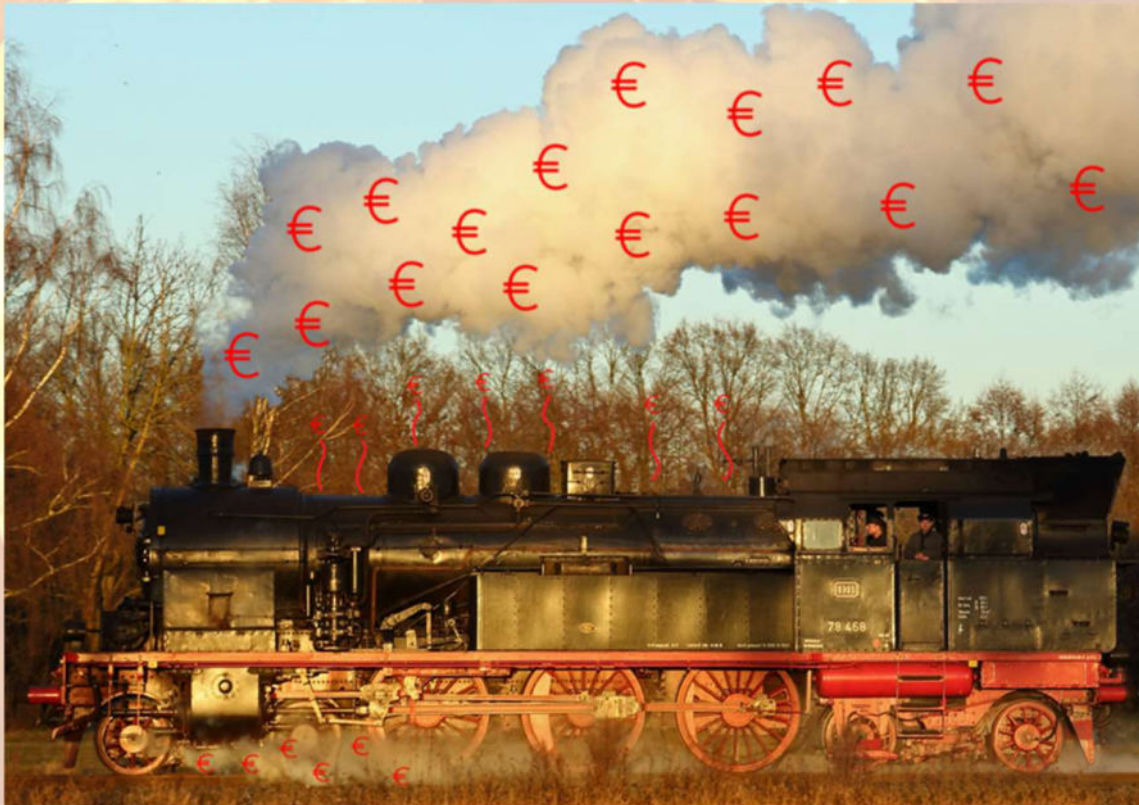


Energie- und Kosteneffizienz im Dampflokbetrieb – Widerspruch oder Potenzial?



Indizierter Wirkungsgrad einer typischen Dampfloks max. 10 %, aber nur im optimalen Arbeitspunkt!

→ Am Zughaken und bei Teillast viel weniger

→ Betrieblicher Wirkungsgrad meist 2 - 5 % - und nur der ist entscheidend!

→ „Moderne“ Traktionen aber z.T. auch nicht viel besser (Diesellok im Verschub, schwach ausgelastete Züge)

Lohnen sich da überhaupt Anstrengungen zur Verbesserung?

→ **JA!**

(wo es viele Verluste gibt, gibt es auch viel Einsparpotential)

Energie- und Kosteneffizienz im Dampflokkbetrieb – Widerspruch oder Potenzial?

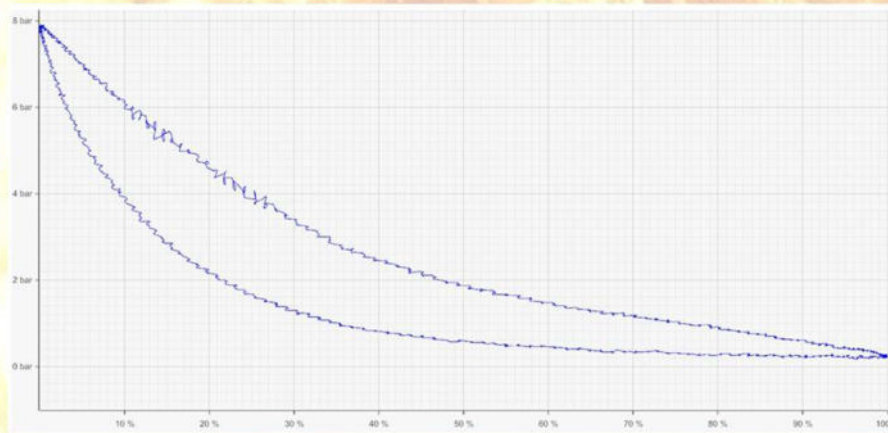
Trotz des geringen Wirkungsgrades war der Dampflokkbetrieb vielerorts lange wirtschaftlich, da die Brennstoffe deutlich günstiger waren.

Aktuelle und künftige Brennstoffpreise spielen mittlerweile auch im gelegentlichen Museumsbetrieb eine immer größere Rolle.

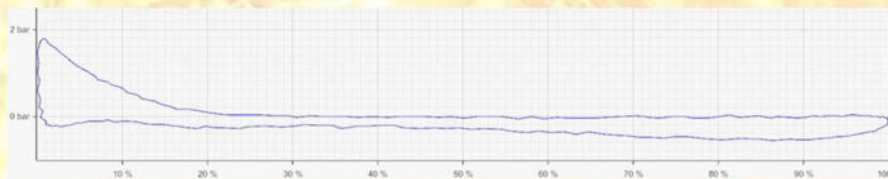
Energie sparen = vermeiden von Verlusten im gesamten Betrieb (auch Stillstand und Teillast) → Aufwand vs. Nutzen stark von individuellen Einsatzbedingungen abhängig

Organisatorische Maßnahmen

- Einsatzplanung, Anheizen & Warmhalten mit günstigeren Energieträgern (Abfallholz/ externe Wärmequelle)
- Abschalten von Aggregaten, wenn diese gerade nicht benötigt werden
 - Bsp. **Turbogenerator** (0,5 kW): Dampfverbrauch bei Volllast 52 kg/h → 8 kg Kohle/h = **6 €/h**
→ *Klingt nicht viel, man bekommt dafür aber leicht 5 Kisten Radeberger pro Tag!*
 - Bsp. **Hilfsbläser** (BR 50): 550 kg/h → 80 kg Kohle/h = **65 €/h**
- Feuerungstechnik
- Fahrweise (angemessen Beschleunigen, lange Ausrollen, ...)
 - „German Angst“ vor zu kleiner Füllung (z.T. berechtigt, aber nicht generell) → Verbrauch vs. Verschleiß



Indikatordiagramm: 20 % Füllung & 8 bar bei 80 % der Vmax
→ Keine schädliche Lagerbelastung



Schlechter Leerlauf mit plötzlichen Druckwechselln
→ Hohe Lagerbelastung

Berechnungsgrundlagen:
Mittlerer Kesselwirkungsgrad = 60 %, Kohlepreis = 800 €/t, 300 Einsatztage/ Jahr

Organisatorische Maßnahmen

- Wechsel des Brennstoffes (Energiepreis & Feuerungswirkungsgrad; Öl- und Pelletfeuerung arbeiten bei richtiger Auslegung & guter Auslastung wesentlich effizienter)

Brennstoffe Dampflok

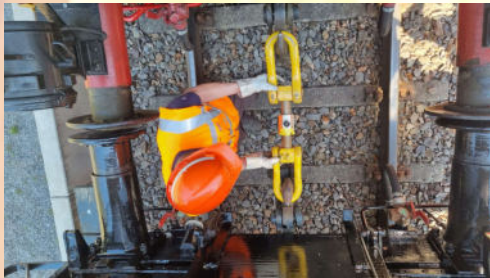
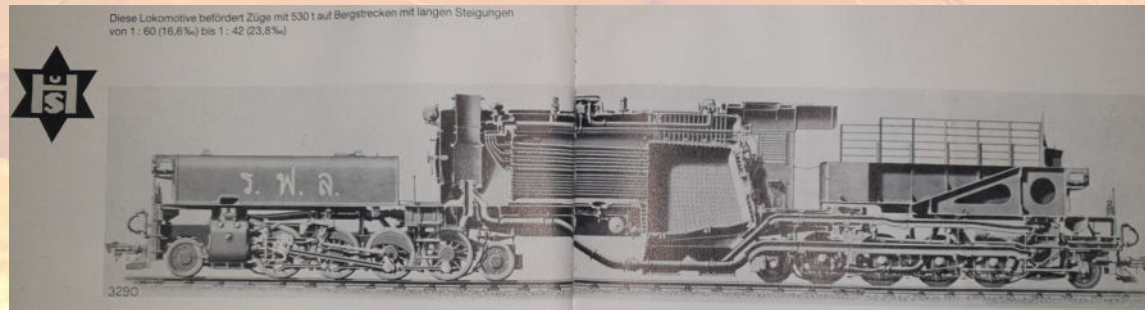
Stand 10.03.25, VDMT, Maik Drechsel

| | Bruttopreis/t o. Transport | Heizwert [kWh/kg] | Bruttopreis/ MWh ⁷⁾ | Feuerungswirkungsgrad |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------|
| fest | | | | |
| Industrie Holzpellets | 270,00 € | 4,9 | 55,10 € | +++ |
| Kohle ₁₎ | 800,00 € | 8,1 | 98,77 € | -- |
| CPL Wildfire | ? | 8,6 | - | + |
| flüssig | | | | |
| BasolT | 815,00 € | 11,7 | 69,66 € | + bis +++ ₃₎ |
| HeizölS | 848,00 € | 11,1 | 76,40 € | - |
| Heizöl EL | 1.102,00 € | 11,7 | 94,19 € | + bis +++ ₃₎ |
| Tallöl ₂₎ | > 1.300 € | 10,4 | > 125,00 € | - |

| | Standversuch Kohle | Standversuch Pellets | Standversuch Kohle | Messfahrt Kohle | Messfahrt Pellets |
|---|-----------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|
| Heizflächenbelastung [kg/m ² h] | 38 | 38 | 55 | 57 | 57 |
| Heizwert [kWh/kg] | 8,5 | 4,86 | 8,5 | 8,5 | 4,86 |
| Asche-/ Schwefel Gehalt [%] | 3,09/ 0,35 | 0,31/ <0,005 | 3,09/ 0,35 | 3,09/ 0,35 | 0,31/ <0,005 |
| Max. Abgastemperatur [°C] | - | - | - | 435 | 496 |
| Rostbelastung [kg/m ² h] | 279 | 425 | 384 | (499)* | 600 |
| Kesselwirkungsgrad [%] | 57,5 | 62,1 | 58 | (50)* | 63 |

*Wegen Überfeuerung nur bedingt aussagekräftig

Leistungsfähigkeit der Holzfeuerung



- Mit Pellets erzielt man die gleiche Leistung wie mit guter Steinkohle, bei halbierten Brennstoffkosten
- Mehrverbrauch ca. 1,5x - Reichweite ca. 2/3 der Ursprünglichen
- Funkenflugproblematik wurde schon in den 1950er Jahren gelöst (Mikrofunkenfänger)



Instandhaltung

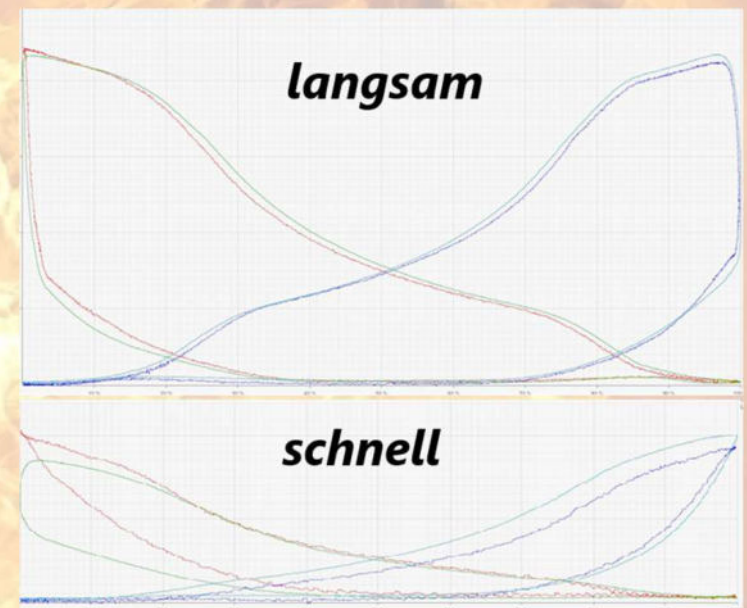
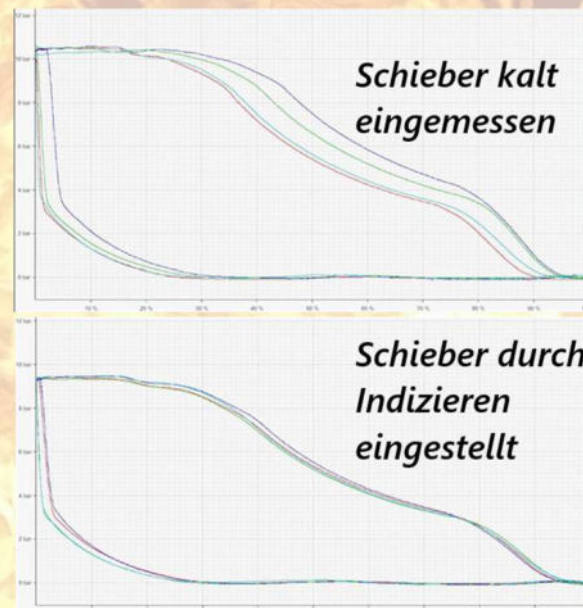
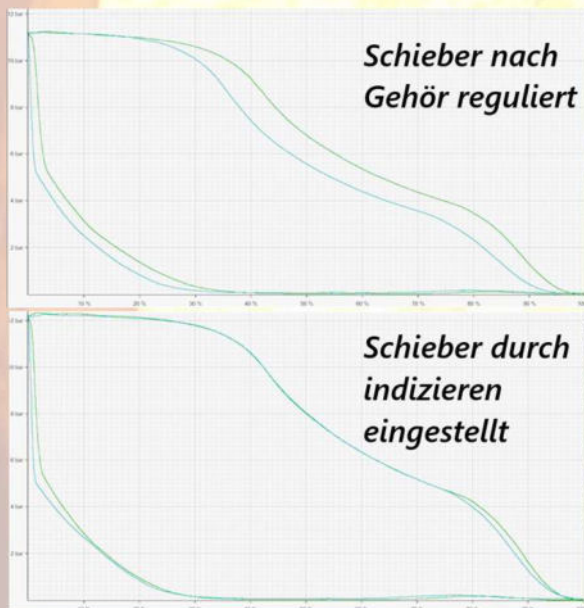
- Sauberhalten der Kesselheizflächen (Bei Kohlefeuerung Kesselrohre nicht mit Wasser spülen!)
- Speisewasseraufbereitung → Hat auch sehr großen Einfluss auf Instandhaltungskosten
- Funktionsfähigkeit Speisewasservorwärmung (Temperatur überwachen)
- Überströmen/ Durchheulen Dampfmaschine → In Versuchen bis zu 50 % Dampfverlust!
 - Prüfverfahren regelmäßig anwenden = Bedarfsorientierte Instandhaltung
- Diverse Undichtigkeiten
 - Bsp. ständig leicht offene **Entwässerung** (1 mm Bohrung, 12 bar):
8 kW Wärmeverlust → 38 kg Kohle/ Tag = 30 €/ Tag oder **9.000 €/ Jahr**
 - Bsp. undichte **Dampfheizung** (6 Kuppelstellen à 7 mm² (= 3 mm Loch), 2 bar, 10 Stunden):
→ 660 kWh Wärmeverlust → 130 kg Kohle/ Tag = **104 €/ Tag**



Berechnungsgrundlagen:
Mittlerer Kesselwirkungsgrad =
60 %, Kohlepreis = 800 €/t, 300
Einsatztage/ Jahr

Instandhaltung – Dampfverteilung

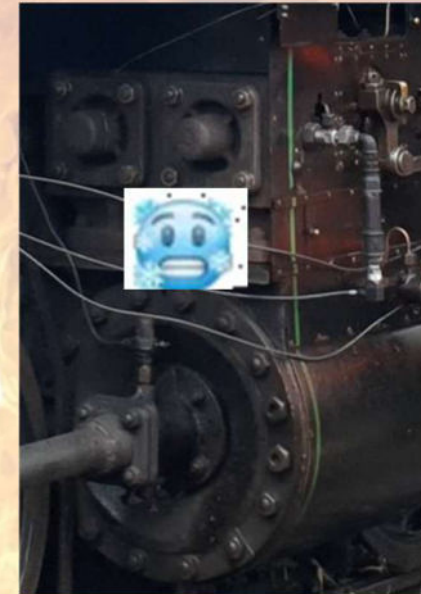
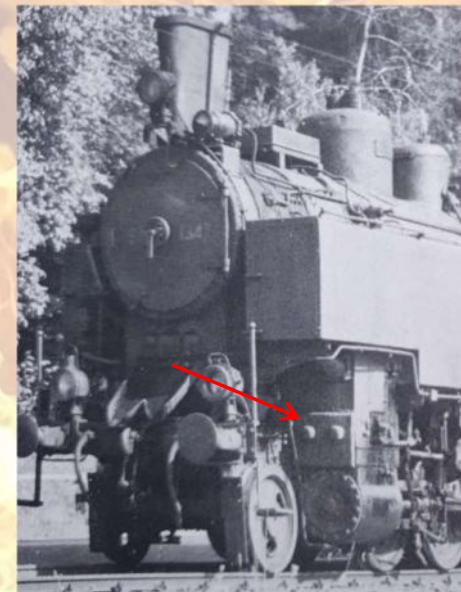
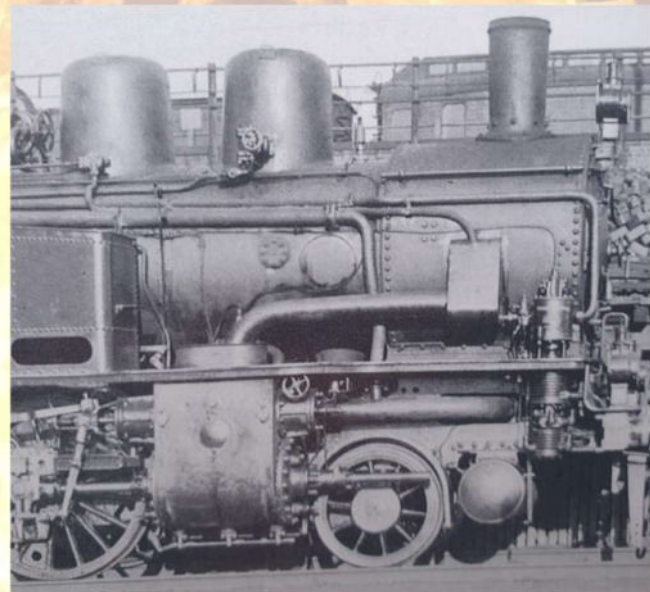
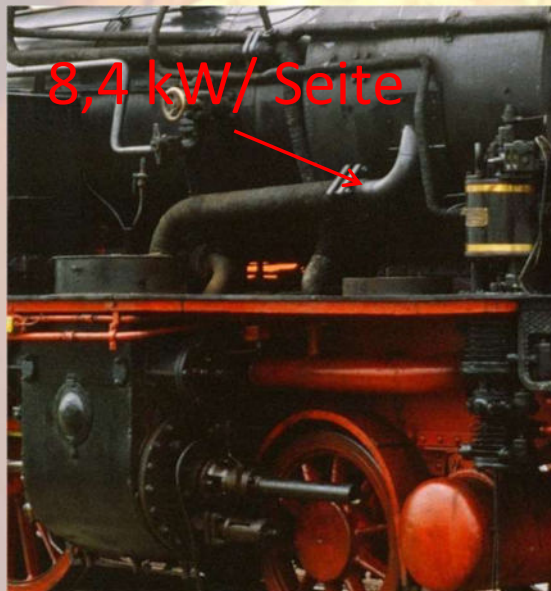
- Niedrigen Dampfverbrauch durch richtige Schiebereinstellung und möglichst fehlerfreie Steuerung
- Gemäß Literatur bis zu 20 % Leistungsverlust \approx Mehrverbrauch
- Akustisch erst bei beträchtlichen Leistungsabweichungen feststellbar!
- Verschleiß und Überlastung von Triebwerksteilen noch wichtiger als Verbrauch
- Einige Mängel sind bei Schrittgeschwindigkeit im Indikatorgramm schlechter zu erkennen
- Durch Indizieren bei hoher Geschwindigkeit lässt sich die optimale Fahrweise ermitteln



→ Nur durch Indizieren lässt sich die optimale Einstellung erreichen, Fahrgefühl oder Gehör sind sehr ungenaue Messinstrumente!

Wärmeverluste durch fehlende/ schlechte Isolierung

- Bsp. Einströmrohre & Zylinder: Im Auslauf & Museumsbetrieb vielfach ohne adäquate Isolierung
- Bsp. pr. T12: In 6 Stunden = 100 kWh Wärmeverlust \rightarrow 20 kg/ Kohle = 16 €/ Tag oder **4.800 €/ Jahr**
- Verlust an Dampftemperatur \rightarrow Höherer Dampfverbrauch = doppelt schädlich

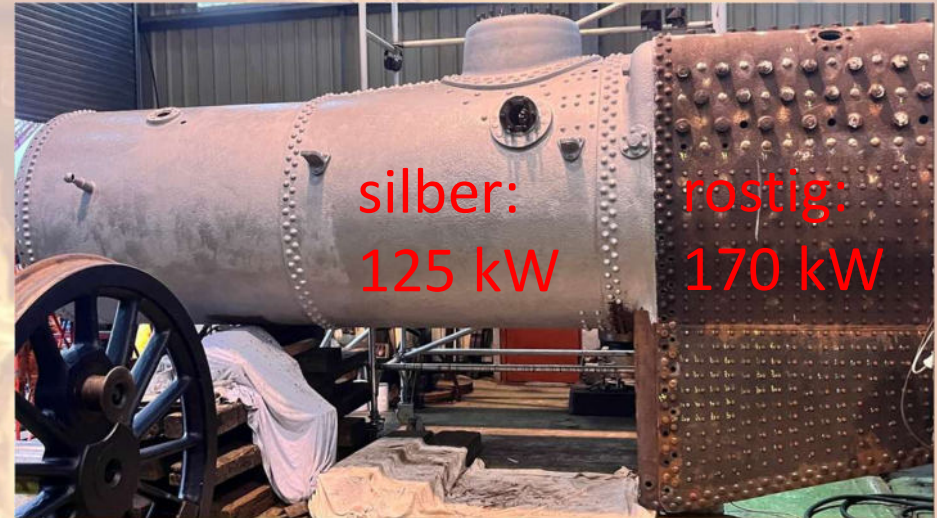


Berechnungsgrundlagen:
Mittlerer Kesselwirkungsgrad =
60 %, Kohlepreis = 800 €/t, 300
Einsatztage/ Jahr, T = 300 °C

Wärmeverluste durch fehlende/ schlechte Isolierung

Bsp. Kessel Größenordnung BR 64:

- Farbanstrich beeinflusst Wärmeabstrahlung
 - Glanzblechverkleidung (Länderbahnzeit)
 - Kessel verkleidet, ohne Isolierung: ca. 50 kW Verlust
 - Kessel gut isoliert: < 10 kW
- Differenz = 40 kW → 960 kWh/ Tag → 200 kg Kohle = 160 €/ Tag (16 Kisten Radeberger) oder **48.000 €/ Jahr**
- Materialkosten (hochwertige, hydrophobe) Isolierung ca. 1.000 €.
 - Vorteil geringere Materialspannungen durch langsames auskühlen & Zeitersparnis durch kürzeres Hochheizen nach Nachtruhe



Berechnungsgrundlagen:

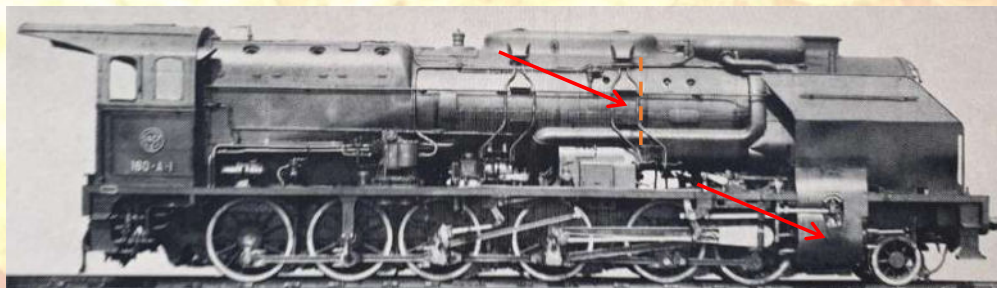
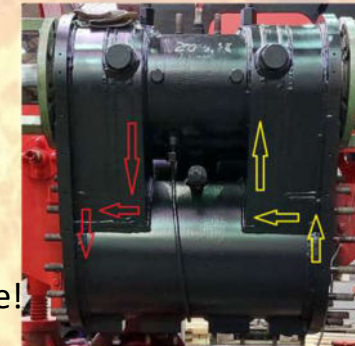
Mittlerer Kesselwirkungsgrad = 60 %, Kohlepreis = 800 €/t,
300 Einsatztage/ Jahr, ca. Werte für leicht bewegte Luft
mit 15 °C, nur Verkleidungsfläche ohne Armaturen

Optimierungen

- Spürbare Verbesserungen durch kleinere Detailverbesserungen oder beim Austausch von Komponenten
- Neubau von Kolben und Schiebern: Vorhandene Konstruktion hinterfragen
- Bei gut ausgelasteten Maschinen: Verbesserung der Saugzuganlage (ermöglicht sicheren Funkenfänger)
 - Bsp.: Eine 800 PS Lok spart durch Verringerung des Blasrohrdrucks um 0,2 bar ca. 40 kg Kohle/ Stunde und schont die Lager
- Optimieren des Teillastbereiches/ Anpassen auf Betriebsbedingungen (bisher wenig beachtet)
 - Hilfsbläser mit Laval-Düsen (kann Dampfverbrauch halbieren, siehe Folie 3)
 - Bessere Überhitzung bei Teillast
 - Abdecken übergroßer Rostflächen bei geringer Auslastung
 - Anpassen der Steuerung
 - Rangierlok im Streckendienst macht „keine gute Figur“
 - BR 9F (ähnlich BR 50) lief leicht bis 145 km/h
 - Verbessern oder einführen der Speisewasservorwärmung
 - → Franco-Crosti Rauchgasvorwärmer „light“ durch einfache Trennwand im Langkessel
 - Neubauzylinder thermodynamisch richtig gestalten
 - Erhebliche Kondensationsverluste bei nicht warmer Maschine verringern
 - „Warm“ ist eine Heißdampflok erst nach ca. 20 Minuten Volllast, eine Nassdampflok nie!
 - Keramikbeschichtung nicht gleitender Teile gegen Wärmeaustausch?
 - Beheizte Zylindermäntel



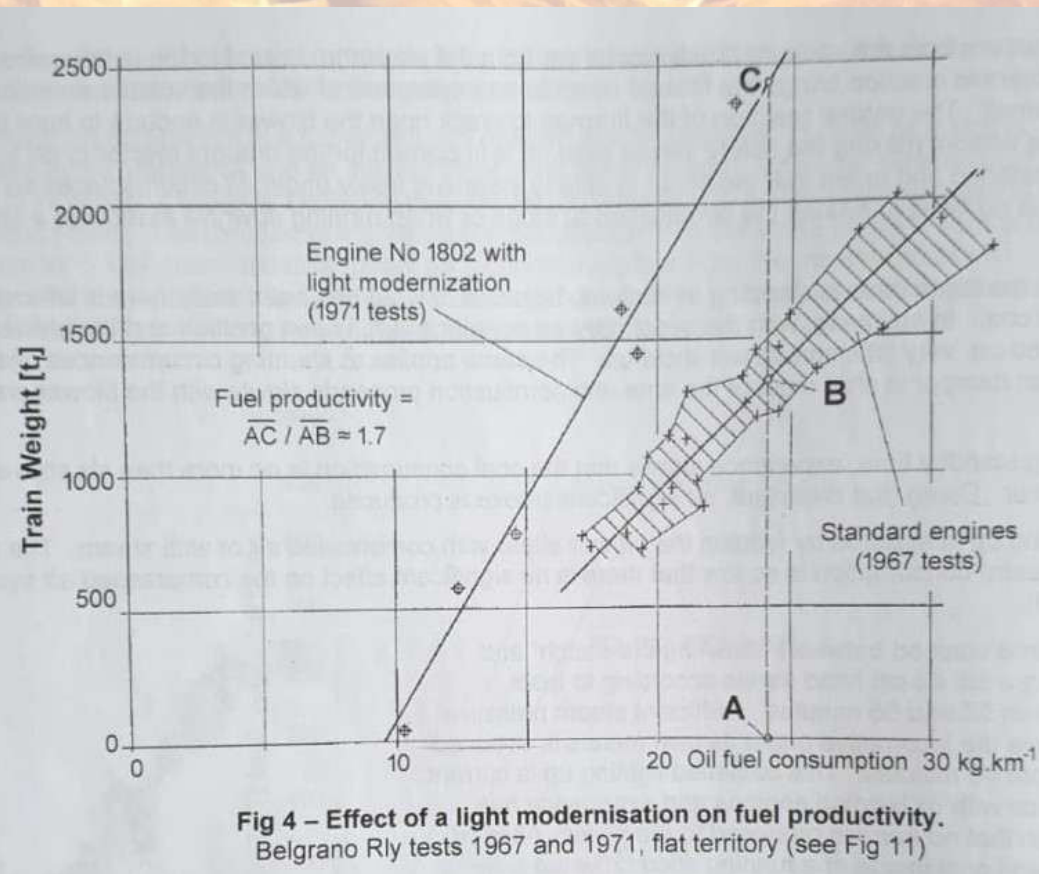
der Fall war; auf einer vom Eisenbahnministerium am 12. Januar 1966 in Nymburk einberufenen Konferenz der Lokomotivführer-Instruktoren wurde festgestellt, daß außer der Leistungssteigerung, Kohlensparnisse zwischen 5 und 14 % erzielt werden, und sich u. a. die reparaturfreie Laufzeit der Achs- und Stangenlager erhöht hat.



Optimierungen

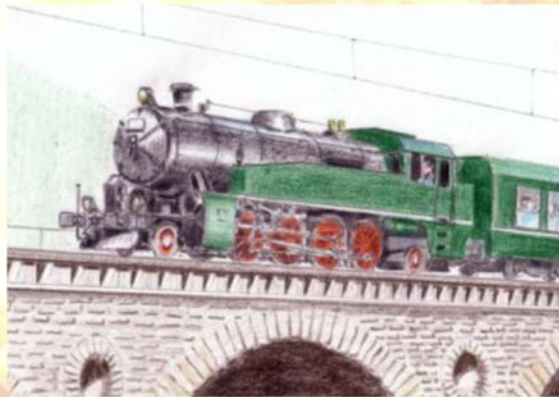
Ein konkretes Beispiel: Ferrocarril General Belgrano Class C16, No. 1802 (2D1 Meterspur)

- Leicht modifiziert (Saugzug, Überhitzung, Schieber & Kolben incl. Schmierung), Ölbrenner
- 30 % weniger Heizölverbrauch für gleiche Leistung
- Vergleich: Franco-Crosti DB 50.40 ca. 20 % Kohleinsparung



Neubauten, Replika und Optimierungen

- Neubauten auf Stand der Technik bzw. Nachbauten oder Revisionen mit unscheinbaren Optimierungen
- Bis 14 % indizierten Wirkungsgrad möglich





Vielen Dank!

www.steam-technologies.de