

4

Herbst 2019

Einzelheft: Deutschland 8 € / Welt 10 €, Jahresabo (4 Hefte): Deutschland 30 € / Welt 36 €

GARTENBAHN

Werkstatt

Eisenbahn-Funktionsmodellbau in Werkstatt und Betrieb

Außerdem...

Tiefziehen für Modellbauer

Der Kessel und der Rost

Liliputloks von Roland Martens

Hydraulische Kopiereinrichtungen



Keine halbe Sache:
Der TAZZELWURM in 1:2

Felix Kruse

Der Kessel und der Rost

Auslöser meiner Versuche, die schließlich zu diesem Bericht geführt haben, war eine Passage im Buch „Der Rote Teufel“, in dem der britische Lokomotiv-Ingenieur David Wardale seine Überlegungen zum Thema Rostfeuerung darlegt. Er selbst hat für Lokomotiven ein „Gas erzeugendes Verbrennungssystem“ mit entwickelt, welches sich im Modell nicht ohne weiteres umsetzen lässt. Dennoch können daraus Erkenntnisse für Modellkessel gewonnen und praktisch umgesetzt werden.

An dieser Stelle sollte geklärt sein, dass das Thema Rost im Kessel ausnahmsweise nichts mit Korrosion der Wandungen zu tun hat, sondern mit der Oxidation des Brennstoffes. Entgegen der landläufigen Annahme, dass viel Sauerstoffzufuhr für die Feuerhaltung gut, mehr davon aber besser sei, wird im Folgenden der Sache etwas detaillierter auf den Grund gegangen.

Die Bedeutung eines hell brennenden Feuers für den erfolgreichen Betrieb einer Modell-Dampflokomotive dürfte jedem klar sein. Dennoch ist es hilfreich, auf einen Teil der maßstäblichen Missverhältnisse zwischen Vorbild und Modell hinzuweisen. Es gibt im Kessel zwei Arten von Heizflächen. Die Strahlungsheizfläche in der Feuerbüchse und die Rohrheizfläche. Grundsätzlich kann man von beiden nie genug haben. Bei den Kesseln des Vorbilds teilen sich die Feuerbüchse und die Rauchrohre die Wärmeübertragung an das Kesselwasser etwa je zur Hälfte, wobei die Rohrheizfläche tatsächlich etwa zehn Mal größer als die Feuerbüchsheizfläche ist.

Diese Verhältnisse der Heizflächen sind in Modellkesseln nicht erreichbar. Man müsste die Zahl der Rohre vom Vorbild übernehmen und ihren Durchmesser maßstäblich verkleinern. Das wären also je nach Vorbild 100 oder mehr Rohre mit beispielsweise 7 mm Innendurchmesser. Das ist nicht nur fertigungstechnisch unmöglich, sondern auch für den Betrieb unbrauchbar, weil sich die Röhrchen sehr schnell mit Ruß zusetzen würden. Aus praktischen Gründen muss man sich also vom größten Teil der Rohrheizfläche ohnehin verabschieden. Das geht natürlich massiv zu Lasten der Wirtschaftlichkeit, da die Rauchgase nach dem Verlassen der Feuerbüchse kaum noch Energie an das Kesselwasser abgeben. Beim Vorbild liegt die Abgastemperatur in der Rauchkammer etwa 150 °C über der Temperatur des Kesselwassers. Bei Modellkesseln können die Rauchgastemperaturen durchaus sehr hohe Werte annehmen (Abb.1).

Der Versuch, Wirtschaftlichkeit bei Modellloks zu erreichen, führt oft dazu, dass der Kohleverbrauch auf den wirtschaftlichsten aller Werte sinkt, nämlich

Null, weil die Lok nicht genug Dampf macht und der Besitzer die Lust verloren hat. Bei den wenigen Betriebsstunden kommt es darauf an, dass dem Kessel nie die Puste ausgeht und dass der Lokführer nicht gänzlich mit einer schönen Patina überzogen ist. Ein paar Schaufeln mehr Kohle sind dagegen bedeutungslos. Aber wieviel Kohle kann überhaupt verbrannt werden?

Die Probleme

Um Verbesserungspotenziale aufzudecken, hat sich David Wardale intensiv mit den Verlusten bei der Rostfeuerung auseinandergesetzt. Im Ergebnis läuft es darauf hinaus, dass die Kesselleistung irgendwann nicht mehr steigt, egal wieviel Kohle aufgeworfen wird. Der Wirkungsgrad des Kessels wird dann nur noch schlechter, während die Dampfmenge gleich bleibt. Das ist die sogenannte Rostgrenze (Abb. 2 und 3).

Um zu verstehen, worin das Problem liegt, genügt der Blick auf einen beliebigen Rost einer Modell-Lokomotive. In der Regel ist er in der Mitte vollkommen abgezehrt und an den Rändern praktisch

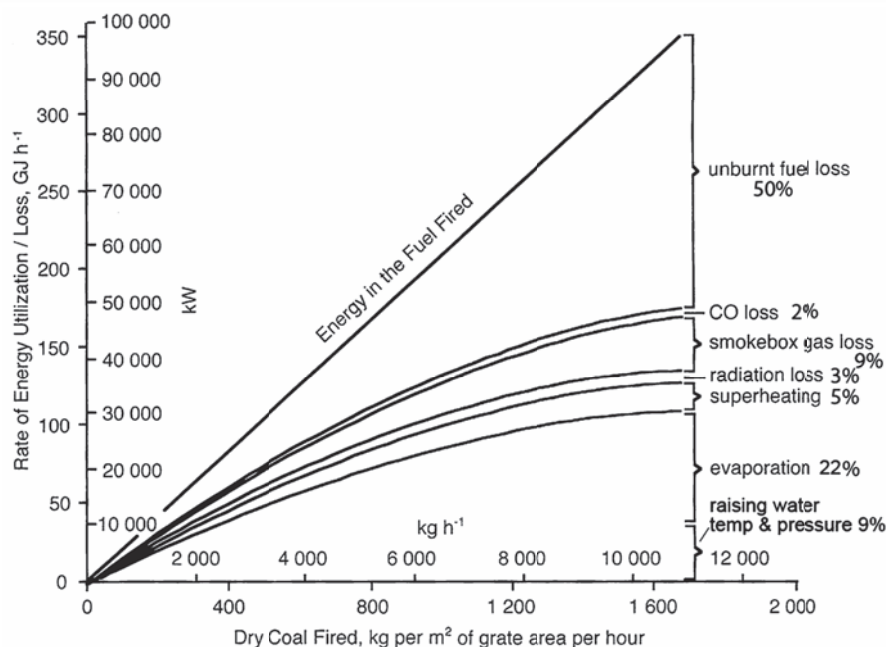


Abb. 1: Belastungstest der von Ralph-Peter Stolle gebauten G 12. Die Abgastemperatur ist über 500 °C höher als die Kesseltemperatur. Wie man sieht, befindet sich die Lok festgeschnallt auf einem Fichtenbrett und arbeitet in der Beharrung gegen die Reibung ihrer sich ins Holz eingrabenden Spurkränze an. Im normalen Betrieb auf der Strecke kommen solche Dauerbelastungen und auch solche Abgastemperaturen nicht vor. Aber die 710 °C sind der Preis für eine sehr lebhaft Verbrennung und ein dauerhaftes Dampfmachen ohne vorzeitiges Zusetzen der Heizrohre. Wenn man diese maßstäblich verkleinert anordnen würde, wären die Abgaswerte wie im Original, nur wären sie auch nach 5 min zugesetzt und die Fahrt zu Ende.

A load test with a model 2-10-0 in 1:10 scale turns out with a stunning exhaust temperature of 500°C above the boiler temperature! With 710°C arriving at the stack there is the benefit of good steaming at the cost of fuel efficiency, such would have never been tolerated in full scale practice. The reason for this inferior utilization of heat is caused by the much lower degree of indirect to direct heating surface since we do not employ hundreds of flues with an abundant transduction surface in our models. This test was carried out with the engine braced firmly against a wooden board, drivers grabbing into the material when revolving at peak power. Such a load level would be impossible to maintain continuously when running on a track.

Abb. 2: Diese Darstellung, wie sich die eingebrachte Energie der Kohle im Kessel aufteilt, wurde auf einer Class M1-a (4-8-2) der Pennsylvania Railroad mit Stokerfeuerung gemessen. Imposant sind die rund 62 MW Verlustleistung (!) bei maximal möglicher Feuerungsrate, die der Leistung von über 20 großen Windkraftanlagen entspricht. Aber was erwartet man, wenn die Hälfte der Kohle unverbrannt aus dem Schornstein fliegt? Die Kurven für die in das Wasser übertragene Energie verlaufen gegen Ende praktisch horizontal, was bedeutet, dass die Dampferzeugung nicht mehr zunimmt, egal wieviel Kohle aufgelegt wird. Die Rostgrenze ist erreicht.

This graph was drawn from tests conducted on a stoker-fitted M1-a class 4-8-2 of the Pennsylvania Railroad. It becomes clear that at maximum possible rates of firing the heating of the boiler water does not increase and almost half of the coal's energy is lost through the chimney in the form of unburnt cinders.



laden neu (Abb. 4). Dies ist ein unwiderlegbares Indiz dafür, dass der Hauptteil der Wärmeerzeugung auf nur einem kleinen Teil der Rostfläche stattfindet. Offenbar strömt hier die allermeiste Verbrennungsluft, wodurch die Kohle an dieser Stelle am schnellsten und heißesten brennt. Die umliegende Kohle wärmt sich daran mehr passiv auf, als dass sie selbst Wärme freisetzt.

Leider steigen bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten auch die Verluste durch mitgerissene Kohlenstücke, die in der Rauchkammer oder dem Gesicht des Lokführers landen. Das ist nicht nur schade um die Kohle, sondern auch lä-

stig für den Lokführer. Für eine noch stärkere Verbrennung müsste mehr Verbrennungsluft durch das Feuerbett strömen, was jedoch nur mehr Kohle mitreißen würde. In Nordamerika konnten bei Versuchen bis zu 50 % Verluste an unverbrannter Kohle gemessen werden (Abb. 2). Das ist offenkundig betrieblich unsinnig. Bei Modellen kommt es natürlich nicht wirklich auf den Wirkungsgrad an, aber auch unter hohen Verlusten lässt sich nicht mehr Energie aus dem Feuer gewinnen.

Die Steigerung der Verbrennung ist auch dadurch begrenzt, dass sie einfach nicht beliebig schnell ablaufen kann. Im

Gegensatz zu flüssigen oder staubförmigen Brennstoffen brennt Kohle von außen nach innen. Ein Stück Kohle von 10 mm Durchmesser benötigt etwa eine Viertel Stunde, um vollständig zu verbrennen. Wird der Luftstrom verstärkt, geht es trotzdem nicht schneller. Vielmehr wird nur noch ein Teil des Sauerstoffs für die Verbrennung genutzt. Der Rest kühlt das Feuer und den Kessel, ohne mit der Kohle zu reagieren. Dabei muss man auch im Hinterkopf haben, dass Luft nur 20 % Sauerstoff für die Verbrennung enthält. Die restlichen 80 % Stickstoff kühlen ebenfalls nur den Kessel, bzw. müssen durch das Feuer mit erwärmt werden. Bei der Verbrennungsluft

Abb. 3: Dargestellt ist die typische Leistungscharakteristik eines kohlegefeuerten Lokomotivkessels. Der Wirkungsgrad nimmt mit steigender Beanspruchung deutlich ab, während die Dampferzeugung nur noch wenig steigt. Ideal wäre es, einen Kessel nur in der linken Hälfte der Grafik zu betreiben. Dazu könnte ein viel zu großer Kessel ständig nur unter Teillast betrieben werden. Oder man findet einen Weg, die Rostgrenze zu verschieben.

In contrast to the previous graph, here the firing rate (horizontal axis) is related to boiler efficiency. This shows a tendency towards greatest efficiency with very low firing rates, best accomplished when operating an oversized boiler at a slow pace.

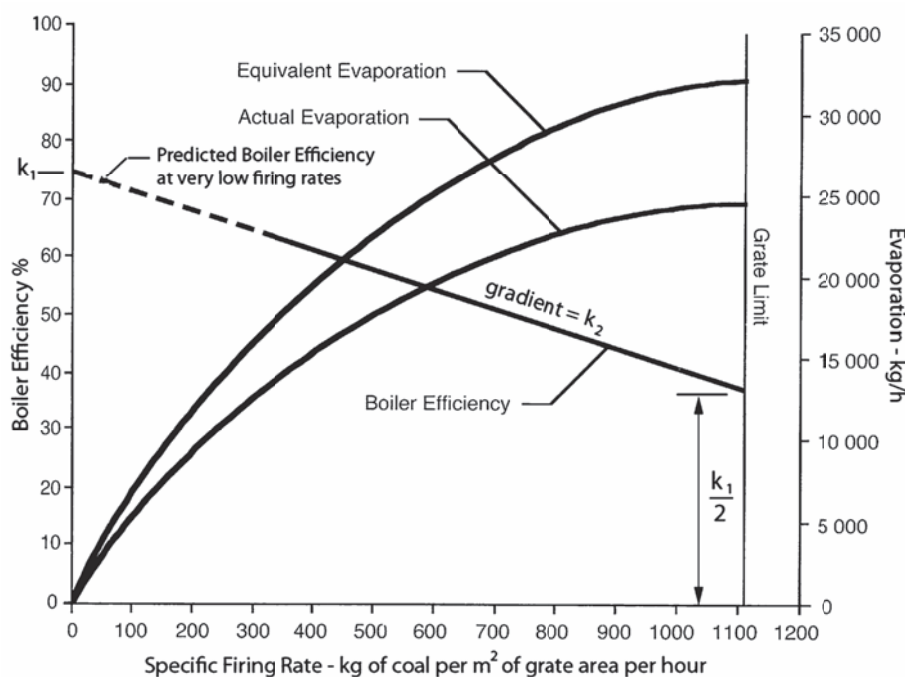




Abb. 4: Der Rost dieser 2' B „American“ in 7 1/4" hat es bald hinter sich. In der Mitte hat das Feuer den Grauguss-Rost kurzzeitig an seine Schmelztemperatur gebracht. Der Roststab hängt nach unten durch. Außen dagegen sind noch die Gussgrate vorhanden. Wenn Reifen ungleichmäßig abgefahren sind, beunruhigt uns das, beim Rost aber nicht?

The typical appearance of a model engine's grate after some hard use. The centre of the grate has begun to disintegrate due the heat of the fire at temperatures well above the melting point of, in this case, cast iron.

kommt es also auf die richtige Menge an – zu viel ist auch hier zu viel. Bei einem ungleichmäßig durchströmten Rost muss in der Mitte sehr viel überschüssige Luft strömen, damit die Randbereiche annähernd genug Sauerstoff für die Verbrennung erhalten. Es ist also mit klassischem Rost nicht möglich, hohe Luftüberschüsse zu vermeiden, wenn das Feuer auch am Rand gut brennen soll.

Steinkohle besteht nicht nur aus brennbaren Bestandteilen, sondern enthält auch bis zu 12 % nichtbrennbare Anteile, die als Aschegehalt angegeben werden. Der sogenannte Erweichungspunkt, bei dem die an sich feine Asche zu größeren Stücken zusammenschmilzt, liegt je nach Zusammensetzung zwischen 1000 und 1500 °C. Das sind Temperaturen, die im Kohlefeuer problemlos erreicht werden. Hohe Feuerbett-Temperaturen führen also zu starker Schlackenbildung.

Ein erneuter Blick auf den ungleichmäßig abgezehrten Rost (Abb. 4) legt eine Lösung nahe, die auch Wardale ins Auge sprang. Der größte Teil der Rostfläche scheint sich nur widerwillig an der Wärmeabgabe zu beteiligen. Ließe sich auf der gesamten Rostfläche ein Feuer halten, anstatt wie bisher nur in der Mitte, wäre die Wärmeabgabe um ein vielfaches höher. Die Rostgrenze wäre also zumindest weit verschoben oder sogar aufgehoben.

Was passiert im Kessel?

Wie jedoch kann erreicht werden, dass die Verbrennung auf der gesamten Rostfläche gleichmäßig stattfindet? Man müsste die Luft zwingen, an allen Stellen des Rostes gleich stark zu strömen. Warum das bei den allermeisten Kesseln nicht der Fall ist, bleibt teilweise Spekulation. Eine Theorie beruht auf der

These, dass die Strömungsverhältnisse in den Rauchrohren auf den Rost projiziert werden. Das bedeutet, dass die unteren Rohre für den Zug im Feuer dicht an der Rohrwand sorgen und die oberen für den Bereich am Feuerloch verantwortlich sind. Wer Gelegenheit hat, unterschiedliche Lokomotiven zu fahren, hat sicher schon erlebt, dass die Löcher im Feuer von Lok zu Lok an anderen Stellen entstehen. Das könnte gemäß der These mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten in den Rauchrohren erklärt werden.

Die Ursache für den Verbrennungsluftstrom ist die Pumpwirkung von Blasrohr und Schornstein. Mit jedem Auspuffschlag werden Rauchgase aus der Rauchkammer ins Freie befördert. Es besteht oft die ungefähre Vorstellung, dass darin ein kontinuierliches Vakuum herrscht, welches sich durch die Rauchrohre auf die Feuerbüchse erstreckt und die Luft durch den Rost saugt. So ist es in der Regel leider nicht. An der Unterkante des Schornsteins werden kugelförmig Rauchgase angesaugt, und zwar immer nur stoßweise mit dem Abdampf. Der Unterdruck nimmt mit steigender Entfernung vom Zentrum der Kugel stark (quadratisch) ab. Dieses kugelförmige Vakuum breitet sich etwa mit Schallgeschwindigkeit aus und trifft auf das nächstliegende Rauchrohr (Abb. 5). Für das Rohr bedeutet dies eine Druckdifferenz zwischen Rauchkammer und Feuerbüchse, die die Energie für eine Strömung der Rauchgase liefert. Für die Rohre, die weiter entfernt vom Zentrum des Vakuums liegen, ist diese Druckdifferenz entsprechend geringer, wodurch weniger Rauchgase strömen. Die Ungleichmäßigkeit der Saugwirkung ist die Folge. Durch die schnelle Abfolge der Auspuffschläge und die Trägheit der

Gase verstetigt sich die Feueranfachung zwar scheinbar, tatsächlich aber baut sich das Vakuum nur kurz auf und bricht immer wieder zusammen. Diese Vakuumspitzen reißen das Feuerbett an besonders durchlässigen Stellen zusätzlich auf und verstärken dort noch den Luftstrom zu Lasten der ohnehin vernachlässigten Randbereiche. Die Luft sucht sich eben immer den Weg des geringsten Widerstands.

Die Lösung

Um an allen Stellen der Rostfläche den gleichen Luftstrom und damit die gleiche Feueranfachung zu erhalten, müsste überall der gleiche Durchflusswiderstand herrschen. Es bedarf also erstens eines gleichmäßigen Vakuums in der Feuerbüchse, welches durch eine gut dimensionierte Blasrohranlage erzeugt wird. Dies kommt bisher nicht zustande, weil allein schon in der Mitte des Rostes genügend Luft zum Ausgleich des Unterdrucks zuströmt. Die Ränder kommen gar nicht zum Zuge. Folglich muss der Luftstrom durch den Rost und das Feuerbett soweit gedrosselt werden, dass sich tatsächlich ein gleichmäßiger Unterdruck über dem Feuerbett aufbauen kann. Wardale hat Versuche zu dieser Frage unternommen und fand heraus, dass dies erst bei weniger als 10 % freier Rostfläche erreicht werden kann. Die üblichen Empfehlungen für klassische Roste liegen dagegen bei ca. 50 %. Die angestrebten geringen freien Rostflächen lassen sich am besten mit einer Rostbauart erreichen, bei der die Kohle auf einer Platte mit Löchern verbrannt wird.

Ein alter Hut

Diese Idee ist natürlich auch unter Gartenbahnern nicht ganz neu. Wilfried Wagner (†) hatte in seiner 5" Feldbahnlokomotive Typ Henschel „Fabia“ bereits seit

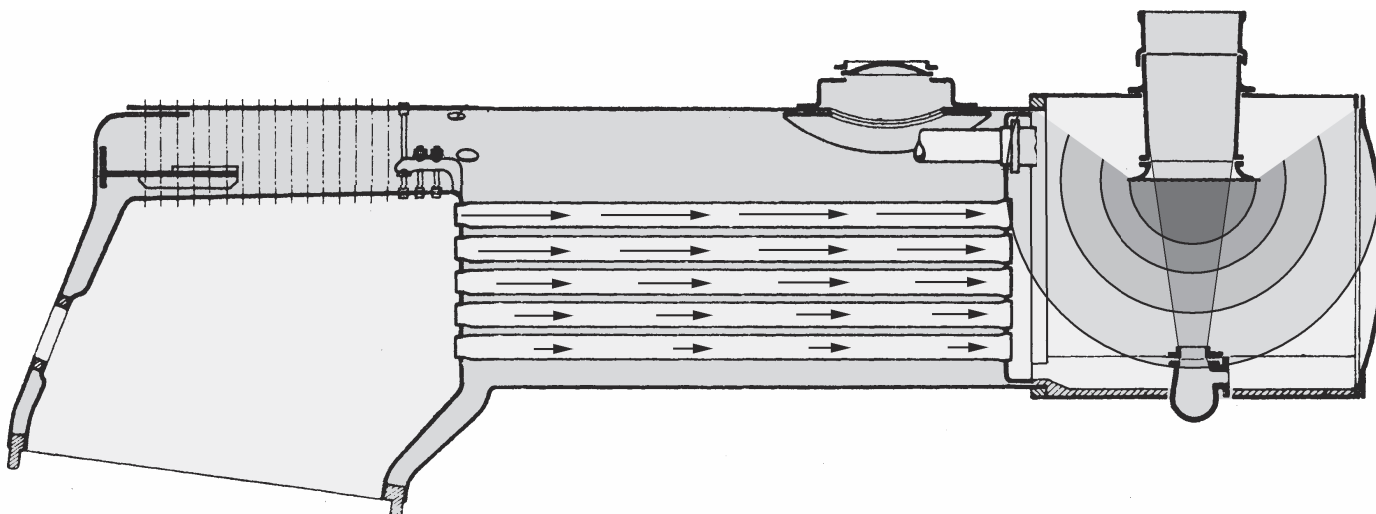


Abb. 5: Die schematische Darstellung zeigt, wie sich das Vakuum in der Rauchkammer kugelförmig ausbreitet. Die Menge an Rauchgasen, die durch die Rohre gezogen werden, hängt von der Druckdifferenz zwischen Rauchkammer und Feuerbüchse ab. Erkennbar strömen dadurch mehr Rauchgase durch die oberen Rohre. Die weiter vom Vakuum entfernten Rohre nehmen dadurch nur noch unwesentlich an der Wärmeübertragung teil. Auch dies ist nicht ideal.

As the vacuum in the smokebox is generated inside the petticoat section of the stack, the suction forces decrease spherically from this central point. Next to projecting an unequal load onto the tube nest and, thus, the grate, the vacuum also increases and decreases instantly with each exhaust blast of the locomotive.

Jahrzehnten eine 16 mm dicke Kupferplatte mit 144 Löchern à 6,2 mm als Rost. Damit hatte er genau 25 % freie Rostfläche. Auch Peter Vögtlin hat in seiner 5" Baureihe 44 einen solchen Rost mit 10-mm-Löchern und etwa 50 % freier Rostfläche in Betrieb. Im englischsprachigen Raum kreisen seit Mitte der 2000er-Jahre vermehrt Diskussionen unter Modellbauern um den sogenannten Rosebud-Rost (Rosenknospen-Rost).

Woher dieser Name stammt, ließ sich noch nicht ergründen. Jedenfalls haben seither eine Reihe von Modellbauern Versuche mit verschiedenen Rostdicken, Bohrungsdurchmessern und Flächenanteilen durchgeführt. Die Ergebnisse hängen sehr stark von den äußeren Umständen ab, also der Lokomotive, weshalb es den Idealwert nicht gibt. Interessanterweise liegen sie aber alle in Nähe der zu 10 % freien Rostfläche von

Wardale. Da es bei einer an sich gut laufenden Lokomotive nicht sinnvoll ist, nur den Rost zu verändern, sondern dementsprechend auch die Blasrohrabstimmung überprüft und ggf. angepasst werden muss, ist eine allgemeine Empfehlung schwierig. Unter Umständen sind mehrere Anpassungen von Rost und Blasrohr notwendig, um ein Optimum zu erreichen, aber nicht automatisch notwendig.



Abb. 6: Der Rost der „Fabia“ von Wilfried Wagner. Auf der Fläche von 145 x 120 mm sind 144 Löcher à 6,2 mm gebohrt. Das ergibt exakt 25 % freie Rostfläche. Wer die Lok kennt, erinnert sich an die diversen Zusatzaggregate, wie Lichtmaschine und Luftpumpe, die den Dampfverbrauch deutlich erhöhen. Die normalen Roste hielten nie lange, bis er auf die Idee mit der 16 mm starken Kupferplatte kam. Wer den Weisheiten dieses Artikels nicht traut, kann zumindest diese Anregung für einen dauerfesten Rost mitnehmen.

The first model engineer to try out the "rosebud" grate design in Germany was the late Wilfried Wagner. His 5" gauge Feldbahn 0-4-0T had a rather small boiler but several steam-consuming fittings such as steam pumps and generator. However, after replacing the grate with one of 144 holes of 6.2mm drilled into a copper plate of 16mm thickness, the boiler produced plenty of steam and the grate proved very durable.



Abb. 7: Der direkte Vergleich der in die Rauchkammer mitgerissenen Partikel: Oben ist der Kessel ohne Feuerschirm und mit konventionellem Rost auf der Steinertseebahn betrieben worden. Unten findet sich nach einem anstrengenden Fahrtag in Oberursel tatsächlich nur vollständig Verbranntes in der Rauchkammer und davon auch deutlich weniger.

The direct comparison between the author's 5" gauge 2-4-2T fitted with a standard grate (above) and the improved grate design plus a firebox arch (below) shows clearly that not only does the latter produce more than 50% fewer smokebox cinders but that they also consist of completely burnt particles.

In der Bauart des Rosts besteht jedoch Einigkeit. Sinnvoll ist eine mindestens 5 mm starke Stahlplatte, in der gleichmäßig verteilt Löcher gebohrt werden. Die empfohlenen Durchmesser der Bohrungen reichen von 4 bis 8 mm. Hier gilt es, einen Kompromiss zu finden zwischen gleichmäßiger Luftversorgung und der Notwendigkeit, Asche durch die Löcher in den Aschkasten zu befördern. Wichtig ist, dass sich die Bohrungen nach unten hin erweitern. Das verhindert einerseits, dass Asche und Kohlenstücke auf dem Weg in den Aschkasten hängen bleiben, und andererseits wirken die Bohrungen als Düsen und beschleunigen die Verbrennungsluft.

Praxis

Als Versuchsträger musste meine 5" BR 71 herhalten. Sie war mir vor Jahren als Lokleiche in die Hände gelangt und bekam neben einer Instandsetzung des Fahrwerks auch einen neuen Eigenbau-Kessel. Erst nach einer sorgfältigen Neukonstruktion der Blasrohanlage war die

Dampferzeugung ausreichend, aber nicht großartig. Außerdem störte es mich, dass beim Schleudern unter Volllast schnell das Feuer durch den Schornstein flog. Von den dauernden Kohlestückchen in den Augen ganz zu schweigen.

Mit der Idee eines neuen Rosts im Kopf begann die Bastelei. Von einem Umbau zu sprechen ist übertrieben. Ich habe einfach ein Stück 5 mm dickes Stahlblech zugeschnitten und gebohrt. Insgesamt 24 Löcher à 6 mm Durchmesser, die mit einem 60° Zentrierbohrer von unten gesenkt sind. Das sind bei einer Rostfläche von 139,36 cm² mit 6,8 cm² freiem Luftquerschnitt 4,9 % der Rostfläche. Zusätzlich wurde ein Feuerschirm installiert, um die kleinen Kohlepartikel und Stückchen der aufbrechenden Kohle daran zu hindern, direkt durch die Rohre gesaugt zu werden. Diese Fragmente sollen auf ihrem nun längeren Weg durch die Feuerbüchse entweder verbrennen oder von selbst zurück auf die Brennschicht fallen.

Um es kurz zu machen, das Ergebnis war verblüffend: Die Dampferzeugung war tatsächlich deutlich besser, bei vermindertem Brennstoffverbrauch. Unter Volllast kann ich in der Steigung mit dem Injektor speisen und der Druck bleibt konstant. Bei Versuchsfahrten mit der Speisepumpe steigt der Druck mitunter rasch an, wenn die Maschine hoch belastet wird. Bei Fahrten mit angestrenzter Dauerbelastung ist es möglich, die Kesselspeisung durch passendes Einregeln der Speisepumpe (mit Pumpenabdampf-Vorwärmung), Fahren mit voll geöffnetem Regler und ausgiebigem Benutzen der Steuerung ausschließlich mit der Pumpe zu realisieren. Im Betrieb muss die Asche regelmäßig durch gezieltes Rostschütteln durch die Löcher im Rost befördert werden. Man könnte auch schüren, das ist aber meistens nicht nötig. Ansonsten verlangt die Feuerführung nichts wirklich Neues. Das Feuer brennt auf ganzer Fläche gleichmäßig hell, aber nicht blendend weiß. Große Schlackenbrocken finden sich nicht, die

wenigen aufgefundenen Stückchen sind nicht größer als ca. 5 mm. Zusammenhängende Schlackenfelder gibt es nicht. Kohlestückchen in Haaren und Augen

sind auch Vergangenheit. Nach dem Fahrtag ist in der Rauchkammer kein Berg schwarzer Lösche mehr, sondern nur noch weiß-gräuliche Asche (Abb. 7).

Das Aufwand-Nutzen-Verhältnis dieser simplen Bauartänderung könnte kaum besser sein. Ich kann es nur empfehlen.

Totes Feuerbett

Nach dem zweiten Weltkrieg war Steinkohle in der Sowjetischen Zone Mangelware. Braunkohle war dagegen reichlich vorhanden. Der Reichsbahn standen zur Feuerung der Lokomotiven teilweise nur Braunkohlebriketts oder schlimmer noch Rohbraunkohle zur Verfügung. Braunkohle zerfällt bei der Verbrennung sehr schnell zu feinem Staub, der dann entweder durch den Rost in den Aschkasten fiel und dort weiter brannte oder in die Rauchkammer mitgerissen wurde. Die Verluste waren immens, die Aschkästen glühten aus und entlang der Strecke reg-

nete es Kohlenstaub. Außerdem liegt der Heizwert von Braunkohle je nach Aufbereitung zwischen 1/3 und 2/3 von Steinkohle. Selbst ein gut brennendes Braunkohlenfeuer konnte den Energiebedarf der Lokomotiven kaum decken. Um diesem Problem entgegen zu wirken, entwickelte die Reichsbahn das sogenannte tote Feuerbett. Es besteht aus einer etwa 80 mm dicken Schicht feinen Schotters oder Ziegelbruchs auf dem Rost. In der Folge fiel die Braunkohle nicht mehr unverbrannt in den Aschkasten und wurde auch nicht mehr aus dem Feuerbett Richtung Rauchkammer

gerissen. Es war möglich, auch große Güterzug-Lokomotiven auf diese Weise bedarfsgerecht zu feuern. Kommen Ihnen diese Effekte irgendwie bekannt vor? Ja klar, die Reichsbahn hat die freie Rostfläche reduziert und dadurch die Verluste an unverbranntem reduziert und gleichzeitig die Verbrennung auf der zur Verfügung stehenden Rostfläche optimiert. Leider wurden keine weiterführenden Erkenntnisse über die Verbrennung von Braunkohle hinaus aus dieser bewährten Praxis abgeleitet.

Grate Performance

Taking reflections on the theory of combustion expressed by David Wardale in his book *The Red Devil* as his starting point, Felix Kruse sought to improve the steaming of his 5" gauge German Reichsbahn class 71 2-4-2T. Given to him in a very poor condition, he overhauled the running gear and manufactured a new steel boiler, but still the model suffered from a lack of steam.

Standard practice in live steam modelling is to have a good 50% of the grate surface as an open space, giving full access to the air used for combustion. As a solid fuel, coal has the characteristic of burning slowly since the lumps present only their outer surface for combustion. Simply adding more

air does not really speed up this process; if anything, the surplus oxygen cools the gases inside the firebox, thus reducing steaming efficiency. Tests conducted by Wardale showed that a mere 10% open space in a grate produced the best results in prototype practice.

Even if this ratio might not be best for all modelling purposes, it is evident that the fire is most demanding on a grate in the very centre. There are a number of theories as to why this effect is so significant in model practice, but it seems quite clear that the vacuum drawing the combustion gases through the flues is not as homogeneous as might be supposed. With a grate allowing an abundant supply of

oxygen supply, oxygen happily takes the centre path for its passage, leaving the outer edges of the fire idle.

A grate with a much smaller ratio of open spaces displays a much better distribution of grate loading. Using a rather thick plate of steel, stainless steel or even copper, an array of small holes drilled through and countersunk at 60° from below provides gives the desired grate. The holes must have a minimum diameter of, for example, 6mm for the ash, but they could even be spaced further apart in the middle and closer together towards the edges. Experience shows that with this grate design clinker formation virtually disappears.

Bildnachweis: Abbildung 2: aus C. A. Brand, *The Locomotive Boiler* (1939); Abbildung 3: aus David Wardale, *The Red Devil*; Abbildungen 4 und 5: Peter Lindemann; Abbildung 6: Patrick Wagner; alle weiteren Abbildungen: Felix Kruse.