Zugversuch vorliegen, sind keine negativen Auswirkungen erkennbar. Der Stahl weist im Zugversuch bei 20°C und 200°C normgerechte Werte auf.

Die Kerbschlagzähigkeit (ISO-V) sinkt durch die versprödenden Ausscheidungen bis auf ca. 10 J bei 0°C ab. Bei Qualitätsstählen ist heute eine Kerbschlagarbeit von 27J bei -20°C gefordert. Im vorliegenden Fall dürfte die Stickstoffalterung eine untergeordnete Rolle spielen, da der Kessel im Betrieb warm ist und somit die Sprödbruchgefahr nicht vorliegt.

B.6 Alte Stahl- Kesselwerkstoffe**Puddelstahl und Flusseisen**

Viele Nachuntersuchungen an alten Brücken zeigten, dass die Stähle bezüglich Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchdehnung die Sollwerte des Nachfolgestahls St 37 erfüllt hätten. Gemäss DIN 17100 (1985) kann man sich deshalb bei einer ursprünglichen Blechdicke von 20 mm an folgenden Sollwerten von St 37-2, Werkstoff-Nr. 1.0038, (S 235 JRG2) orientieren.

■ Zugfestigkeit Rmmin	360 N/mm ²
■ Obere Streckgrenze ReH	26% (längs) bzw. 24% (quer)
■ Streckgrenzwert bei 200°C	min. 161 N/mm ²
■ Bruchdehnung A5	26% (längs) bzw. 24% (quer)
■ Kerbschlagarbeit bei RT und 0°C	ISO-V Probe min. 27 J/cm ² oder 34 J

Die rechnerischen Spannungsnachweise für **unbeheizte Stahlkesselbauteile** wurden vom SVTI bei fehlenden Angaben mit den Materialkennwerten des Baustahls S 235 JRG2 geführt. Für die Berechnung der min. erforderlichen Wanddicken von **beheizten Kesselbauteilen** im Strahlungsteil wurden die Kennwerte des warmfesten Baustahls HI, Werkstoff-Nr. 1.0345, P 235GH eingesetzt.

In den Protokollen über die erstmalige Druckprüfung des Kessels wurden bei den Werkstoffen der Bauteile aus Stahl meistens nur die minimale und maximale Zugfestigkeit bei Raumtemperatur, die Bruchdehnung in%, sowie das Lieferantenwerk die Hütte oder die Fabrik angegeben. Die Angaben über die minimale Zugfestigkeit in den Protokollen von 1880 -1930 liegen meist gleich oder höher als beim Stahl St 37-2. Die Dehnungsangaben liegen im Bereich zwischen 20% und 35%. Auf der Werkstofftagung Stahl und Eisen in Berlin 1927 wurde eine Abbildung publiziert, wo der Abfall der Streckgrenze von ca. 20% der damals üblichen unlegierten Flussstähle im Temperaturbereich 20 – 200°C aufgezeichnet war.

Ähnliche Ergebnisse finden sich auch in der Abhandlung 278 des Kaiser-Wilhelm-Institutes für Eisenforschung im Jahre 1935.

Die Ergebnisse der durchgeführten Zugproben an den Materialproben bestätigten die angegebenen Festigkeitswerte und den Abfallbereich der Streckgrenzwerte bei Betriebstemperatur

Bei den aktuellen Kesselbaustählen ist heute eine Kerbschlagarbeit von 27J bei 0°C gefordert. Für St 37-2, Werkstoff-Nr. 1.0038, (S 235 JRG2) liegt der geforderte Nachweis bei 27 J bei 20°C. Dieser Wert wurde bei allen im Zusammenhang mit Instandsetzungen durchgeführten Kerbschlagbiege-Proben erreicht. Die Kerbschlagzähigkeit (ISO-V) sinkt durch die versprödenden Ausscheidungen im Flusseisen bis auf 10 J bei 0°C ab.

Werkstoffstruktur und Tragverhalten

Sowohl die Mikroschliffe und auch die Bruchstruktur der Kerbschlagbiegeproben weisen auf die Schichtstruktur an den untersuchten Materialproben aus den alten Kesselblechen hin.

Bei einem genieteten Kessel kann bei vielen Bauteilen davon ausgegangen werden, dass die Hauptbeanspruchung in der Blechebene und in der Walzrichtung liegen. In diesem Fall ist von der Schichtstruktur des Werkstoffes kaum ein nachteiliger Einfluss auf das Tragverhalten zu erwarten.

Die Voraussetzung dafür ist dass das Grundmaterial keine Veränderungen durch chemische, thermische und mechanische Belastungen (Alterung und Versprödung) erlitten hat.

Die Prüfmethode zur Erkennung einer solchen Gefährdung sind unter Punkt B.4 beschrieben.

Auswahl neuer Stahlwerkstoffe für Lokomotivkesselbauteile

Bauteile	Werkstoff Nr.	Materialbezeichnung	Zertifikat	Zugfestigkeit Rm 20°C N/mm ²	Streckgrenze 0,2RpN/mm ² 20°C / 200°C	Dehnung A5 %	Temperatur Grenze °C
Stehkesselbleche Genietet + geschweisst	1.0425	P265GH	3.1	≥450	230 / 180	40	300
Langkesselschuss Genietet + geschweisst	1.0425	P265GH					
Feuerbüchswände geschweisst	1.0425	P265GH					
Feuerbüchsdecke geschweisst	1.0425	P265GH					
Feuerbüchsröhrwand geschweisst	1.0425	P265GH					
Rauchkammerrohrwd geschweisst	1.0425	P265GH					
Rauchkammer	1.0425	P265GH					
Rauchrohre	1.0435	P235GH	3.1	≥360	215/170		450
Bei Dampfkühlung	1.0435	P235GH					
Siederohre	1.0435	P235GH					
Bei Dampfkühlung	1.0435	P235GH					
Cu-Stutzen an Rohre gelötet	2.009	Cu-DHP	3.1				
Einströmrohre	1.0435	P235GH	3.1	≥360	215/170		450
Bodenring	1.0425	P265GH					
U-Bodenringprofil	1.0425	P265GH					
Feuerlochring	1.0425	P265GH					
Deckenanker geschraubt	1.0570	S355J2G3	3.1	≥360	235/161		300
geschweisst							
Stehbolzen geschraubt	1.0570	S355J2G3					
geschweisst	1.0570	S355J2G3					
Flanschplatten geschraubt	1.0425	P265GH					
FL-Gewindebolzen	1.0570	S355J2G3					
Nieten	1.0435	P235GH	3.1	≥264	185/143		400
Nietkopfschrauben	1.0570	S355J2G3					

Kupferwerkstoffe für Lokomotivkesselbauteile

Mit der Lokomotive feiert zugleich die kupferne Feuerbüchse bald ihren 190. Geburtstag. Schon die englische „Rocket“ hatte 1829 eine kupferne Feuerbüchse.

Ausschlaggebend für die Verwendung von Kupfer als Werkstoff für Feuerbüchsen ist dessen gute Wärmeleitfähigkeit und seine grosse Formänderungsfähigkeit.

Die kupfernen Wände werden im Betrieb hohen Anforderungen ausgesetzt. Bei den neueren Grosslokomotiven werden in der Stunde bei 1300°C stündlich 2000 kg Kohlen bei einem Dampfverbrauch von 13'000 kg/h in der Feuerbüchse verbrannt. Also eine gewaltige Anforderung an die Werkstoffeigenschaften der Wände dieses „glühenden Magens“.

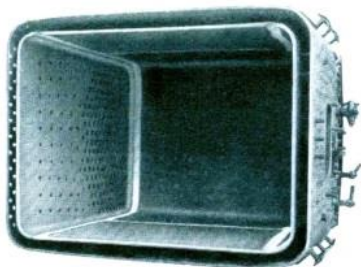
Mitbestimmend für die Wahl des Kupfers war die Wärmeleitfähigkeit von 320 kcal/mh °C, die im Vergleich zu derjenigen des Eisens mit nur 40 kcal/mh °C etwa **acht mal grösser** ist. In der Folge bleibt bei der kupfernen Feuerbüchse das Wärmegefälle innerhalb der Kupferwand sehr klein, so dass sich die Temperaturen an der Feuerseite und an der Wasserseite nur etwa **40°C** voneinander unterscheiden.

Als Werkstoff wurde in Deutschland im allgemeinen Hüttenkupfer A nach DIN 1708 und 1787 verwendet mit einem Reinheitsgrad von mindestens 99%. Im fehlenden Prozent dürfen Arsen und Nickel vorhanden sein, wovon auf Arsen höchstens 0.5% entfallen darf.

Die Zugfestigkeit beträgt mindestens 220 N/mm², die Dehnung mindestens 38% bei proportionaler Messlänge.

Abzehrungen führen immer wieder zu Einsatz von Flickern. Diese wurden **früher und bis heute** mittels Schraubnieten und vom Wasserraum her eingebrachten Nieten befestigt. Diese viel Sorgfalt erfordernde und zeitraubende Arbeit ist sehr aufwändig.

Es bedeutete daher einen grossen Fortschritt, als es gelang, solche Flickern nicht mehr auszunieten sondern **einzuschweissen**. Zur Behebung der Abzehrungen um die Stehbolzenköpfe herum wurden auch die Stehbolzen aus warmfesten Kupferlegierungen in die Kupferwand eingeschweisst und homogen und blecheben mit der Wand verbunden.



Für Lokomotiven in der Schweiz wurden in 60er-Jahren einige Ersatz-Feuerbüchsen komplett geschweisst und gebohrt und die Einzelteile von Hand gekümpelt.

Als Werkstoff wurde SB-Kupfer (Cu As P) entsprechend DIN 17666 verwendet. Materialproben ergaben bei 250°C ein Streckgrenzwert von 109N/mm² und liegt nahe am Wert von SF-Cu F24 (2.0090) in kaltverfestigtem Zustand.

Instandsetzungs-Schweissungen an eingebauten Cu-Feuerbüchsen wurden in der Zeit seit der Überwachung nach 1978 durch den SVTI nicht durchgeführt. Einerseits fehlen den Instandsetzungsfirmen die erforderlichen Verfahrensprüfungen und die Erfahrung für diese seltene und anspruchsvolle Anwendungstechnik, andererseits erschweren die eingeschränkte Zugänglichkeit und die Vorwärmtemperaturen diese Arbeit sehr stark.

In den Protokollen über die erstmalige Druckprüfung des Kessels wurden bei den Werkstoffen der Bauteile aus Kupfer meistens nur die minimale und maximale Zugfestigkeit bei Raumtemperatur, die Bruchdehnung in%, sowie das Lieferantenwerk die Hütte oder die Fabrik angegeben. Die Angaben über die minimale Zugfestigkeit in den Protokollen von 1880 -1930 liegen meist im Bereich von SFCu 24.

Die Dehnungsangaben liegen im Bereich zwischen 40% und 45%.

Für die Berechnung der min. erforderlichen Wanddicken von **beheizten Kupfer-Kesselbauteilen** im Strahlungsteil wurden die Kennwerte von SF-Cu F24 eingesetzt.

Auswahl neue Kupferwerkstoffe für Lokomotivkesselbauteile

Gegenüberstellung DHP und Kupfer mit Arsen legiert.

As-Gehalte bewirken eine Verbesserung der Zunderbeständigkeit und eine Erhöhung der Warmfestigkeit. Aus diesem Grunde werden As-haltige Kupfersorten, beispielsweise A-Cu, B-Cu und SB-Cu im Apparatebau und im Lokomotivbau verwendet.

Gegenüber dem SF-Cu Kupfer ist die Wärmeleitfähigkeit tiefer: 0.24 – 0.49 cal/cm.s.°C
SF-Cu-Kupfer: 0.57 – 0.86 cal/cm.s.°C

Selbst wenn Kesselsteingegenmittel wirkungsvoll eingesetzt werden, ist ein voller Erfolg nicht zu erreichen. (Erfahrungen aus den Inspektionen im Stillstand).. DHP-Kupfer mit der höheren Wärmeleitfähigkeit hat bei der Verdampfung und bei Bauteilen, an denen sich Kesselstein angesetzt hat, einen Vorteil.

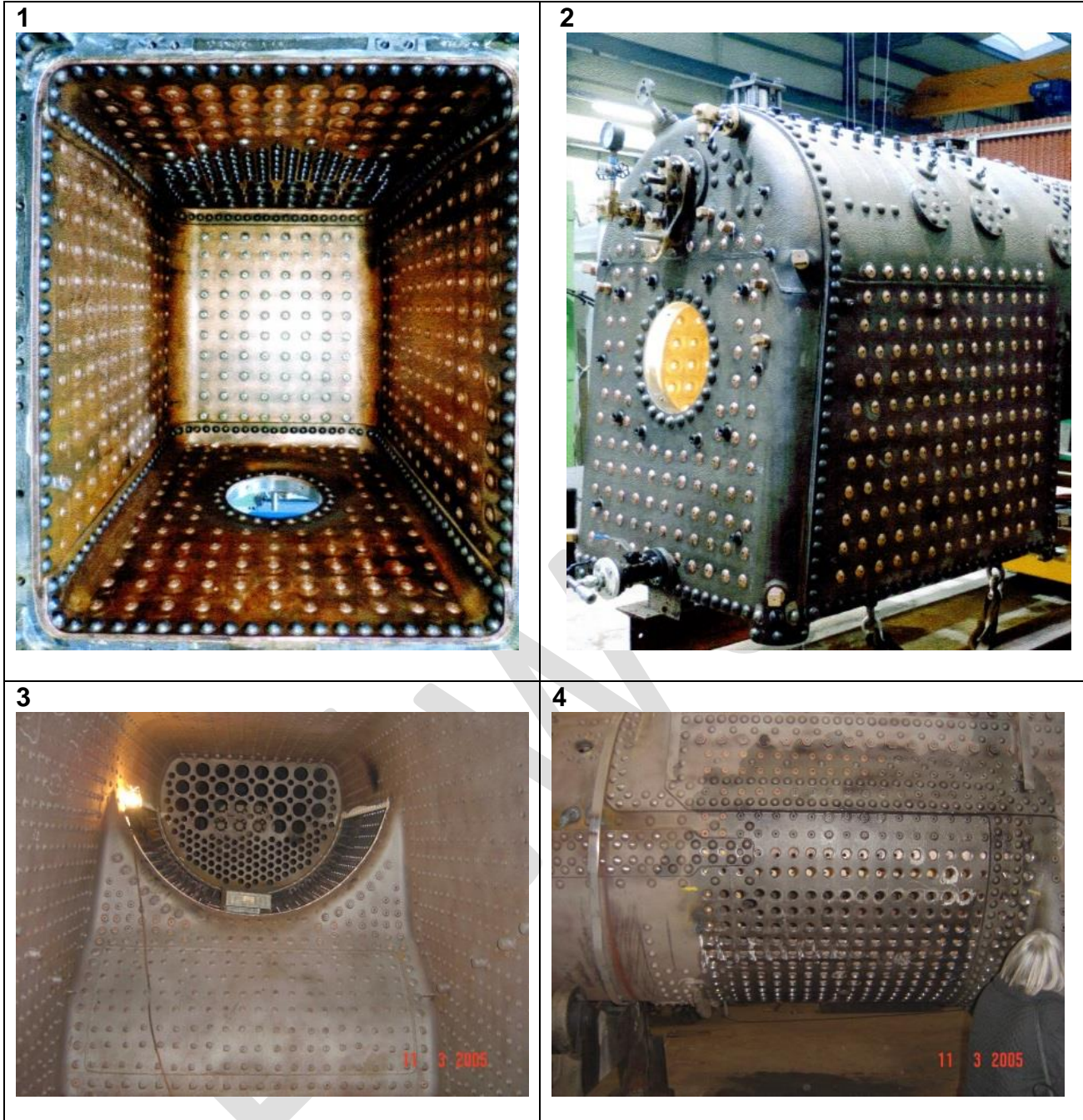
Werte für kaltverfestigter Zustand

Bauteile	Werkstoff Nr.	Materialbezeichnung	Zertifikat	Zugfestigkeit Rm 20°C N/mm ²	Streckgrenze 0,2RpN/mm ² 20°C / 250°C	Dehnung A5 %	Temperatur Grenze °C
Feuerbüchswände genietet + geschweisst	2.0090 SB-Cu	Cu-DHP240 CuAsP	3.1 3.2	≥240 ≥210	180/110 180/110	≤15 ≥35	250 250
Feuerbüchsdecke genietet + geschweisst	2.0090 SB-Cu	Cu-DHP240 CuAsP					
Feuerbüchsrohrwand genietet + geschweisst	2.0090 SB-Cu	Cu-DHP240 CuAsP					
Cu-Stutzen an Rohre gelötet	2.0090	Cu-DHP240					
Stehbolzen gedreht	2.0090 SB-Cu	Cu-DHP240 CuAsP Cu-ETP	3.1		180/100	≤ 20	250
Nietkopfschrauben	2.0090	Cu-DHP240					

Lichtbogenschweissen von Kupfer an Feuerbüchsnachbauten und für Instandsetzungen

- Reinkupfer, Kupfer mit geringen Legierungsbestandteilen
- Oxydfrei, oxydhaltig < 0,1% (SB-Cu), Phosphor desoxidiertes Kupfer (DHP)
- Oxydfreies und P-deoxidiertes Kupfer lässt sich besser schweissen
- Schweissverfahren: hauptsächlich MIG + WIG
Hand-Lichtbogen ist möglich,
Autogen mit Flussmittel ist gut möglich
- An Stelle von Argon wird oft Helium oder Ag/He-Gemisch eingesetzt.
- Best geeigneter Zusatzwerkstoff SG-CuSn
- Schmelzpunkt 1083°C
- Bei sauerstoffhaltigem Kupfer ist die Bildung von Wasserdampf möglich. Dies kann zu Poren und Rissen führen

B.7 Instandsetzungstechnik Beispiele

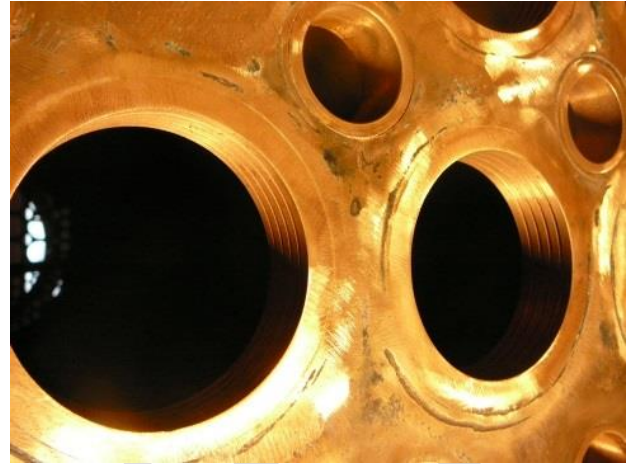


- 1 Fachgerecht angefertigte neue Kupferfeuerbüchse in genieteteter Ausführung. Als Kupfer-Werkstoff wurde eine Legierung mit Arsen (0.35-0.55%) gewählt.
- 2 Stehkessel mit neuen Kupferstehbolzen und Stahldeckenanker als Verbindungselemente mit der neuen Feuerbüchse.
- 3 Schalenblechersatz in der Feuerbüchse-Vorkammer einer Grosslokomotive
- 4 Vorbereitung der Bohrungen im Langkessel und im Schalenblech vor dem Einschweissen der Stahlstehbolzen.

1



2



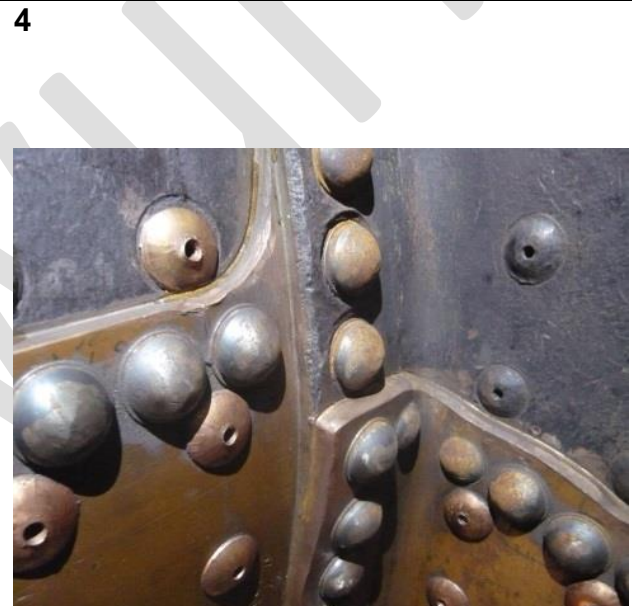
3



4

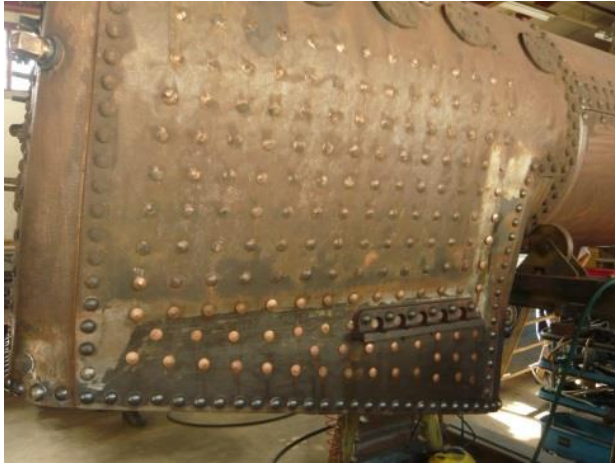


- 1 Kupfer-Feuerbüchsenrohrwand mit Kupfergewindingen in allen Bohrungen für die Rauch- und Siederohre. Die Bohrungen waren nach mehrmaligem Rohrwechsel unrund und beschädigt.
- 2 Die Kupfergewindinge sind in der Bohrung mit Rillen versehen. Beim Einwalzen der Rohre mit Kupferstutzen entsteht zusätzlich zur Haftung eine formschlüssige Verbindung.
- 3 Stahlfeuerbüchse nach der Instandsetzung von Rissen über dem Bodenring in den Krepfen.
- 4 In den Krepfen wurden neue Bleche eingeschweisst.



- 1 Mechanische Bearbeitung der Verjüngung der Krepfenradien nach dem Biegen.
- 2 Teilersatz der rechten Kupfer-Feuerbüchswand bei der Vormontage.
Als Verbindungselemente mit der bestehenden Feuerbüchse werden Stahl-Schraubnieten eingesetzt. Für die Verbindung mit dem Bodenring dienen Stahlnieten. Für die Verankerung mit dem Stehkessel werden Kupferstehbolzen eingeschraubt.
- 3 Kupfer-Feuerbüchse nach dem Ausschneiden der Bleche bei denen die minimal erforderliche Wanddicke unterschritten war.
- 4 Detailansicht des Übergangs der Seitenwand zur Vorderwand nach der Instandsetzung

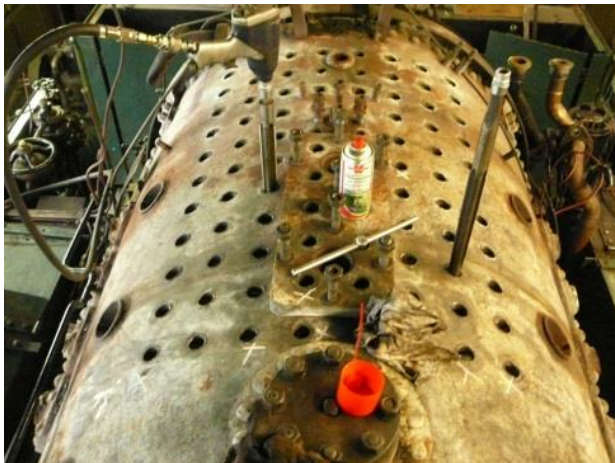
1



2



3



4

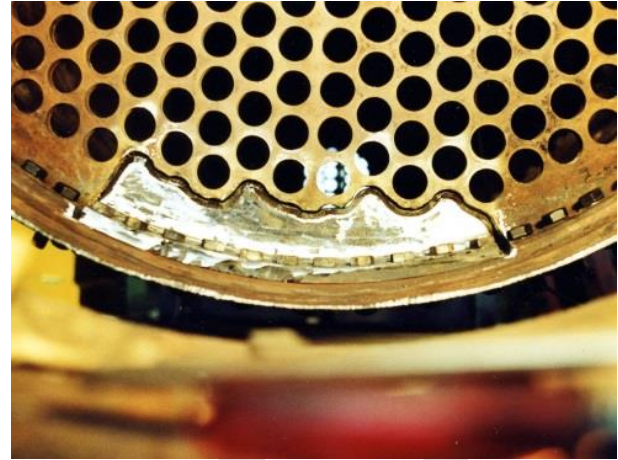


- 1 Stehkessel mit Teilersatzblech in der Seitenwand unten.
Grund für diese Instandsetzung waren Risse, welche um die Stehbolzenbohrungen und über dem Bodenring mit MT-Prüfung festgestellt wurden.
- 2 Neuer Rauchkammerschuss an einem Schmalspurlokomotivkessel.
Schwefelhaltiges Kondensat hat die alte Kammer durch Flächen und Muldenkorrosion in der Sole beschädigt. Durch den Werkstoffverlust wächst die Gefahr des Versagens bei statischer Belastung
- 3 Vorbereitung für den kompletten Ersatz der geschraubten Stahl-Deckenanker
- 4 Klassischer "Seitenwandflick" an einer Kupfer-Feuerbüchse

1



2



3



4



- 1 Korrodiertes Rauchkammer-Rohrplattensegment.
- 2 Das neue Segment ist für eine X-Naht vorbereitet und für die Schweissung mit dem Langkesselschuss verschraubt. Nach dem Schweißen werden die Schrauben weggenommen und das Segment im entspannten Zustand mit dem Schuss vernietet.
- 3 Neuer Rauchkammerschuss gerundet und geschweisst für einen grossen Lokomotivkessel.
Die durch Korrosionen beschädigte Rauchkammer ist hinten sichtbar.
4. Eine tiefe Korrosionsfurchen in der Stehkesselkrempe machte den Teilersatz mit einem neuen Blech erforderlich

B.8 Qualifikation der Hersteller

Schweissarbeiten an Lokomotivkesseln

Für **ganze Nachbauten** von Dampflokomotivkesseln benötigt der Hersteller eine Zulassung gemäss Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU Anhang , Absatz 3.1 und Verordnung über die Sicherheit von Druckgeräten SR 930.114 zur Herstellung von Objekten im Werk. Die Hersteller müssen die schweisstechnischen Anforderungen der SN DIN EN ISO 3834 Teil 3 für Neubauten erfüllen.

Für **Schweissarbeiten im Rahmen der Instandsetzungsarbeiten** an Lokomotivkesseln sind die materiellen Anforderungen gemäss Absatz 3 des AD 2000 Merkblattes HP 0 „Allgemeine Grundsätze für Auslegung, Herstellung und damit verbundenen Prüfungen“ sinngemäss anzuwenden.

Die Hersteller müssen verantwortliches Aufsichtspersonal für die Fertigung haben oder extern beauftragen. Die Anforderungen an die Schweissaufsicht und die Schweisser sind in AD 2000-Merkblatt HP3, die Anforderungen an die Prüfaufsicht und die Prüfer in AD 2000-Merkblatt HP4 festgelegt.

Hersteller von geschweissten oder nach anderen Verfahren gefügten (z.B. gelöteten) Druckbehältern haben der zuständigen notifizierten Stelle* in einer dem Herstellungsverfahren angepassten Verfahrensprüfung nachzuweisen, dass sie die angewendeten Schweissverfahren oder anderen Schmelzfügeverfahren beherrschen. Das gilt für Hersteller in der Schweiz und im Ausland. Ergänzungsprüfungen sind notwendig, wenn z.B. Werkstoffe, Abmessungen oder Fügeverfahren über den Geltungsbereich der Verfahrensprüfung hinaus geändert werden.

Die Hersteller müssen über Einrichtungen verfügen**, um die Werkstoffe sachgemäss verarbeiten und die notwendigen Prüfungen durchführen zu können. Werden Fertigungsarbeiten wie Formgebungsarbeiten oder Wärmebehandlung anderen Stellen übertragen, müssen auch diese die auszuführenden Arbeiten die Bedingungen nach der Herstellung im Sinne der HP 0 erfüllen.

Jede **Reparatur- und Instandsetzungsschweissung** ist im Vorfeld mit dem SVTI abzusprechen. Der SVTI prüft die schweisstechnischen Unterlagen und Qualifikation des/der Schweisser(s) und fordert gegebenenfalls die Qualifizierung nach vorgezogener Arbeitsprüfung, EN ISO 15613. Für Reparaturschweissungen und für den Fall, in dem die Qualitätsanforderungen nach EN ISO 3834 nicht nachgewiesen werden können, entscheidet der SVTI über das weitere Vorgehen.

Vor dem Einschweissen von Blechen an historischen Lokomotivkesseln ist folgendes zu beachten. Da die chemische Zusammensetzung der Werkstoffe von historischen Kesseln gegenüber dem Basiswerkstoff der Verfahrensprüfung abweichen kann, ist vor dem Einschweissen von Blechteilen (Flicken) die Schweisseignung des alten Werkstoffs abzuklären. Mit dem herausgeschnittenen Blechteil und dem neuen Blech ist eine Arbeitsprüfung durchzuführen.

Der Umfang für die ZfP-Prüfungen der Schweissungen am Lokomotivkessel kann abweichend zu den Technischen Regeln auf Grund des erhöhten fertigungsbedingten Fehlerrisikos durch die Eigenschaften des alten Materials durch den SVTI erhöht und erweitert werden.

* Notifizierte Stellen gemäss Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU Anhang, Absatz 3.1

** Es können auch Einrichtungen anderer Stellen, die die Voraussetzungen erfüllen, in Anspruch genommen werden.

Hartlotverbindungen an Lokomotivkesseln Zertifizierung von Löttern und Lötverfahren

DIN EN 13133: Hartlöten, Hartlöterprüfung.

Diese seit Dezember 2000 gültige Norm ist die massgebliche Vorschrift für die Hartlöterqualifizierung. Diese Norm ist jedoch relativ frei ausgerichtet. Sie ermöglicht eine Anpassung der Prüfstücke und Werkstoffe an die tatsächlichen Fertigungsbedingungen. Im Rahmen der Qualifizierung wird selbstverständlich die Erstellung einer Lötverfahrensanweisung BPS verlangt. Nach DIN EN 13133 wird für die Löterqualifizierung der Nachweis der praktischen Handfertigkeit sowie eine fachkundliche Schulung vorausgesetzt. Ab Kategorie I muss der Hersteller seine Lötter und Lötverfahren gemäss den genannten Normen prüfen.

Im Anwendungsbereich der Druckgeräterichtlinie/Druckgeräteverordnung muss ab **Kategorie II** sowohl der Lötter als auch das Verfahren geprüft werden. Diese Prüfungen können nur durch eine unabhängige Zertifizierungsstelle durchgeführt werden. Nur eine solche „Notifizierte Stelle“ kann die Qualifizierung und Zertifizierung prüfen und dokumentieren und die Bescheinigung nach EN 13133 ausstellen. Die Gültigkeit beträgt 3 Jahre, sofern innerhalb von 6 Monaten Hartlötarbeiten im geltenden Bereich nachgewiesen werden.

DIN EN 13134: Hartlöten/Verfahrensprüfung

Die Prüfung der Lötverfahren erfolgt auf Basis dieser Norm und beinhaltet folgende zu dokumentierende Punkte:

- Grundwerkstoffe
- Lötzusatzwerkstoffe und Flussmittel
- Hartlötprozess (Heizgasgemisch, Lötbrenner)
- Vorrichtungen (falls erforderlich)
- Konstruktion und Geometrie der Bauteile
- Prüfungen und Prüfumfang
- Geltungsbereich

DIN EN 12797 (2000) Zerstörende Prüfungen

- Zugprüfung
- Härteprüfung
- Biegeprüfung
- Metallographie

DIN EN 12799 (2000) Zerstörungsfreie Prüfungen

- Sichtprüfung
- Ultraschallprüfung
- Durchstrahlungsprüfung
- Eindringprüfung
- Druckprüfung

Hartlotverbindungen an den Kupfer-Verrohrungen am Armaturenstock und der Speisewasseranlage, die unter Druck stehen und Heisswasser oder Dampf führen, sind nach dem Stand der Technik auszuführen. Der Hersteller ist verantwortlich für Einhaltung der technischen Regeln

Beispiel einer Hartlötverfahrensanweisung (BPS)

Lötanweisung

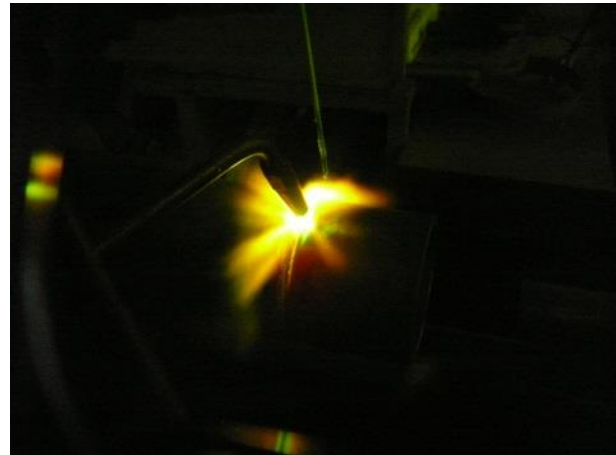
Instruction de brasage

Lötverfahren Procédé de brasage	Flamm-Hartlöten	Grundwerkstoff Métal de base	St 37.8 I Cu-DHP 2.0030
Objekt	Rauchrohr Lok.-Kessel	Lötzusätze Spécification des métaux d'apport	NICROX L-Cu Ni 10 Zn 42
Abteilung Département	Dampflok-Revisionen	Abmessung Prüfstück Dimensions des pièces	siehe Skizze
Lötnahtart Type de joint	Stumpfnah	Art der Vorbereitung und Reinigung Nature de la préparation et du nettoyage	mechanisch schleifen entfetten
Ormequelle Moyen de chauffe		Position Position	PA Wannenlage
Flussmittel Flux	NICROX umanteltes Lot φ 3mm		
Zusatzinformationen Informations complément.	DIN 8513: L-Cu Ni 10 Zn 42 I.S.O. B Cu 49 Zn Ni Si 890-920	890°C - 920°C	
Vorrichtungen / Hilfsmittel (Mise en position des pièces)	Drehbank mit Frequenzmotor		
Reinigung nach dem Löten (Nettoyage des surfaces après le brasage)	ja		
Wärmebehandlung nach dem Löten Traitement thermique après le brasage	nein		
Bemerkungen/ Remarques	DIN EN 12797 Zugprüfung 200°C, Biegeprüfung		
Rohr St 37.8 I mit WAZ und Stempelung	DIN EN 12799		
Cu-Rohr mit WAZ und Stempelung	VT, PT, RT VT		
Datum	Aufsicht	Prüfstelle	

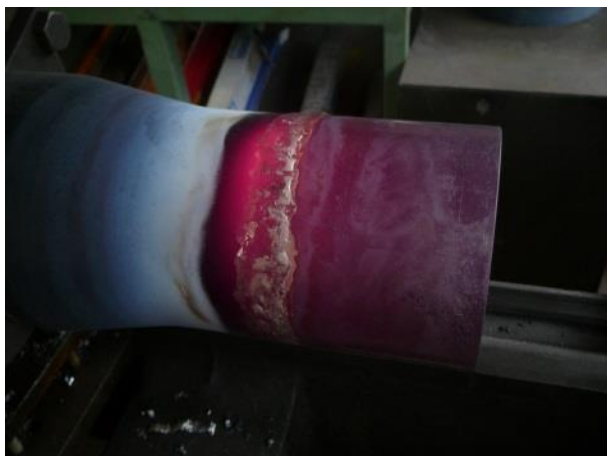
Hartlotverbindungen an Lokomotivkesseln



Eingezogenes und geglühtes Stahlrohr in der Lötvorrichtung mit dem Kupferstutzen und vorbereiteter Stumpfnah, Drehantrieb mit Frequenzsteuerung



Lötvorgang mit Gasbrenner und Lötzusatz



Nach der Erwärmung auf die Löttemperatur von 900°C vermindert sich der Streckgrenzwert des Kupfers um 50% Dies ist bei der Dimensionierung der Rohrabmessungen zu berücksichtigen



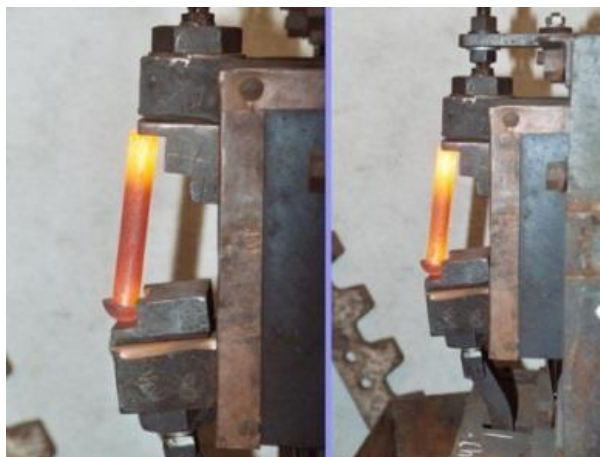
Prüfstück mit fertiger Hartlotverbindung
Prüfungen: Sichtprüfung, VT, Durchstrahlungsprüfung RT, Farbeindringprüfung PT, Zugprobe bei 200°C und Biegeprüfung

Fortgeschrittene elektrochemische Korrosion an der Kupferstutzenverbindung ist im Betrieb ein sehr hohes Gefahrenpotential. Bei der inneren Prüfung im Stillstand müssen die direkt ersichtlichen Verbindungen genau kontrolliert werden. Bei Feststellung von fortgeschrittener Korrosion am Stahlrohr muss davon ausgegangen werden, dass alle Verbindungen gefährdet sind.

Anders als bei einer einzelnen durchgehenden Lochkorrosion Im Rohr kann die Verbindung im ganzen Umfang aufreißen. Das austretende Heisswasser entspannt sich explosionsartig und füllt die Feuerbüchse mit Dampf. Bei einer solchen Havarie wären die die Folgen für das Lokpersonal bei geöffneter Feuerbüchsstüre katastrophal.

Bei fortgeschrittener Korrosion sind die Rohre zu ersetzen.

Formschlüssige und kraftschlüssige Verbindungen an Lokomotivkesseln



*Beispiel Ersatz von einem Feuerlochring
Eingeschraubter Ring
Induktive Glühung der auf berechnete Länge gefertigten
Niete
Umformung nach dem Einsetzen mit dem Presshammer*

Für die Ausführung der formschlüssigen Fügeverbindungen sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

Die Instandsetzer müssen die erforderlichen Fachkenntnisse, Einrichtungen, Werkzeuge, Erfahrung und regelmässige Praxis haben. Beim Ersatz von Nieten müssen die **Dimensionen der Nieten** auf der originalen Ausführungszeichnung eingehalten werden und der Werkstoff für die Warmumformung geeignet sein, Bsp. C15 Schmiedestahl. Für die Nachrechnung der Nietverbindungen am Steh- und Langkessel mit und ohne Laschen kann das Buch " *Nieten und Schweißen der Dampfkessel*" von E. Höhn, Oberingenieur SVDB Ausgabe 1924/25 als Erkenntnisquelle herangezogen werden. Bei den eingeschraubten Kupfer-Stehbolzen ist das Gewinde auf der Feuerseite zu einem Halbrundkopf mit Dichtungsfunktion kalt verformt. Die Festigkeit- und Dichtigkeit wird mit der Druckprobe überprüft. Das Einwalzen der Rohre mit oder ohne Nut in die Rohrplatten kann nach fachgerechter Vorbereitung von Berufsleuten mit Fachkenntnissen und den geeigneten Werkzeugen durchgeführt und die Festigkeit und Dichtigkeit mit einer Druckprüfung kontrolliert werden.

Wärmebehandlung nach der Umformung von Rohren und den Schweißungen

Wärmebehandlungen nach dem Einziehen-, Aufweiten und Biegen der Rohre und wo erforderlich nach dem Schweißen sind nach den gültigen Technischen Regeln durchzuführen und zu protokollieren. (Temperatur-/Zeitdiagramm).

Mechanische Fertigungsarbeiten

Ersatzteile, die durch mechanische Bearbeitung gefertigt werden, können durch den Hersteller oder Personal des Betreibers mit Berufsausbildung und Erfahrung in den entsprechenden Bearbeitungsarten angefertigt werden. Dazu müssen für die Fertigung geeignete Werkzeugmaschinen eingesetzt werden. Ersatzteile sind z. Bsp. Verbindungselemente wie Stehbolzen, Deckenanker, Schraubnieten, Nieten, Flanschen, Flanschdeckel, Gewindestehbolzen usw. aus Stahl oder Kupfer. Die mechanisch bearbeiteten Teile sind vor dem Einbau auf Riss- und Kerbfreiheit zu prüfen. (MT od. PT). Für alle drucktragenden Teile sind die Halbfabrikate in der geforderten **Werkstoffqualität** und mit den entsprechenden **Zertifikaten** zu bestellen. Für die Teile ist eine **Fertigungszeichnung** zu erstellen. Die Qualitätskontrollen sind durch die Hersteller oder durch Personal des Betreibers sicher zu stellen. Die Konformität der Bauteile wird **vor dem Einbau** durch den SVTI geprüft.

B.9 Vorbereitung und Durchführung von Instandsetzungen / Änderungen

KESSELINSPEKTORAT

Richtstrasse 15 / Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044 877 63 11 | Telefax 044 877 62 11

Meldeformular für Instandsetzungen und Änderungen an Druckgeräten

Adresse Auftraggeber
Firmenname:
Strasse:
PLZ Ort:

Referenzperson / Projektleiter	Kontaktperson (falls abweichend)
Name Vorname:	Name Vorname:
Telefon-Nr.:	Telefon-Nr.:
E-Mail:	E-Mail:

Objektbezeichnung		
KIS-PV Nr.:	Fabrikations-Nr.:	
Baujahr:	Zeichnungs-Nr.:	
Standortadresse:		
Objektbetreiber		
Firmenname:		
Strasse:		
PLZ Ort:		
Angaben zum Objekt		
<input type="checkbox"/> Neues Objekt	<input type="checkbox"/> Gebraucht Gebaut nach VO25 Dampf- kessel „SR 832.312.11“ oder <input type="checkbox"/> VO38 Druckbehälter „SR 832.312.12“; gebaut bis spä- testens 30.06.05	<input type="checkbox"/> Gebraucht Gebaut nach Druckgerätericht- linie 97/23/EG neu 2014/68/EU; DGV 819.121

Was wird durchgeführt

<input type="checkbox"/> Instandsetzung	<input type="checkbox"/> Änderung
<input checked="" type="checkbox"/> Schweißarbeiten	<input type="checkbox"/> Schweißarbeiten
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatz Ausrüstungsteile	<input type="checkbox"/> Änderung Ausrüstungsteile
<input type="checkbox"/> Re-Emailierung	<input type="checkbox"/> Änderung des Mediums
<input checked="" type="checkbox"/> Lötarbeiten	<input type="checkbox"/> Temperaturänderung
<input checked="" type="checkbox"/> Einwalzarbeiten	<input type="checkbox"/> Druckänderung
<input checked="" type="checkbox"/> Fräsarbeiten	<input type="checkbox"/> Umnutzung

KESSELINSPEKTORAT

Richtistrasse 15 / Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044 877 63 11, Telefax 044 877 62 11

Auftrag (Es muss eine Auswahl getroffen werden)	
<input type="checkbox"/> Der SVTI soll im Auftrag des Auftraggebers die Entwurfsprüfung erstellen.	<input type="checkbox"/> Der SVTI soll im Auftrag des Auftraggebers die Entwurfsprüfung der zugelassenen Inspektionsstelle prüfen. <i>Der Auftraggeber muss diese vor der Instandsetzung dem SVTI zur Prüfung vorlegen. (Entwurfsprüfung muss zwingend angehängt werden)</i>

Wichtige Adressen

Adresse Hersteller	Adresse Montagefirma
Firmenname:	Firmenname:
Strasse:	Strasse:
PLZ Ort:	PLZ Ort:
Kontaktperson:	Kontaktperson:
Rechnungsadresse (Entwurfsprüfung)	Rechnungsadresse (Zwischenprüfungen)
Firmenname:	Firmenname:
Strasse:	Strasse:
PLZ Ort:	PLZ Ort:
Referenz-Nr.:	Referenz-Nr.:

Bemerkungen:

Ort, Datum

Firmenstempel, Unterschrift

Beilagen	
<input checked="" type="checkbox"/> Projektbeschreibung	<input checked="" type="checkbox"/> Verfahrensprüfungen
<input checked="" type="checkbox"/> Projektablauf	<input checked="" type="checkbox"/> (WPAR) Arbeitsprüfung
<input checked="" type="checkbox"/> Terminplanung	<input checked="" type="checkbox"/> (AP) WPS Schweissanweisung
<input checked="" type="checkbox"/> Ausführungszeichnungen mit Stückliste	<input checked="" type="checkbox"/> Schweißer-Zertifikate
<input checked="" type="checkbox"/> Entwurfsprüfung	<input type="checkbox"/> Konformitätsbescheinigungen
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Durchzuführende Prüfungen im Rahmen der Umsetzung

Entwurfsprüfung (Prüfung vor Ausführung)

- Vorprüfung der geplanten Massnahmen zur Übereinstimmung mit gültigen Standards
 - Bestätigung bzw. Festlegung erforderlicher Prüfungen vor, während bzw. nach Umsetzung der Massnahmen

Die Entwurfsprüfung ist immer vor der Ausführung der Instandsetzungsarbeiten durchzuführen.

Der Entwurf ist zwingend dem SVTI zur Prüfung vorzulegen. Der SVTI stellt im Anschluss die Entwurfsprüfung aus.

Unvollständige Dokumente mit fehlenden Nachweisen die erst nach dem Bau zur Schlussprüfung eingereicht werden, können die Verzögerung oder gar die Aussetzung der Bewilligung für den Weiterbetrieb zur Folge haben. Dasselbe gilt auch, wenn die Verwendung von unzulässigen Werkstoffe festgestellt wird.

Schlussprüfung (Prüfung der Dokumentation über den Zusammenbau)

- Sichtprüfung der Anlage und Kontrolle der zugehörigen Unterlagen auf Erfüllung und Vollständigkeit der angewandten technischen Regeln

Druckprüfung

- Prüfung der Druckteilerneuerung oder des Druckteilumbaus nach angewandten technischen Regeln

Kesselbuch

- Alle Inspektionen, Instandsetzungen, Änderungen und Instandhaltungsarbeiten sind im Kesselbuch zu dokumentieren.
 - Die Konstruktionsunterlagen gehören zum Kessel.
- Beim Besitzerwechsel müssen das Kesselbuch sowie sämtliche Konstruktionsunterlagen als wichtige Bestandteile des Kessels dem neuen Besitzer übergeben werden.

Erforderliche Dokumente zur Entwurfsprüfung (Instandsetzung, Teilersatz, Änderung)

- Ausführungszeichnung
- Festigkeitsberechnung mit Angabe des verwendeten Regelwerks
- Schweiss- und Löttechnische Beilagen
- Werkstoffnachweise
- Art und Umfang der zerstörungsfreien Prüfungen

**KESSELINSPEKTORAT
INSPECTION DES CHAUDIÈRES**

Richtstrasse 15/Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044/877 61 11

Adresse**Postfach
Land-PLZ Ort**

Auftrag Nr.:

KIS.PV:

Bestell-Nr.:

Fabriknummer:

Hersteller:

Baujahr:

Standort: , , , ,

Entwurfsprüfung: Instandsetzung

Sehr geehrte Damen und Herren,

Gemäss Ihrem Auftrag haben wir die eingesandten Unterlagen Anhand der untenstehenden Prüfgrundlagen geprüft:

- Regelwerk/Norm aktuell gültige Ausgabe
- DGVV, Art.15 Instandsetzung und Änderungen an Druckgeräten
- EKAS-Richtlinie 6516, Artikel10
- Andere Erkenntnisquellen nach dem Stand der Technik

Betriebsdaten Objekt

			Wasser-/Dampfraum	Überhitzer	
Min./Max. zul. Betr. Druck	PS	bar	/	/	/
Prüfdruck	Pt	bar			
Min./Max. zul. Betr. Temp.	TS	°C	/	/	/
Inhalt	V	Ltr.			

Projektumfang**Engineering / Vorfabrikation :**

- Planung, Konstruktion, Berechnung und Herstellungsunterlagen gemäss
Beilagen zur Anmeldung

Montage am Objekt

- Beschreibung der geplanten Instandsetzungsarbeiten gemäss
Beilagen zur Anmeldung

**KESSELINSPEKTORAT
INSPECTION DES CHAUDIÈRES**

Richtistrasse 15/Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044/877 61 11

Es wurde folgendes festgestellt:

- Die Prüfung ergab keine Beanstandungen.
- Die in den zugehörigen Unterlagen eingetragenen Hinweise bitten wir zu beachten.
- Die Begutachtung der Werkstoffe erfolgte unter Anwendung der oben genannten Prüfgrundlagen.
- Abweichungen, Zusätze oder Einschränkungen gegenüber der Technischen Spezifikation: keine
- Angewandte, geeignete nicht genormte Prüfverfahren und -anweisungen: keine
- Angewandte geeignete Ergebnissen von Messungen, Untersuchungen und daraus abgeleiteten Ergebnissen: Festigkeitsberechnungen für die zu ersetzenden Komponenten liegen beim SVTI vor.

Weitere Hinweise:

- 1.) Gültige Herstellerzulassung (SVTI 501 bzw. AD2000 HP0, Zertifizierung nach EN 3834-2 oder 3 erforderlich).
- 2.) Die Nachweise über die Zulassung von Arbeitsverfahren, VP, AP, WPS für dauerhafte Werkstoffverbindungen liegen vor.
- 3.) Die Nachweise über die Zulassung von Arbeitsverfahren, VP, AP, WPS sind spätestens vor der Ausführung der Arbeiten noch vorzulegen.
- 4.) Die Nachweise über Zulassungen von Personal, Schweißer Ausweis, für die Ausführung dauerhafter Werkstoffverbindungen liegen vor.
- 5.) Die Nachweise über Zulassungen von Personal, Schweißer Ausweis, für die Ausführung dauerhafter Werkstoffverbindungen sind spätestens bei der Abnahme vorzulegen.
- 6.) Die Nachweise über Zulassungen von Personal für die Ausführung zerstörungsfreier Prüfungen liegen vor.
- 7.) Die Nachweise über Zulassungen von Personal für die Ausführung zerstörungsfreier Prüfungen sind spätestens bei der Abnahme vorzulegen.
- 8.) Prüflagepläne und -Protokolle für ZfP sind spätestens bei der Abnahme vorzulegen.
- 9.) Die Bestätigung der konform durchgeführten Arbeiten und Dokumentation erfolgt durch den SVTI bei Vorliegen der erforderlichen Dokumente und Nachweise.

ZfP-Prüfumfang ZfP Personal Qualifikation nach EN ISO 9712 oder EN 473

Montage: Prüfort		Ausführungstermin:
Sichtprüfung VT	Prüfumfang	- Bewertung nach EN ISO 5817 BGR B, Schweissnähte nach DIN EN ISO 17637
Sichtprüfung VT	Prüfumfang	- Zwischenprüfungen
Andere ZfP-Prüfungen	Prüfumfang	- Bewertung nach zugehörigen EN ISO-Normen
Sichtprüfung VT	Prüfumfang	- Schlussprüfung und Kontrolle der Dokumente- und Nachweise
Druckprüfung	Pt = bar	nach Fertigstellung der Montagearbeiten

**KESSELINSPEKTORAT
INSPECTION DES CHAUDIÈRES**

Richtistrasse 15/Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044/877 61 11

Prüfzeitpunkte:

Die Prüfzeitpunkte sollen so veranlasst werden, dass alle drucktragenden Teile ausreichend besichtigt werden können.

Ist dies im Endzustand nicht möglich, so sind notwendige Zwischenkontrollen im geeigneten Zustand erforderlich.

Die Bau-Schlussprüfung muss in der Anwesenheit des zuständigen Sachverständigen oder des Kreisinspektors durchgeführt werden.

Bitte setzen Sie sich frühzeitig vor Arbeitsbeginn mit der Kontaktperson in Verbindung um mit ihm die durchzuführenden Prüfungen und Termine zu koordinieren.

Montage- Ausführung

SVTI Kreisinspektor

Hr.

Richtistrasse 15

Tel

Mobile

E-Mail

Je eine Ausfertigung haben wir für unsere Akte zurückbehalten.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die unten angeführten Dokumente. Ohne unsere schriftliche Genehmigung darf dieser Bericht nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Wallisellen, Datum

Für die Prüfstelle:

(Name Prüfer, Pers. Stempel)

(Unterschrift Prüfer)

Kontaktadresse:

SVTI

Kesselinspektorat

Richtistrasse 15

CH-8304 Wallisellen

Tel.Hauptnr: +41 44 877 63 11

www.svti.ch

Beilagen:**Dokumente:****Entwurfsprüfbericht Auftr.-Nr.**

mit Vermerk Entwurfsprüfung:

- Projektbeschreibung
- Konstruktionszeichnungen (Dimensionen, Geometrie, Werkst.)
- Berechnungen nach Regelwerk / Norm
- Werkstoffnachweise für die vorgesehenen Bauteile
- Ergebnisse von vorgezogenen Materialuntersuchungen
- Vollständige Schweiss- und Löttechnische Dokumente mit Qualifikation des Personals

Verteiler

Auftraggeber:

Name**Adresse****Land-PLZ Ort**

Original

Betreiber:

Name**Adresse****Land-PLZ Ort**

Kopie

Hinweise zum Einspruchsverfahren: Einsprüche gegen das hier niedergelegte Ergebnis der Entwurfsprüfung können jederzeit mündlich oder schriftlich bei der Kontaktadresse vorgetragen werden.

**KESSELINSPEKTORAT
INSPECTION DES CHAUDIÈRES**

Richtistrasse 15/Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044/877 61 11, Telefax 044/877 62 11

Adresse**Postfach
Land-PLZ Ort**

Auftrag Nr.:

Bestell-Nr.

:

KIS.PV:

Fabriknummer:

Hersteller:

Baujahr:

Aufstellung:

Volumen:

Liter

Konz.-Druck / PS

/ bar

Standort:

Prüfbericht vom XX.XX.XXX**Art der Prüfung**

- | | | |
|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> Entwurfsprüfung | <input type="checkbox"/> Schlussprüfung | <input type="checkbox"/> Druckprüfung |
| <input type="checkbox"/> Prüfung der Sicherheitseinrichtungen | | |
| <input type="checkbox"/> Inspektion im Stillstand | <input type="checkbox"/> Inspektion während des Betriebs | <input type="checkbox"/> Instandsetzung / Änderung |

Prüfgrundlage

Regelwerke:

AD 2000, DIN EN 12953

Verordnung:

DGVV

Normen / Spezifikationen:

ISO EN Andere

Richtlinien

EKAS RL 6516, Andere

Ergänzende technische Daten

Zul. Betriebsüberdruck PS (bar):

Heizfläche (m²):

Zul. Betriebstemperatur TS (°C):

Leistung (kW):

Zul. Vorlauftemperatur (°C):

CE-Kennzeichnung:

Zul. Dampferzeugung (t/h):

Modul / Kategorie:

Prüfort / -datum/ Kundenauftrag

xxx

Prüfgegenstand

Siehe Entwurfsprüfung, Auftrag-Nr.

Prüfumfang/Instandsetzungsumfang (Kurzbeschreibung)

Siehe Entwurfsprüfung, Auftrag-Nr.

KESSELINSPEKTORAT INSPECTION DES CHAUDIÈRES

Richtstrasse 15/Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044/877 61 11, Telefax 044/877 62 11

Bauprüfungen

Messungen/Untersuchungen und daraus abgeleitete Ergebnisse	erfüllt	entfällt	Bemerkungen
1. Qualifikation des Fügepersonals			
2. Qualifikation der Arbeitsverfahren			
3. Nachweise für Grundwerkstoffe u. Schweisszusätze			
4. Rückverfolgbarkeit der Werkstoffe			
5. Wärmebehandlungsbelege			
6. Arbeitsprüfungen			
7. Nachweise über ZfP-Personal			
8. Nachweise über zerstörungsfreie Prüfungen			
9. Kalibrierung der Mess- und Prüfeinrichtungen			Erklärung des Herstellers liegt vor
10. Visuelle Prüfung			
11. Massprüfung			
12. Kennzeichnung			
13. Nachweise über Abweichungen			
Bemerkungen:			

Ergebnisse der Prüfung

- Die vorgenannten Bauprüfungen wurden in Übereinstimmung mit den angegebenen Prüfgrundlagen durchgeführt.
- Vor Abschluss der Prüfung ist eine Mängelbeseitigung erforderlich.
- Die nachfolgenden Anmerkungen sind zu berücksichtigen.
- Die in nachfolgender Auflistung angeführten Dokumente wurden als Prüfgrundlage verwendet und sind Bestandteil des Prüfberichts.

Entwurf

- Der vorgelegte Entwurf entspricht den Prüfgrundlagen
- Die Prüfung des Entwurfs konnte nicht , nur teilweise durchgeführt werden
- Der eingereichte Entwurf des Prüfumfanges ist nicht vollständig dokumentiert

Schlussprüfung

- Die für die Sicherheit des Druckgerätes wichtigen Abmessungen und/oder Ausrüstungen entsprechen der in der Dokumentenliste angeführten Zeichnungen und/oder R&I-Schemata.
- Die Vollständigkeit und Eignung der eingesetzten Bauteile entspricht den Anforderungen, die durch den Entwurf definiert worden sind

Prüfung der Sicherheitseinrichtung

- Die Prüfung der Sicherheitseinrichtungen verlief ohne Beanstandungen
- Die Prüfung der Sicherheitseinrichtungen konnte nicht , nur teilweise durchgeführt werden
- Es liegen Mängel in der Funktion , der Ausführung , der Dokumentation vor

KESSELINSPEKTORAT
INSPECTION DES CHAUDIÈRES

Richtstrasse 15/Postfach, CH - 8304 Wallisellen, Telefon 044/877 61 11, Telefax 044/877 62 11

Anmerkungen / Hinweise

1.) xxx

Folgende Dokumente werden zum Abschluss der Prüfung benötigt

1.) xxx

Bitte beachten Sie auch unser beiliegendes Infoblatt Druckgeräte „Vorbereitungen & Durchführung bei Instandsetzungen/Änderungen“.

Dokumentenliste

Lfd. Nr.	Dokumentbezeichnung	Doku. Nr.	Bemerkung
1	Entwurfsprüfung	Auftrag-Nr.	
2	Ergebnisbericht Ermittlung von Werkstoffeigenschaften		
3	Ergebnisse der Arbeitsprüfung		
4	Werkstoffabnahmeprüfzeugnisse		
5	ZfP-Protokolle Schweiss- und Lötarbeiten		
6	ZfP-Protokolle Sichtprüfungen (Zwischenprüfungen)		
7	Schlussdokumentation Hersteller		
8	Prüfprotokoll Druckprüfung		
9			
10			
11			
12			

Folgende Prüfungen sind zum Abschluss des Prüfverfahrens noch erforderlich:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Schlussprüfung | Ergänzungsprüfungen wie: |
| <input type="checkbox"/> Druckprüfung | <input type="checkbox"/> elektrotechnische Prüfung |
| <input type="checkbox"/> Abblaseversuch der Sicherheitsventile | <input type="checkbox"/> zerstörungsfreie Prüfung |
| <input type="checkbox"/> Prüfung der Feuerung | <input type="checkbox"/> Werkstoffuntersuchung |
| <input type="checkbox"/> Prüfung der Sicherheitseinrichtungen | <input type="checkbox"/> andere Prüfungen: wie oben beschrieben |
| <input type="checkbox"/> keine | |
| <input type="checkbox"/> Wiederholungsprüfung erforderlich | |
| <input type="checkbox"/> Die Prüfung gilt als abgeschlossen | |

Ort, Datum
Wallisellen,

Der Sachverständige

.....

Name Prüfer, Pers. Stempel
 Unterschrift

Entwurf