

Wer gut schmiert ...

den ollen Spruch kennt wirklich jeder, und der gilt auch bei der MoBa. Nur, was genau heißt denn "gut schmieren" bei einer N-Lokomotive? Im Forums-Chat meinte ein Kollege, dass ich, wenn ich doch beruflich mit Wälzlagern zu tun habe, vielleicht etwas dazu sagen könnte.

Noch mal mit der Nase auf das Thema geschubst wurde ich, als das "Spezialöl für Feinmechanik", mit dem ich einige Lokomotiven geschmiert hatte, nach einer Ruhezeit von einem Jahr zu einem zähen Honig geronnen war, den ich ziemlich mühselig wieder rauswaschen durfte. Grund genug also, sich mal grundsätzlich ein paar Gedanken darüber zu machen.

Jetzt ist die Schmierung von Wälzlagern ein Spezialgebiet, das nicht allzu viel mit der Schmierung von N-Loks zu tun hat, aber aus dem erforderlichen Grundwissen lässt sich einiges ableiten. Ich hoffe, dass das Folgende nicht zu sehr nach voll aufgedrehtem Klugscheißmodus klingt, aber ich möchte das Thema gerne von Grund auf anpacken, und "dazu stelle mer uns ma ganz dumm...:"

Dabei hat sich herausgestellt, dass sich derart viel Theorie einbringen lässt, dass man hinterher noch weniger weiß, wo's tickt. Wie sagen wir so schön? "Versuch macht kluch", und deshalb habe ich ein recht umfangreiches Prüfprogramm durchgezogen, bei dem sich die theoretische Spreu recht gut vom praktischen Weizen trennen ließ.

Wer jetzt nicht den gleichen Spleen hat wie ich und eigentlich nur gut fahren will, wird sich wohl kaum mühselig durch die theoretischen Ergüsse und die Versuchsbeschreibungen ackern wollen. Der darf jetzt die nächsten Kapitel überspringen und gleich bei Kapitel 6. "Schlussfolgerungen" weiterlesen - aber muss mir eben dann halt alles blind glauben.

1. Wozu überhaupt schmieren?

Wie in einem Thread "Reparaturbericht BR94"

" <http://www.herimo.de/Board/viewtopic.php?t=582&highlight=br94> zu sehen, geht's ohne Schmierung nicht. Mit dem Schmierstoff wird die Reibung reduziert, denn Reibung erzeugt Wärme, Zugkraftverluste und vor allem Verschleiß zwischen den Funktionsflächen.

Bei Verschleiß gibt es grundsätzlich zwei verschiedene Formen: "Abrasiver" und "Adhäsiver" Verschleiß.

Abrasiver Verschleiß ist erwünscht, wenn man irgendetwas abschmirlgelt oder schleift, ist aber sehr unschön, wenn in eine Lagerstelle eingedrungener Dreck hier Geschäftsführung ohne Auftrag betreibt, siehe die von Helmut mühselig wieder ausgebuchsten Achs- und Zahnradlager bei der E-Bay BR94. Diese Verschleißform kann auch die beste Schmierung nicht verhindern - hier hilft nur Sauberkeit.

Ein indirekter Zusammenhang mit der Schmierung besteht aber insofern, als dass irgendwelcher Dreck natürlich an einer gefetteten oder öligen Fläche besser haftet als an einer trockenen. Über die Gretchenfrage, ob denn nun ein "Fettkragen" den Schmutz bindet und von der Schmierstelle fern hält oder den Schmutz überhaupt erst anzieht und festhält, kann man sich - zumindest bei Wälzlagern - trefflich und lange streiten, weil nämlich beides zutrifft. Dazu später mehr.

Während wir also beim abrasiven Verschleiß noch einen dritten Partner brauchen, der als "Schmirgel" die Oberflächen angreift, ruinieren sich beim adhäsiven Verschleiß die Oberflächen gegenseitig, ohne fremdes Zutun. Hier haben die Oberflächen direkten Kontakt zueinander, verschweißen an den Kontaktstellen kalt und tragen entsprechende Schäden davon, wenn sie wieder getrennt werden. Im Ergebnis werden die Oberflächen sehr schnell rau - was immer mehr Kontaktflächen zum kalt verschweißen erzeugt. Hinzu kommt dann noch abrasiver Verschleiß durch ausgebrochene Partikel. Jedenfalls wird's hier recht schnell zappenduster.

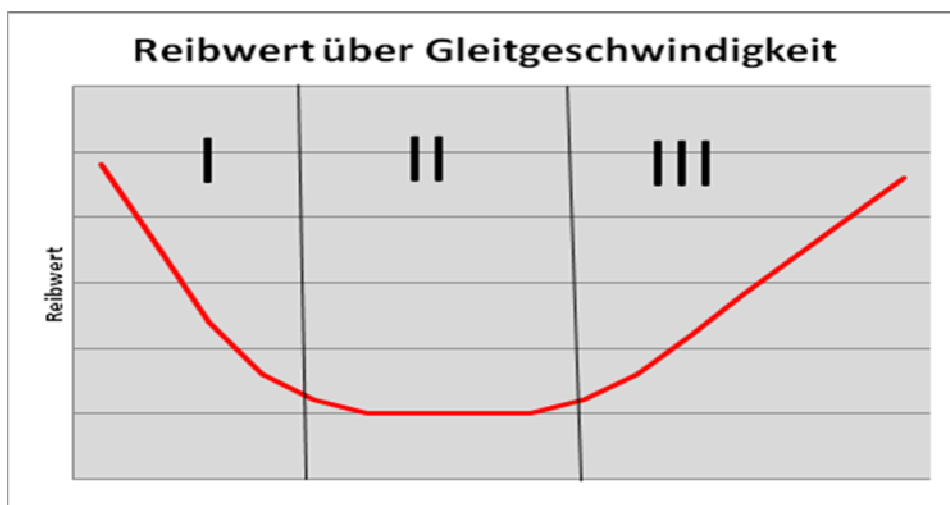
Und hier schlägt jetzt die große Stunde der Schmierung, indem der Schmierfilm die beiden Oberflächen voneinander trennt. Man kann's sich wirklich so vorstellen, dass im μm -Bereich die Oberflächen aussehen wie eine schroffe Gebirgslandschaft, deren Gipfel vom Schmierfilm bedeckt sind. Fabrikneue Oberflächen haben meist noch eine etwas höhere Rauigkeit, so dass einzelne Spitzen des Profils noch wie Inseln aus dem Schmierfilm herausragen. Diese werden dann im Betrieb abgearbeitet, und das ist dann der Einlaufvorgang, den laut Mtx Modellokomotiven genau wie Autos durchmachen müssen.

2. Wie funktioniert die Schmierung?

Der Schmierfilm "trägt" aus dem selben Grund, warum ein Bauchklatscher von 3m-Brett weh tut - wenn man schnell genug ist, werden Flüssigkeiten ganz schön "hart".

Der folgende Vergleich hinkt zwar etwas, aber ist schön anschaulich, und deshalb bringe ich ihn trotzdem. (Weibliche Eisenbahnfans sollten bitte im Geiste die Rollen tauschen): Schmieren ist, wie wenn Du Wasserski fährst. Du fängst an, indem Du bis zum Knie im Wasser stehst und Deiner Frau zurufst, sie soll losrudern. Solange sie nicht schnell genug ist, wirst Du nur über den Grund gezogen, und sie muss sich mächtig anstrengen. Wenn sie dann aber doch schneller wird, hebt sich der Ski ein bisschen, der Kontakt mit dem Grund wird immer geringer und irgendwann schwimmt der Ski ganz auf. Jetzt hat Deine Frau vorne am wenigsten Mühe - sie muss nur schnell genug sein! Wenn sie's jetzt aber übertreibt und zu schnell wird, beginnt das Wasser ein Eigenleben zu führen, jede Welle wird eklig. Deine Frau muss sich wieder mehr anstrengen und Du kriegst mehr Stress, Dich überhaupt noch oben zu halten.

Diese Überlegungen gibt's natürlich auch in wissenschaftlich seriös und das wird in der "Badewannenkurve" des Stribeck-Diagramms zusammengefasst.



Natürlich ist der Bereich 2 - der hydrodynamische Schmierzustand - der anstrebenswerte, da macht das Wasserskifahren am meisten Spaß und Deine Frau muss sich am wenigsten anstrengen. Im Bereich 1 - Mischreibung - machst Du Dir sowohl die Ski, als auch Deine Frau kaputt und auch im Bereich 3 - Planschverluste - kann es Bruch geben.

Wenn Du jetzt in Gedanken die Oberfläche des Ski durch z. B. die zu schmierende Zahnflanke ersetzt, das Wasser durch den Schmierstoff und Deine Frau durch den Motor, hast Du schon mal eine recht gute Vorstellung, was beim Schmieren eigentlich passiert.

Ich will aber den Vergleich noch ein bisschen weiter treiben, und um Deine Ehe zu retten, setze ich Deine Frau ans Ufer und gebe ihr eine Seilwinde, mit der sie Dich zieht.

Wenn jetzt die Seilwinde nicht schnell genug ist, kommst Du aus dem Bereich 1 nicht heraus. Wenn's aber nicht schneller geht und Du unbedingt Wasserski laufen willst, könntest Du z. B. einige Päckchen Tapetenkleister ins Wasser rühren. Dann wird das Wasser „dicker“, und man kann sich vorstellen, dass die Skier dann doch wieder schneller aufschwimmen. Damit wäre der Nachmittag gerettet, Du musst aber auch aufpassen, weil der Bereich 3 ebenfalls näher gekommen ist. Im Prinzip hast Du durch die Dickflüssigkeit das Stribeck-Diagramm nach links verschoben und auch etwas gestaucht.

Wenn umgekehrt die Seilwinde zu schnell ist, könntest Du vielleicht etwas dünnflüssigeres als Wasser in den See füllen.

Die "Dick- oder Dünnflüssigkeit" des Schmierstoffs ist die Viskosität. Schmieröle werden in verschiedenen Viskositätsklassen angeboten, und je geringer die Geschwindigkeiten oder Drehzahlen, desto höher sollte die Viskosität sein, desto zäher läuft's dann aber auch.

Für die Beurteilung der Schmierwirkung eines Fettes ist nicht dessen Konsistenz, - fest oder weich - von Bedeutung, sondern die Viskosität des im Seifengerüst gespeicherten Grundöls, und beides hat nicht viel miteinander zu tun.

Die richtige Auswahl des Schmierstoffs ist also abhängig von der Drehzahl bzw. der Gleitgeschwindigkeit der Oberflächen gegeneinander. Überträgt man diese Überlegung auf unsere N-Lokomotive, haben wir eine relativ hohe Motordrehzahl, die in mehreren Stufen bis zur möglichst gaaaanz langsam laufenden Verzahnung am Radsatz reduziert wird.

Und da wohl kein Mensch für jedes einzelne Zahnradchen einen besonderen Schmierstoff verwenden will - und selbst wenn, vermischt sich eh alles - machen wir bei der Schmierung mit einem universellen Schmierstoff zwangsläufig und prinzipiell Fehler.

Nehmen wir nun einen "dünnen" Schmierstoff, läuft der Motor im Bereich 2 des Stribeck-Diagramms, die Verzahnungen am Radsatz haben aber Mischreibung und sind verschleißgefährdet.

Nehmen wir einen "dicken" Schmierstoff, läuft der Motor mit Planschverlusten heiß, dafür haben wir die Schmierverhältnisse an den Radsatzverzahnungen verbessert.

Nehmen wir einen "mittleren" Schmierstoff haben wir - wenn wir Pech haben - sowohl einen heiß laufenden Motor, als auch verschleißgefährdete Verzahnungen an den Rädern. Einen Schmierstoff mit derart weit gestrecktem Bereich 2, dass es für alles optimal passt, gibt's wahrscheinlich nicht.

Starker Verschleiß setzt hohe Drehzahlen und/oder hohe Kräfte voraus und beides haben wir an den Radsatzverzahnungen nicht. Probleme in diesem Bereich sind wohl eher selten, einen durchgebrannten Motor kann sich aber jeder vorstellen.

- Ich würde daher mit Rücksicht auf den Motor lieber einen "dünnen" Schmierstoff wählen.

Nochmal zurück zum Wasserskilaufen:

Bisher sind wir davon ausgegangen, dass immer genug Wasser da ist. Ziehen wir jetzt in Gedanken den Stöpsel und lassen den See leer laufen, sitzt der Wasserskiläufer auf dem Trockenen und nichts geht mehr. Geben wir jetzt wieder langsam Wasser dazu, werden die Skier vielleicht anfangen, langsam über den nassen Sand zu gleiten. Wenn sich dann Pfützen bilden, wird es zwischen den Inseln schon ganz gut gehen. Irgendwann ist alles von Wasser bedeckt, und es klappt wieder so, wie man sich Wasserskilaufen vorstellt. Wenn wir jetzt mal gemein sind, nehmen wir noch mehr Wasser, und irgendwann ist der Wasserskiläufer auf hoher See mit 4 m Wellenhöhe, und dann macht's auch keinen Spaß mehr und die an Ufer stehende Seilwinde - sofern sie nicht abgesoffen ist - muss sich auch wieder heftig anstrengen, den Wasserskiläufer die Wellen hochzuziehen.

Hinsichtlich der Schmierstoffmengen ergibt sich also ein ganz ähnlicher Verlauf wie bei der Stribeck-Kurve: Zuwenig taugt nichts, zuviel taugt nichts und dazwischen gibt es einen optimalen Bereich.

Übertragen wir das auf unsere Lokomotive, braucht es nur soviel Schmierstoff, dass die Rauigkeitsspitzen der Oberfläche bedeckt sind. Das liegt irgendwo im μm -Bereich, also ist die erforderliche Schmierstoffmenge nur lächerlich wenig - auf jeden Fall weit weniger, als wir überhaupt dosiert aufbringen und verteilen können. dafür lauern auf der anderen Seite des Diagramms wieder die Planschverluste, die nur den Motor belasten.

Die Planschverluste wachsen natürlich auch mit der Drehzahl des Bauteils. Daher ist, was das betrifft die Motorwelle grundsätzlich stärker betroffen als die doch ziemlich langsam umlaufenden Radsätze.

Die erste Schlussfolgerung daraus ist eigentlich simpel:

- Nur wenig Schmierstoff verwenden! Und wenn nur wenig Schmierstoff zur Verfügung steht, sollte der natürlich möglichst lange bleiben, wo er soll und möglichst lange wirken. Eine gute Haftung an der Oberfläche ist erforderlich.

Bringen wir das jetzt mit den Überlegungen zur Schmierstoffviskosität zusammen, ist es also neben dem Gar-nicht-schmieren das falscheste, was man tun kann, wenn man nach dem Motto "Viel hilft viel" einen schönen dicken Schmierstoff in reichlicher Menge in die Lok kübelt. Aber das tut doch eh keiner, oder ?

Da nahezu zwangsläufig zu viel Öl beim Schmiervorgang aufgebracht wird, ergeben sich nach dem Schmieren auch zwangsläufig Planschverluste, die den Antrieb der Lok belasten und so lange anhalten, bis die Schmierstellen das Zuviel an Öl wieder losgeworden sind. Das ist dann der Einfahrvorgang. Daher gleich die zweite Schlussfolgerung:

- Das Öl sollte möglichst dünnflüssig sein, damit das Einfahren möglichst schnell erfolgen kann. Die oben geforderte gute Oberflächenhaftung könnte mit dieser Forderung kollidieren.

3. Wie schmieren ?

3.1 Fett schmiert überhaupt nicht!

Ich hoffe, dass jetzt auch der gelangweilteste Leser wieder wach ist. Aber es stimmt: Jede Fettschmierung ist nur eine verkappte Ölschmierung! Fett ist eigentlich ein "Ölpudding" und wird auch ähnlich wie Pudding hergestellt. Und so, wie beim Pudding die Milch in der aufquellenden Maisstärke verschwindet, verschwindet beim Schmierfett das Öl in einem Seifengerüst - dem "Verdicker".

Es gibt viele verschiedene Verdicker, z.B. auf Basis Lithium oder Harnstoff oder Polyalphaolefin oder oder . Unangenehm ist, dass sich unterschiedliche Verdicker chemisch nicht immer vertragen. Und wer weiß schon, was genau in dem Tübchen 'drin ist? Also, wenn man "seine" Fettsorte wechseln will, dann bitte auch das alte Fett sorgfältig rauswaschen und nicht einfach "draufschmieren".

Für die Oberflächen, die der Schmierfilm trennen soll, ist das Fett ein Fremdkörper. Er stört und wird erst mal beiseite gequetscht. Die Strategie dabei ist nun, dass das Fett in Nähe liegen bleibt, langsam "ausblutet" - also Öl abgibt und damit die Oberflächen benetzt.

Hieraus ergeben sich gleich zwei Probleme:

Wie leicht sich das Fett beiseite quetschen lässt, ist eine Frage der "Konsistenz". Es gibt "steife" Fette, die wie Götterspeise stehen bleiben und ganz weiche, sog. Fließfette. Die Auswahl der Konsistenzklasse ist eine echte Kunst. Je weicher das Fett, desto leichter verteilt es sich, desto leichter verschwindet es aber auch auf Nimmerwiedersehen. Bei unseren Lokomotiven sind die Lagerstellen in der Regel nicht gekapselt - also würde ich ein weiches, aber nicht fließendes Fett nehmen. Das verteilt sich dann aber auch schwerer - also, wie man's macht is es falsch, wenn man Pech hat.

Ob jetzt das Fett, nachdem es aus dem Weg ist, die Oberflächen auch mit genügend Öl versorgt, ist eine Frage der Ölabgaberate. Es ergibt sich in der großen Technik ein gewisser Automatismus, dass die Ölabgabe mit steigender Temperatur zunimmt (aber auch dann reicht's nicht immer...). Wir wollen ja bei schön cool bleiben. Also würde ich ein Tieftemperaturfett nehmen, das auch schon bei Raumtemperatur genügend Öl abgibt. Die sind dann in der Regel auch schon relativ weich.

Vielfach sind Fette mit Additiven versehen, um höhere Leistungen bringen zu können. Da würde ich die Finger davon lassen, weil wir keine so hohen Beanspruchungen bei unseren Loks haben. Dafür sind additivierte Fette, wie auch einige Verdicker, chemisch nicht ganz ohne. Es gibt welche, die Messing angreifen - und wir haben vielfach wunderschöne Messingzahnräder.

Auch sonst gibt es Fette, bei denen der Verdicker Kristalle bildet, oder die mit Festschmierstoffen (Graphit) gestreckt sind, und noch viel Schweinkram mehr. Fett ist auch nicht unbegrenzt haltbar, da es, siehe oben, permanent ausblutet und von Zeit zu Zeit "eingewalkt" werden muss, weil das Grundöl sonst davonläuft. Bei Wälzlagern sagt man, dass man sie nicht länger als zwei Jahre aufbewahren sollte (was allerdings ein Wert mit Gürtel und Hosenträger ist), ohne sie in Betrieb genommen zu haben.

Also, jede Menge Risiken und Probleme, nur um ein bisschen Öl an zwei sich reibende Oberflächen zu bringen. Wobei für das, was wir eigentlich brauchen - nämlich das darin enthaltene Grundöl - noch genau die gleiche Problematik besteht, wie beim "nackten" Öl auch:

3.2. Ölschmierung

Viele Öle neigen zum Verharzen. Diese dumme Angewohnheit hat nichts direkt mit den Schmiereigenschaften zu tun, sondern ist eher eine Frage der Haltbarkeit. Was nutzt der schönste Schmierstoff, der nur drei Tage lang prima funzt und dann gammelig wird? Aus diesem Grund scheidet schließlich auch Salatöl als Schmierstoff aus, obwohl es bestimmt sehr gut schmiert, bevor es ranzig wird ...

Genau mit der Verharzungsfrage habe ich nun schon mehrfach Bekanntschaft gemacht. Da gab es Arnold-Spezialöl ("Nehmen Sie nur dieses!"), das nach fünf Jahren nicht mehr freiwillig aus dem Fläschchen kam, oder auch Lubra "Pflegeöl für Feinmechanik", das sich schon nach einem Jahr in den Loks wie Klebstoff vor dem Abbinden benahm ...

Und besonders eklig dabei ist, dass es ziemlich lange dauert, bis man merkt, dass man sich mit dem vermeintlich tollen Schmierstoff einiges versaut hat. Ich habe zu Hause 50 Lokomotiven, davon viele Dampfloks mit Tenderantrieb. Die sind kaputt, wenn's nicht mehr leichtgängig ist und ich den Sch... nicht mehr 'rausgewaschen kriege! Und wenn ich für jede Lok nur 150 Euronen rechne, geht's hier richtig um Geld!

Wahrscheinlich ist das Verharzen ein reines Stillstandsproblem. Wenn der Schmierstoff dauernd in Bewegung bleibt, dürfte nicht viel passieren. Aber hat schon einen wirklich kontinuierlichen Betrieb auf seiner Anlage, und wer will schon seine Loks jedes Mal umständlich auswaschen, wenn sie mal ein paar Monate standen?

Ich spekuliere jetzt mal ein bisschen. Das Verharzen ist entweder ein Verdunstungsvorgang oder eine chemische Reaktion. Auf jeden Fall verfliegen einige Bestandteile des Öls, die der Hersteller vorher in bester Absicht hineingemischt hat, oder Bestandteile reagieren miteinander. Zurück bleibt im Endeffekt immer das, was bei organischer Chemie meistens herauskommt: Irgendeine übelriechende, klebrige Pampe. Und da ich von Chemie keine Ahnung habe - und abgesehen vom Hersteller kein Chemiker weiß, was überhaupt in einem bestimmten Öl drin ist - ist mir erst mal alles suspekt, was drin ist.

Wenn ich mal auf den Boden der Tatsachen zurückkomme: Wir haben bei unseren Loks weder hohe Drehzahlen noch hohe Belastungen oder sonst irgendwelche Bedingungen vorliegen, die irgendeine chemische Hightech erfordert. Wir haben noch nicht mal ein wirkliches Problem mit Korrosionsschutz. Wirklich hohe Anforderungen an den Schmierstoff liegen bei uns nun wirklich nicht vor. Und unsere Lok hat auch nichts davon, wenn der Schmierstoff werbewirksam grün eingefärbt ist. Also:

- Öl ja - aber darüber hinaus keine Chemie bitte. Nichts, was gefärbt oder mit "speziellen Zusätzen" versehen ist oder danach aussieht, kommt mir mehr in meine Loks!

3.3. Zusammenfassung

Aus den theoretischen Betrachtungen ergeben sich folgende wesentliche Grundforderungen:

- Alle Schmierung ist letzten Endes Ölschmierung. Das Öl sollte dabei – auch mit Rücksicht auf den Einfahrprozess - eher dünnflüssig sein und möglichst frei von irgendwelchen Zusätzen, die möglicherweise nur das Verharzen fördern.
- Das Öl sollte so sparsam wie irgend möglich aufgebracht werden. Um die Schmierwirkung über einen möglichst langen Zeitraum sicher zu stellen, sollte es daher gut an den Oberflächen haften und nicht verdunsten oder abgeschleudert werden. Die Oberflächenhaftung sollte es aber nicht so hoch sein, dass es Auswirkungen auf den Einfahrvorgang hat.
- Fettschmierung birgt seine eigenen Probleme, die mit der eigentlichen Schmierwirkung nichts zu tun haben. Mit Fett sollten daher nur Stellen geschmiert werden, bei denen Öl wirklich nicht funktioniert, z.B. weil es zu schnell weg geschleudert wird.

Als einzigen Kandidaten hierfür könnte ich mir hier den Schneckenantrieb vorstellen. Das setzt aber voraus, dass das Fett besser an der Oberfläche haftet als das Öl. Und wenn ich mir den Messingtrieb an den Schnecken meiner Arnold BR 41, BR 78 und BR 55 so anschau, bin ich auch hier nicht so richtig von Fett überzeugt.

Die Grundforderungen – jetzt ordentlich begründet – entsprechen also im Wesentlichen dem, was auch die MoBa-Hersteller empfehlen. Forderungen stellen ist aber immer leichter, als diese auch tatsächlich zu erfüllen. Und hier stehen eine Menge Forderungen, die sich teilweise auch widersprechen, und es gilt, den günstigsten Kompromiss zu finden.

Mit der Erfahrung, dass auch ein MoBa-Hersteller mit dem unter seinem Namen verkauften Schmierstoff eine Außenlandung hingelegt hat und die Schmierstoffhersteller mitunter auch recht dubioses Zeug verkaufen, sind wir auf eigene Erfahrungen angewiesen. Gerade im Hinblick auf Verharzen kann es aber Jahre dauern, bis diese Erfahrung – dafür dann in recht teurerer Form! – vorliegt.

3.4. Festschmierstoff

Die Idee ist eigentlich recht viel versprechend. Die Problematik der Schmierung mit Öl beruht ja im wesentlichen darauf, dass Öl eine Flüssigkeit ist, deren Eigenleben mühsam darauf hin getrimmt werden muss, dass es einerseits nicht alles „verklebt“ und andererseits nicht gleich auf Nimmerwiedersehen verschwindet. Fett ist hierzu nur ein Notbehelf.

Haben wir vorhin den Wasserschiläufer strapaziert, könnte man bei Festschmierstoffen eher einen alpinen Schiläufer heranziehen, der den Schnee als rutschige Schicht zwischen seinen kostbaren Schiern und dem Geröll auf der Piste nutzt.

In der Wälzlagertechnik haben sich Festschmierstoffe bisher nur in wenigen, ausgewählten Einsatzfällen bewährt. Dies liegt daran, dass einigermaßen bezahlbare Festschmierstoffe wie Graphit oder Molybdän ziemlich große Partikel bilden, die bei Überrollung einen Heidenlärm machen. Der Wälzlagerkugel geht es dabei wie einem Auto, das über Eisbrocken auf der Straße fährt: Die mögen zwar für sich schön glatt sein, trotzdem wird man ordentlich durchgerüttelt.

Kaum vorstellbar, dass so etwas bei unserer Moba etwas taugt.

Irgendwelche High-Tech-Beschichtungen kommen normalerweise nicht in Frage, weil sie einerseits kein Mensch bezahlen kann, andererseits die Tragfähigkeit des Lagers beeinträchtigen. Die Tragfähigkeit wäre bei unseren Loks wahrscheinlich kein Problem, aber wie soll man eine Beschichtung nachträglich aufbringen?

Tatsächlich gibt es aber eine Variante – sogar speziell für die Modelleisenbahn, die sich gar nicht schlecht anhört: Es handelt sich um ein Öl, das mit Teflonpartikeln versetzt ist. Das Öl wird aufgebracht, verteilt sich mitsamt den Partikeln und verdunstet dann. Das hat dann auch den Vorteil, dass weniger Dreck haften bleibt. Nach einigen Anwendungen bleibt eine Teflonschicht mit einer Dicke im Nanometerbereich zurück, die dann bratpfannenmäßig glatt ist und unsere Oberflächen trennt. Hört sich nicht schlecht an.

4. Schmierstellen

Als ob das alles nicht schon kompliziert genug sei, haben wir an der Lok noch eine Vielzahl unterschiedlicher Schmierstellen, die ihre eigenen Bedürfnisse haben. Es handelt sich hierbei um Lagerstellen und Verzahnungen.

4.1. Lagerstellen

Hiermit sind alle Stellen, in denen sich etwas dreht, gemeint. Es handelt sich durchweg um Gleitlager am Motor, Getriebe und Radsatz. Naturgemäß treten die höchsten Drehzahlen am Motor auf, und je weiter „runter“ man kommt, desto niedriger sind auch die Drehzahlen.

Zur Auswahl der Viskosität des Schmierstoffs wurde schon oben gesagt, dass man, wenn den gleichen Schmierstoff für alle Lagerstellen verwenden will, sich am besten nach dem Motor richtet. Hinzuzufügen ist noch, dass diese Lagerstellen meist um die Welle herum geschlossen sind, der eingebrachte Schmierstoff kann sich also nicht ganz so einfach wieder verschwinden. Auch das spricht dafür, lieber einen zu dünnen, als einen zu dicken Schmierstoff zu verwenden.

Ein Sonderfall sind die Dampflokomotiven mit Antrieb im Tender. Hier ist Leichtgängigkeit der Achslager oberstes Gebot, und nachdem mir vor 30 Jahren mal eine Fleischmann BR 50 ein Zuviel an Schmieröl wirklich übel genommen hat, bin ich hier ein Verfechter von „lieber zu wenig als zuviel und lieber zu dünn als zu dick“. Immerhin handelt es sich hier ja nur um ganz langsam umlaufende Lagerstellen, an denen keine wirklich nennenswerte Leistung umgesetzt werden muss.

4.2. Verzahnungen

Üblicherweise haben wir es mit Stirnrad- und Schneckenverzahnungen zu tun. Bei einer ordentlich ausgeführten Stirnradverzahnung gibt es relativ wenig Gleitanteile, dafür aber überreichlich an der Schnecke.

Im Vergleich zu den Gleitlagern sind die Schmierstellen meist ringsum offen und können sich leicht von einem Zuviel an Schmierstoff befreien. Damit versaut man sich aber einerseits die Lokomotive, andererseits steht abgeschleudertes Öl auch nicht mehr zu Schmierung zur Verfügung – jedenfalls nicht da, wo man's braucht.

Also ist hier die Versuchung recht groß, etwas zu nehmen, was besser haftet. Also Fett zum Beispiel. Und das dann natürlich da, wo's am kritischsten aussieht, also der Schnecke. Hier wär's auch schön, wenn sich der Schmierstoff nicht so leicht wegwischen lässt. Schön, aber was hartnäckig an der Oberfläche klebt, ist bestimmt nicht mehr leichtgängig. Bei den meisten Lokomotiven dreht sich aber die Schnecke mit Motordrehzahl und damit belastet der Schmierstoff hier den Motor genauso wie im Motorlager. Wenn man dann noch an den Messingtrieb im Schneckengetriebe einiger Arnold-Loks denkt, wird schnell klar, dass gerade die Schnecke wieder mal ein Ort ist, an dem man eigentlich nichts wirklich richtig machen kann, gar nichts machen aber auch falsch ist.

Schwierig, hier vom grünen Tisch aus eine Empfehlung zu machen.

Sich an die Empfehlungen der Hersteller halten? Hersteller A hat schon Loks geliefert, die wegen Überschmierung stehen geblieben sind. Bei B fressen die Messingschnecken und deren ganz tolles Spezialöl war harzig bis dort hinaus. C scheint seine Loks neuerdings ungeschmiert auszuliefern. Vielleicht tue ich ja jemanden fürchterlich unrecht, aber ein so richtig gutes Gefühl stellt sich da nicht ein – gerade, wenn man sieht, wie komplex die Materie eigentlich ist.

5. Versuche

So viel zur grauen Theorie. Die Verhältnisse sind also reichlich kompliziert und bei einer rein theoretischen Abhandlung stehen immer alle Bedenken gleichwertig nebeneinander. Was davon ist jetzt wirklich wichtig und was kann man getrost vergessen? Viel berechnen kann man hier nicht, also macht wieder mal nur der Versuch kluch, und weil ich's jetzt einfach wissen wollte, habe ich eine recht umfangreiche Testserie angesetzt.

5.1. Prüfprogramm

Natürlich ist es mit der quantitativen Übertragbarkeit von Versuchsergebnissen in die Realität so eine Sache. Aber es reicht ja schon, wenn die Messwerte innerhalb der Versuchsreihe in sich schlüssig ermittelt werden, und damit ist dann auf jeden Fall zumindest eine qualitative Aussage für die Praxis möglich.

Als Erprobungsträger habe ich eine GFN BR91 ausgewählt. Hauptgrund dafür ist, dass diese Lok wegen Kontaktproblemen nur unzuverlässig läuft und für den "echten" Betrieb auf meiner geplanten Anlage nicht in Frage kommt. Bei der Lok gehe ich auch gerne das Risiko ein, dass sie bei den Tests kaputtgefahren wird.

Da sich die Reibung in den verschiedenen Betriebs- und Schmierzuständen nicht direkt messen lässt, wird die Stromaufnahme bei einer bestimmten Betriebsspannung (8V) überwacht. Die gemessenen Verläufe der Stromaufnahme korrelieren mit der Reibung, aber auch dem temperaturabhängigen Widerstand der Motorwicklung.

Folgende Versuchsreihe wurde durchgeführt:

5.1.1. Vorversuche:

Messfahrt mit einem Zug auf dem Testkreis zur Ermittlung der Stromaufnahme unter normalen Betriebsbedingungen. Mit dem Ergebnis lässt sich abschätzen, ob nun die später gemessenen, nur vom Schmierstoff verursachten Änderungen in der Stromaufnahme überhaupt eine für die Praxis maßgebliche Größenordnung haben, und etwa abschätzen welchen Einfluss die Wicklungstemperatur hat.

5.1.2. Schmierstoffvergleiche

Die Lok wird im Prüfstand aufgehängt und direkt an den Trafo angeschlossen. Damit sind alle zufälligen Fremdeinflüsse aus Gleislagen, Steigungen und Gefällen usw. ausgeschlossen. Nachteil ist, dass die mechanische Belastung des Schmierstoffs im Versuch nur gering ist. Bei Wälzlagern zumindest ist die Höhe der Belastung innerhalb vernünftiger Grenzen jedoch nur sekundär.

Mit den bekannten Werten für Stromaufnahme I und Spannung U lässt sich die Eingangsleistung P_e der Lok sehr einfach bestimmen:

$$P_e = U \cdot I$$

Entscheidend ist aber, was am anderen Ende der Lok herauskommt. Stark vereinfacht ist die abgegebene Leistung:

$$P_a \sim M \cdot n$$

Wobei M das Drehmoment und n die Drehzahl ist. Im Drehmoment stecken alle mechanischen Hemmnisse, die der Motor überwinden muss, um die Lok in Bewegung zu versetzen. Natürlich auch die für uns interessante, vom Schmierzustand abhängige Reibung. Lässt das Reibmoment nach, beschleunigt die Lokomotive, bis wieder ein Gleichgewicht mit der eingebrachten Leistung besteht.

Im Verlauf der Messfahrten wurde die Lok deutlich schneller. Die Drehzahl ist also wichtig, um die Reibung bzw. die Änderung der Reibung in der Lok bestimmen zu können. Da die Messung direkt am Motor keine

brauchbaren Ergebnisse brachte, wurde am Kreuzkopf der Testlok ein Reflektorstreifen angebracht und dieser bei den Messungen angepeilt. Dazu musste allerdings die Lok still stehen. Auch daher der Prüfstandseinbau.

Aus den Messungen wird das Drehmoment wie folgt ermittelt:

$$M = (U \cdot I) / n$$

Da sich bei betriebswarmem Motor der elektrische Widerstand nicht mehr nennenswert ändert, sind alle Veränderungen im Drehmoment auf die Reibung und damit auf den Schmierzustand zurück zu führen. Und da uns nur die Messwerte selbst und deren Veränderung zueinander interessieren, können wir uns alle Feinheiten, wie Umrechnung der Kreisfrequenz usw. sparen. In den Versuchsdiagrammen werden die Reibmomente nicht ganz korrekt, aber überall gleich falsch in der Einheit Nmm angegeben.

Zu Beginn eines jeden Versuchs wird die Lok mit Benzin gründlich ausgewaschen und die Stromaufnahme bei 8 V im trockenen Zustand gemessen. Dieser Wert bildet dann die Referenz für den folgenden Versuch.

Für den Versuch wird dann die Lokomotive mit dem jeweiligen Schmierstoff geschmiert und in Betrieb genommen. Es ergibt sich nach einer gewissen Einlaufphase ein Beharrungszustand. Dann wird über 10 Minuten alle 30 Sekunden die Stromaufnahme und die Drehzahl gemessen. Danach wird die Lok für ca. 1 Stunde stehen gelassen und dann der Versuch wiederholt. Ein dritter Versuch erfolgt dann, nachdem die Lokomotive mindestens über Nacht stehen blieb.

Hieraus ergeben sich erste Bewertungsmöglichkeiten für die Schmierstoffe und die zur Schmierung eingesetzten Verfahren..

5.1.3. Dauerversuch

Mit dem besten Schmierstoff aus 5.1.2. wird dann untersucht, wie lange der Beharrungszustand besteht, bis die Stromaufnahme wieder steigt und nachgeschmiert werden muss.

Hieraus ergeben sich Anhaltspunkte für die Wahl einer vernünftigen Schmierfrist.

5.2. Nebenparameter

Die als Kenngröße herangezogene Stromaufnahme hängt abgesehen von den zu untersuchenden Reibungsverhältnissen auch von der Motortemperatur ab, da sich der Widerstand des Kupferdrahtes in der Wicklung mit steigender Temperatur erhöht.

Nach dem Ohmschen Gesetz ergibt ein höherer Widerstand eine geringere Stromaufnahme. Die Temperaturerhöhung im Motor kann nur ganz grob abgeschätzt werden. Ab ca. 60° wird es schmerzhaft, eine metallische Oberfläche zu berühren. Dies wurde nur bei Vorversuchen ohne Schmierung oder beim Einlaufprozess erreicht. Die Temperatur von 60°C entspricht einer Erhöhung von 40 K gegen Raumtemperatur. Zur Abschätzung wird angenommen, dass dem gegenüber die "normale" Erwärmung 20 K beträgt.

Mit den Kennwerten für Kupfer ergeben sich folgende Zahlenwerte für die Widerstände und Ströme bei 40° (R40, I40) und 60° (R60, I60) gegenüber Raumtemperatur (R20, I20):

$$\begin{aligned} dt = 20^\circ R40/R20 &= 1,078 & I40/I20 &= 0,928 \\ dt = 40^\circ R60/R20 &= 1,156 & I60/I20 &= 0,865 \end{aligned}$$

D. h. ein gemessener Stromabfall von bis zu 7 % bei betriebswarmen Motor, bzw. 14 % bei heiß werdendem Motor ist widerstandsabhängig, nur darüber hinaus gehende Änderungen sind auf Reibungsvorgänge zurück zu führen. Ein Temperaturunterschied von ca. 3° erzeugt eine prozentuale Änderung des Stroms von ca. 1 %.

Lässt sich das auch direkt messen? Ich hab's mal probiert und folgende Werte ermittelt:

Vor dem Versuch: Motortemperatur: 21°C, Widerstand: 48
Nach dem Versuch: Motortemperatur: 31°C, Widerstand: 32

Das ergibt natürlich überhaupt keinen Sinn. Wer misst, misst Mist, und wie mir ein Kollege aus der elektrischen Zunft bestätigte, sind kleine Widerstände mit Standardmessmitteln kaum genau zu messen. Auch die Temperaturmessung ist alles andere als vertrauenerweckend, da man ja nicht in der Wicklung messen kann. Also ist die rechnerische Abschätzung oben wahrscheinlich genauer als jeder Versuch, diese durch Messungen zu verifizieren.

5.3. Getestete Schmierstoffe

Für die Tests habe ich erst mal folgende Schmierstoffe vorgesehen:

5.3.1. Nähmaschinenöl

Also ganz billiges Öl aus dem Baumarkt. Rein instinktiv käme ich nicht auf die Idee, so was in meine Loks zu schütten, aber vielleicht kann man das als schlechtes Beispiel nutzen ... oder sehr überrascht werden.

5.3.2. Ballistol

Das Zeug ist schon seit Ewigkeiten auf dem Markt und angeblich gut für und gegen alles und völlig verharzungsfrei. Es riecht zwar merkwürdig – so viel zur Chemie – aber ich habe eine Flasche von dem Zeugs vor 10 Jahren geerbt, und es hat sich bislang noch nichts unten abgesetzt. Mal sehen, was wird.

5.3.3. Kontakt 61

Kommt in Sprayform und ist ultradünn. Laut Verpackungsaufdruck ein „Idealer Schmierstoff für feinmechanische Getriebe“. Weil es so dünn ist, dürfte es wohl den Gegenpol zum Nähmaschinenöl bilden. Zur Zeit habe ich dieses Öl in Verwendung, eigentlich mehr als Schutz gegen Korrosion und um mal hin und wieder fahren zu können.

5.3.4. Lubra

Dieses grüne, verharzende Zeug wird von Mobil hergestellt und wurde (wird?) auf Modellbauermessen verkauft. Nachdem es verharzt und klebt, kommt es eigentlich nicht mehr in Frage, aber mich interessiert es halt, ob es wenigstens was taugt, solange es nicht verharzt ist.

5.3.5. „Scherblattöl“

Kommt als Zubehör mit Langhaarschneidern von Braun. Das Öl ist relativ dünn, völlig klar und innerhalb von 10 Jahren völlig stabil geblieben. Die beiden Scherblätter des Langhaarschneiders oszillieren recht schnell und reiben heftig aneinander und das Öl funktioniert an dieser schwierigen Stelle prächtig. Klingt alles recht vielversprechend und es hat mich einfach mal interessiert, ob sich das auch tatsächlich bewährt.

5.3.6. Trockenschmierstoff

Von der Firma High Tech Modellbahnen speziell für Spur Z vertrieben – sollte aber auch bei uns verwendbar sein. Es handelt sich um einen mit Teflon versetzten Schmierstoff, bei dem das Öl nach 3 Tagen verdunstet ist und nur das Teflon zurücklässt.

Der Hersteller empfiehlt, bei Ersteinsatz diese Prozedur 3 ... 4 Mal zu wiederholen, damit sich eine ausreichende Teflonschicht aufbauen kann. Das macht eine Vorbereitungszeit von über einer Woche. Die Untersuchung dieses Schmierstoffs wird daher ganz ans Ende der Versuche geschoben.

5.3.7. LGMT 2

Ein Standard-Schmierfett zur Wälzlagerschmierung. Wie man meinen Ausführungen zwischen den Zeilen entnehmen kann, mag ich Fett eigentlich nicht, aber mal sehen, was es an der Schnecke so anrichtet ...

6. Ergebnisse

6.1. Erster Vorversuch

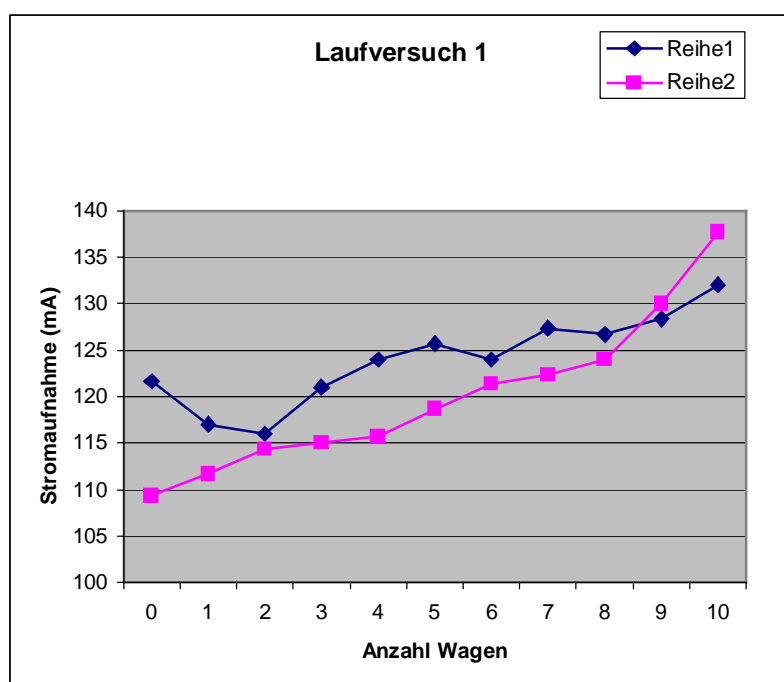
Gemessen wurde auf einem kleinen Oval mit einem Radius von ca. 190 mm.

Die Lok war in einem geschmierten, am Vortag für ca. 30 min eingefahrenen Zustand (Scherblattöl). Für den Zug wurden 10 kleine Mtx Schotterwagen verwendet. Diese wurden aufgrund ihres sehr kleinen Achsstands gewählt, um ein Zwängen in den engen Kurven zu minimieren.

Vorgehensweise:

Es wurden jeweils 3 Runden gefahren und an der gleichen Stelle der Strecke die momentane Ist-Stromaufnahme gemessen. Die in der Grafik gezeigten Messwerte sind die Mittelwerte der drei Messungen. Danach wurde die Anzahl der angehängten Wagen um jeweils 1 erhöht und die nächste Messfahrt durchgeführt, bis eine Gesamtzuglänge von 10 Wagen erreicht war. Danach folgte eine kurze Pause und Zwischenmessung der Stromaufnahme der Lok bei Alleinfahrt (Einzelmessung). Danach wurden die Messfahrten wie zuvor wiederholt, jedoch nach jedem Messpunkt die Zuglänge wieder um 1 reduziert, bis die Lok alleine fuhr.

Im Diagramm ist daher blaue Kurve von links nach rechts, die rote von rechts nach links zu lesen.



Daneben wurden folgende Einzelmessungen durchgeführt:

Anfahrspannung und -strom bei Versuchsbeginn: 5,8 V; 125 mA
 Anfahrspannung und -strom nach Versuchsende: 4,4 V; 86 mA

Stromaufnahme bei durchdrehenden Rädern und 8 V: 155 mA
 Stromaufnahme bei allein fahrender Lok zwischen den Messungen: 113 mA

Kurztest: "Am Tag danach" wurde die Lok noch einmal allein bei 8 V fahren gelassen:
 Stromaufnahme zu Beginn: 150 mA
 Stromaufnahme nach 5 Minuten: 112 mA

Bei allen Messungen blieb die Lokomotive "normal betriebswarm" (was immer das auch heißt).

Auswertung und Schlussfolgerungen:

Bei betriebswarmer und eingefahrener Lok scheint sich - ohne angehängten Zug - eine Stromaufnahme von ca. 110 mA bei 8 V einzustellen.

Stellen wir uns erst mal ganz dumm und lassen bei Reihe 1 die Messpunkte für 0 bis 2 und bei Reihe 2 die Messpunkte für 8 - 10 Wagen weg. Im Trend liegen die beiden übrig bleibenden Verläufe parallel und die Stromaufnahme steigt mit durchschnittlich rund 3 mA pro angehängten Wagen. In dem Bereich, in dem die beiden Kurven parallel liegen, beträgt die mittlere Abweichung 5 mA.

Nun zu den ersten drei Punkten bei Reihe 1: Trotz zunehmender Last sinkt die Stromaufnahme von 122 mA auf 116 mA. Wenn Stromaufnahme jedoch eigentlich um 3 mA pro Wagen steigt, müsste der erste Messpunkt eigentlich bei 110 mA liegen - was dann auch zu den anderen Messungen passen würde.

Ebenso steigt die Messkurve bei Reihe im Bereich 8 - 10 Wagen stark überproportional von 124 mA auf 138 mA. Mit 3 mA pro Wagen müsste der Messwert eigentlich bei 130 mA liegen.

Wir liegen bei Messreihe 1 um 12 mA, entspricht 11%, bei Messreihe 2 um 8 mA, entspricht ca. 6 % neben dem eigentlich zu erwartenden Wert. Beide Beträge sind in etwa gleich und traten jeweils zu Beginn der Messreihen auf. Es liegt nahe, dass dies in erster Linie auf die Erhöhung des Widerstands der Motorwicklung durch die Erwärmung zurückzuführen ist.

Entsprechend hat sich die Motorwicklung während der ersten drei Messfahrten der Reihe 1 um rund 33 K erwärmt, bei Reihe 2 um rund 18 K. Messreihe 2 wurde kurz nach Beendigung von Messreihe 1 begonnen, und der Motor wahrscheinlich noch nicht auf Raumtemperatur abgekühlt.

Die generelle Differenz von 5 mA zwischen Messreihe 1 und 2 wird dadurch nicht erklärt. Diese deutet stark darauf hin, dass sich die Lok auch nach ca. 1/2 Stunde Betrieb nach der Neuschmierung noch nicht wieder voll eingefahren war. Die Nachwehen des Einfahrprozesses scheinen also sehr lange zu dauern. Auch die erheblich verbesserten Werte für Anfahrspannung und -strom vor und nach Versuch sprechen deutlich dafür. Für die Praxis - gerade bei Analogfahrern - dürfte der Unterschied bei Anfahrstrom und -spannung durchaus schon bedeutsam sein.

Beim Kurztest "Am Tag danach" lag zu Beginn schon wieder eine recht hohe Stromaufnahme vor, die aber dann sehr schnell abfiel. Der Unterschied von 38 mA kann nicht alleine nur von der Erwärmung des Motors stammen. Dies deutet ebenfalls darauf hin, dass bereits nach relativ kurzzeitigen Abstellungen schon wieder ein spürbarer Einfahrprozess erfolgt. Um dies zu klären, wurde eine weitere Messreihe, siehe Vorversuch 2, angefertigt.

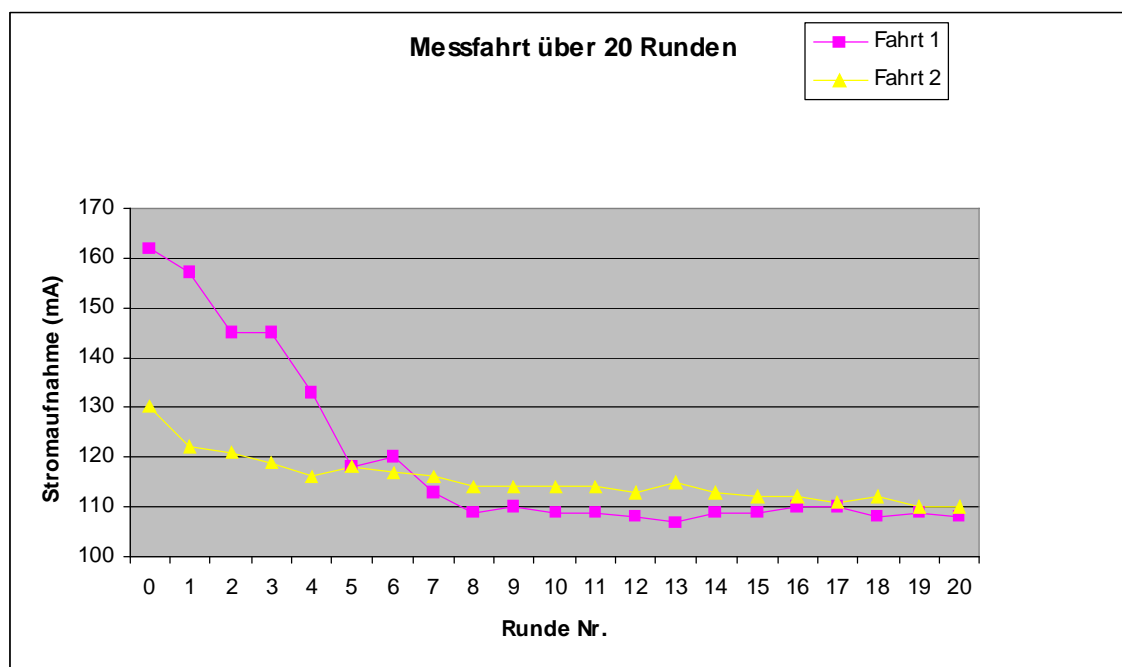
Schlussfolgerungen:

- Bei den Schmierstoffdauerversuchen wird dem Motor zunächst 3 min Zeit gegeben, um auf Betriebstemperatur zu kommen.
- Bei den Einfahrversuchen wird dies allerdings nicht möglich sein. Die sich ergebende Beeinflussung der Stromaufnahme durch noch einen weiteren Effekt neben der Schmierung selbst muss dann wohl oder übel toleriert werden.

•

6.2 Zweiter Vorversuch

Die Lok ohne Zug auf den Messkreis gesetzt, mit 8 V konstant betrieben und bei jeder Runde (ca. alle 10 sec) die Stromaufnahme gemessen, bis sich ein Beharrungszustand einstellte. Nach 5 min Pause wurde der Versuch wiederholt. Es ergaben sich folgende Verläufe:



Zwischen den beiden Fahrten und nach Versuchsende wurden wieder Anfahrspannung und -strom gemessen. Es ergaben sich in beiden Messungen 4,4 V und 86 mA.

Die gemessene Motortemperatur vor dem Versuch betrug 21 °C, nach dem Versuch 31°C. Die Temperatur wurde am Motorgehäuse gemessen - die Temperaturdifferenz in der Wicklung dürfte höher gewesen sein. Geht man von vom doppelten, ca. 20 K aus, müsste sich die Stromaufnahme um ca. 7 % verringern.

Die Verringerung der Stromaufnahme zwischen der jeweils ersten und letzten Runde bei beiden Messfahrten beträgt:

Fahrt 1: 157 mA / 108 mA => Verringerung 31 %

Fahrt 2: 122 mA / 110 mA => Verringerung 10 %

Bei der Verringerung der Stromaufnahme bei Fahrt 2 dürfte im wesentlichen die Erwärmung und Widerstandsänderung des Motors verantwortlich sein, bei Fahrt 1 hat der nach einigen Stunden Betriebspause durch die Schmierung bedingte Einfahrprozess dominiert.

Die Fahrzeit pro Runde liegt bei ca. 6 sec. Diese Messungen wurden an mehreren Tagen wiederholt, und es ergaben sich stets die gleichen Verläufe.

Schlussfolgerungen

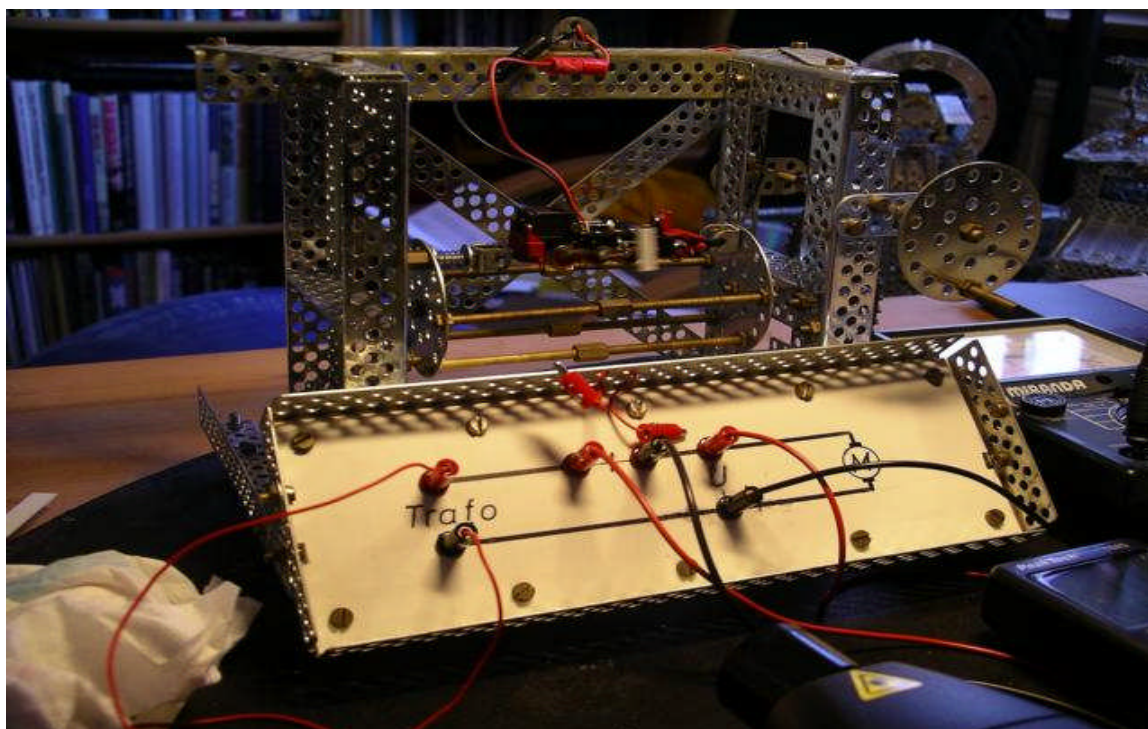
- Kurze Betriebsunterbrechungen beeinflussen den Schmierzustand nicht oder nur unwesentlich, längere durchaus.
- Nach 10 Runden ist ein Beharrungszustand erreicht, entsprechend ca. 1 min. Die Einlaufzeit von 3 min bei Dauerversuchen ist daher ausreichend.
- Diese Vorgänge verursachen eine Mehrbeanspruchung des Motors, die ohne weiteres in der Größenordnung der "eigentlichen" Beanspruchung durch die Zuglast liegt.

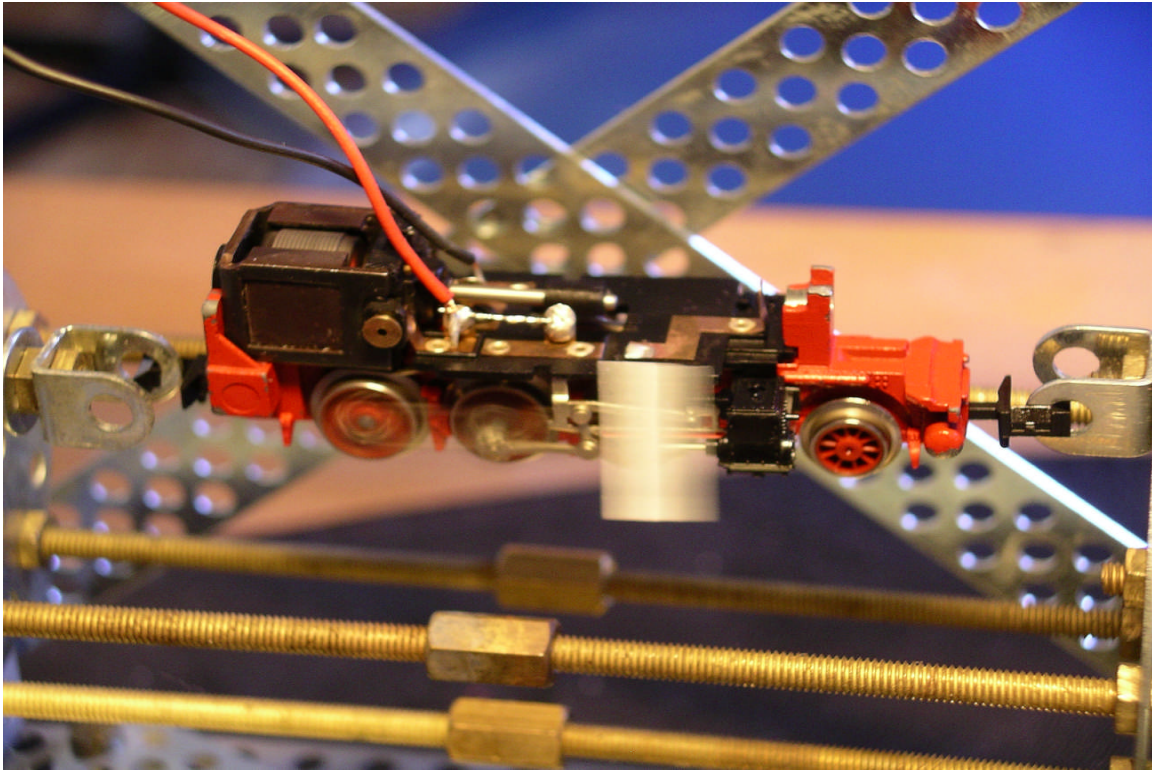
Jetzt wird's natürlich wirklich interessant, was bei Neuschmierungen und bei verschiedenen Schmierstoffen herauskommt.

6.3 Prüfstandsversuche

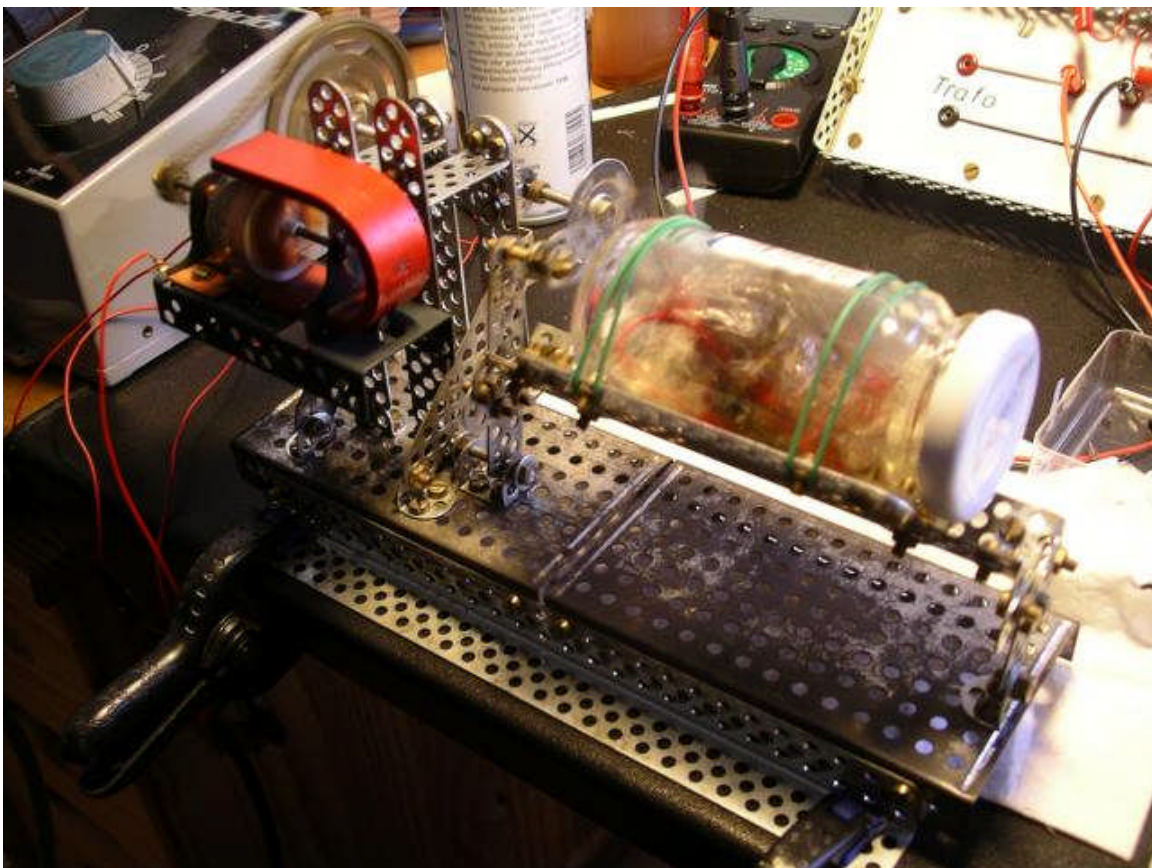
Als erstes wurde ein Prüfstand gebaut, in dem die Lok frei aufgehängt wurde. Damit wurden Störungen durch irgendwelche Fremdeinflüsse vermieden. Um auch bequem an alle Schmierstellen zu kommen, habe ich die Lok in einen drehbaren Rahmen gespannt.

Wie man sieht, kam hier der gute, alte Trix-Baukasten zu Ehren. Auf dem Detailbild der Lok sieht man auch den am Kreuzkopf angebrachten Reflektorstreifen zur Drehzahlmessung.



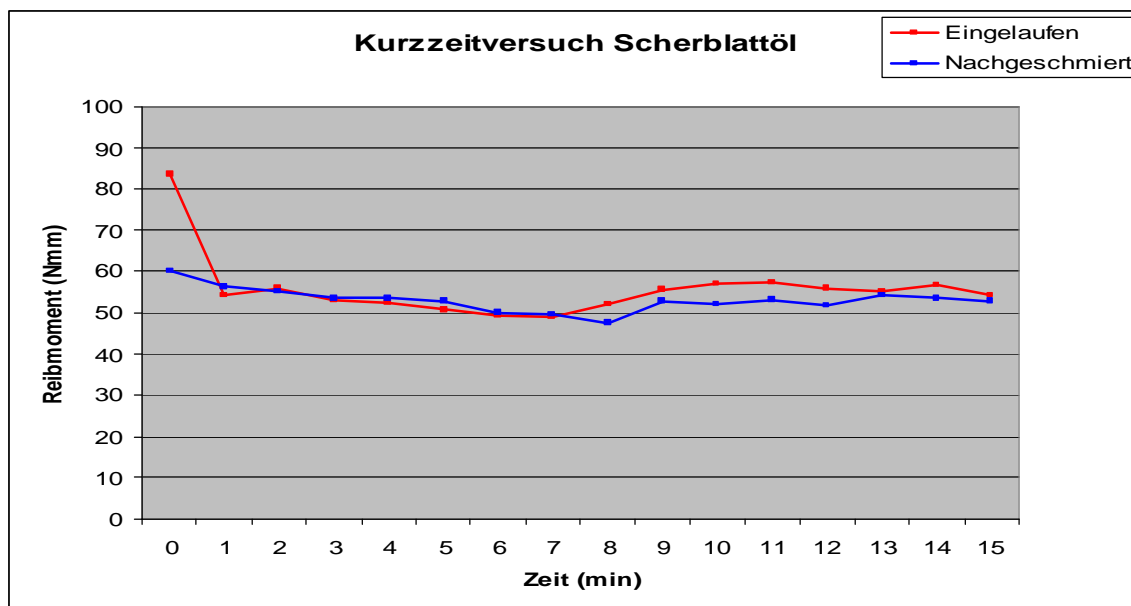


Und da sich der Trix-Baukasten so schön zum Bau derartiger Gerätschaften eignet, und ich außerdem faul bin, habe ich noch eine Waschmaschine gebaut, in der die Lok zwischen den diversen Versuchen gründlich mit Benzin ausgewaschen wurde. Reichlich versponnen, oder? Heute würde ich das mit Ultraschall machen, aber so etwas hatte ich da eben noch nicht ...



Nun aber zu den Versuchen und Ergebnissen:

6.3.1 Scherblattöl



Hier hatte sich die oben dargestellte Systematik noch nicht herausgebildet. Auch die Vorversuche wurden mit diesem Öl durchgeführt. Ein weiterer Versuch mit der endgültigen Systematik unterblieb, da sich bei allen Versuchen mit diesem Öl eine recht lange Einfahrzeit ergab, die von anderen Ölen locker unterboten wurde.

Betrieb der ausgewaschenen, nicht geschmierten Lokomotive auf dem Prüfstand und Messung der Zeit, bis sich ein Beharrungsstrom einstellt.

-> Erkenntnis:

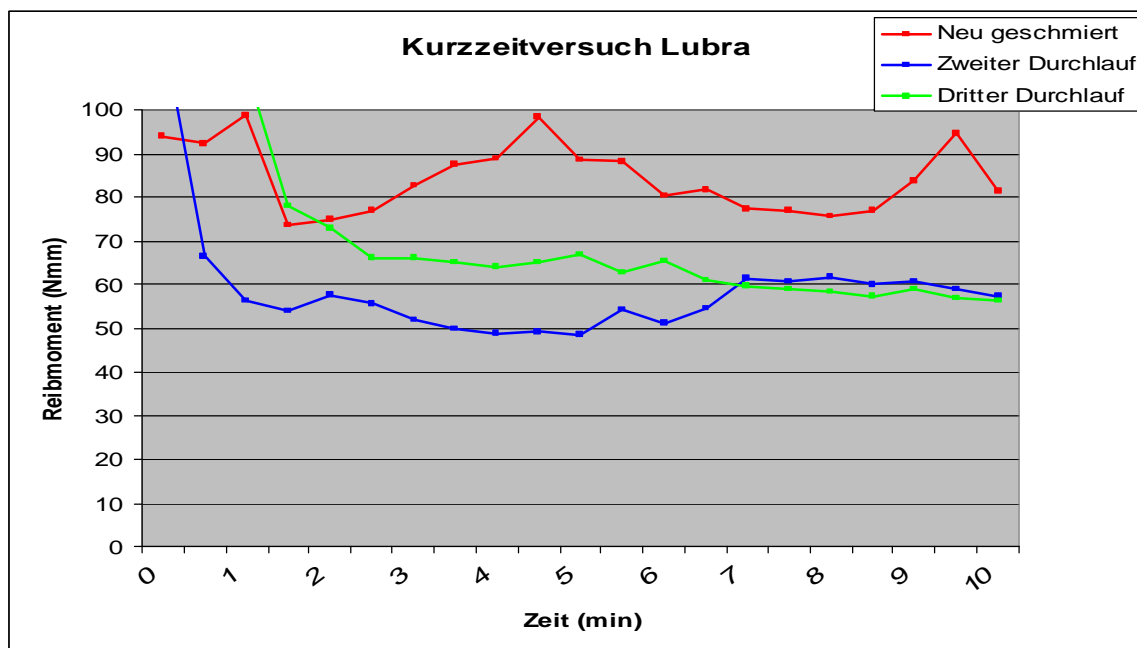
Abschätzung, wie schnell sich der Motor erwärmt

Danach sukzessive Schmierung aller Schmierstellen (Motor, Schnecke, Getriebe, Radlager) mit Zwischenmessung.

-> Erkenntnis:

Anteil der einzelnen Untersysteme an der Gesamtreibung

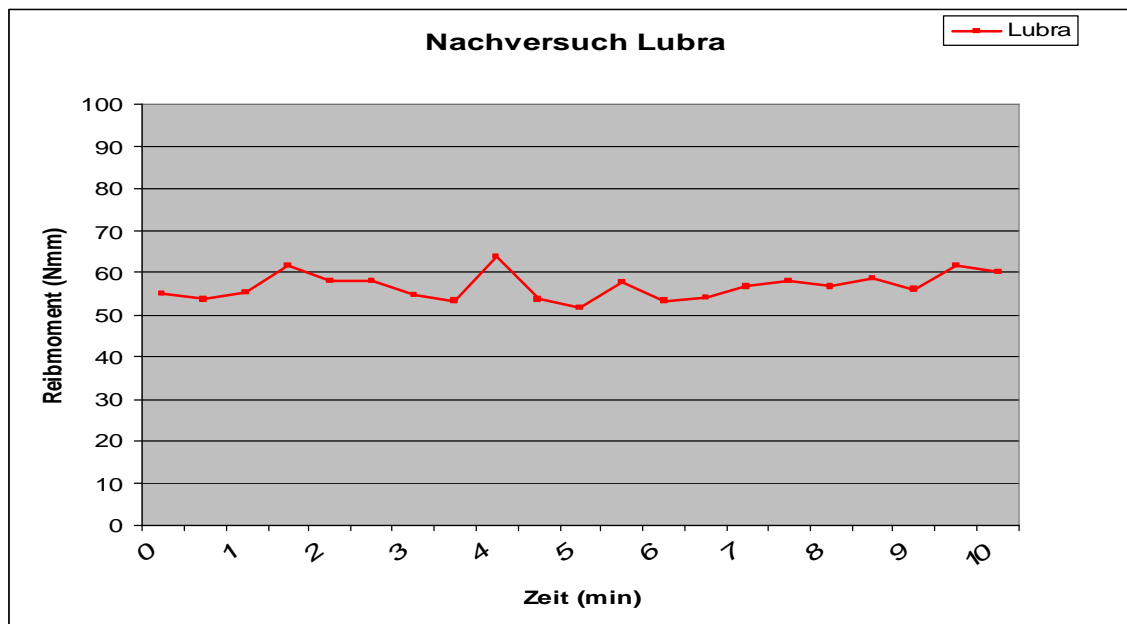
6.3.2. Lubra



Das Öl wurde direkt aus der Dosierkanüle an den Schmierstellen aufgebracht. Nach der Neuschmierung wurde überhaupt kein Beharrungszustand erreicht und auch die nachfolgenden Messungen streuten sehr stark.

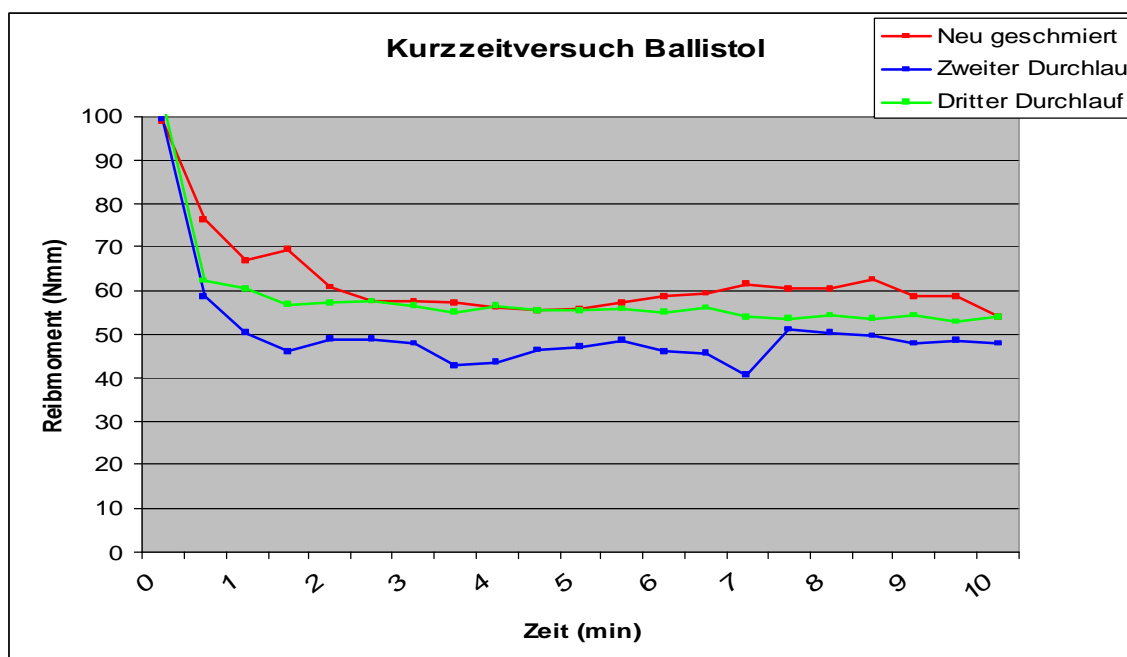
Die Laufzeit, bis sich beim zweiten und dritten Durchlauf überhaupt einigermaßen stabile Zustände eingestellt haben, lag bei mindestens 3 Minuten.

Um zu prüfen, ob beim Schmieren aus der Kanüle nicht vielleicht zu viel aufgebracht wurde, wurde der Test nach Abschluss der Kurzzeitversuche noch mal wiederholt, dieses Mal wurde nur wenig Öl mit dem Pinsel aufgebracht:



Das Reibmoment lag zwar nun deutlich niedriger, aber ein konstanter Verlauf stellte sich nicht ein. Zwischen den Messungen traten teilweise deutliche Peaks bei der Stromaufnahme und Einbrüche bei der Drehzahl auf.

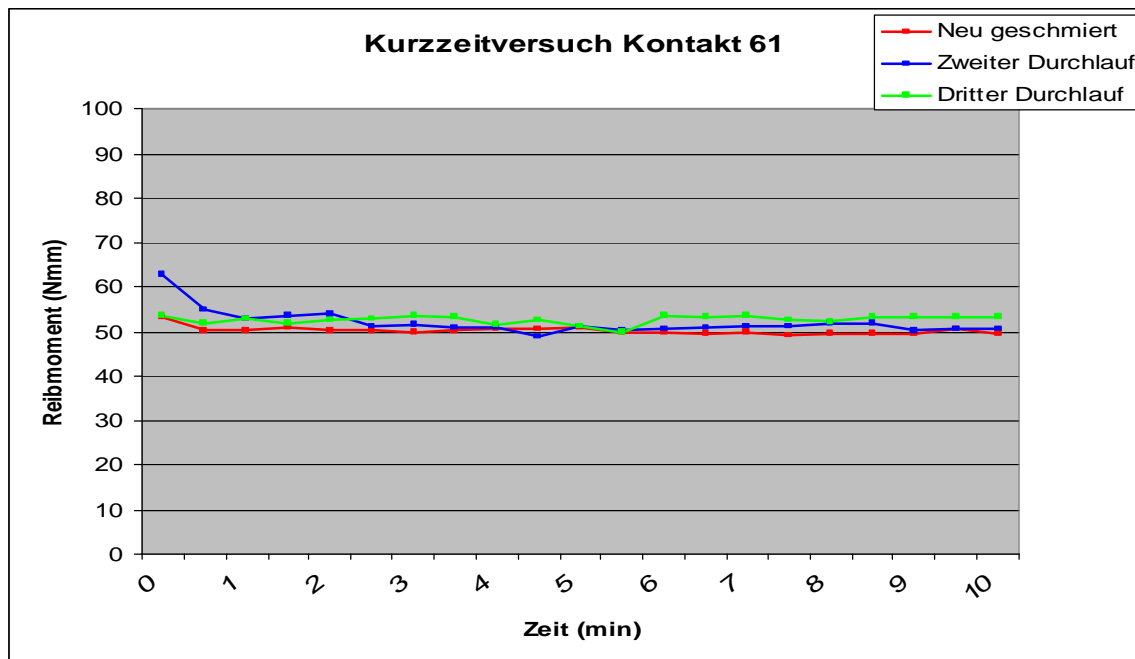
6.3.3. Ballistol



Die Kurvenverläufe sind deutlich zivilisierter und als Reibmoment geringer als beim Lubra. Es zeigt sich allerdings auch hier bei allen Versuchen eine deutliche Einfahrzeit von 3 Minuten.

Zur Schmierung wurde ein Draht ins Öl getaucht und die jeweils anhängenden Tröpfchen an der Lagerstelle abgestreift.

6.3.4. Kontakt 61

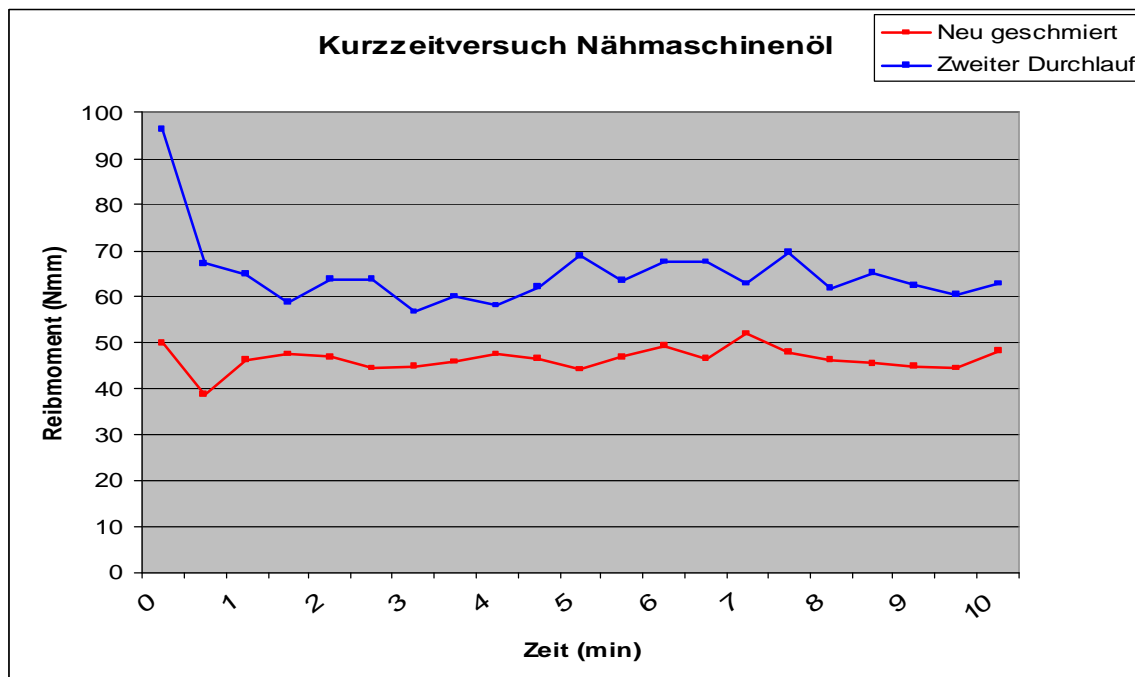


Nach den ersten Versuchen stellen diese Verläufe eine absolute Überraschung dar. Sehr geringes Reibmoment, praktisch keine Streuung und Einfahrzeit – was will man mehr?

Der Schmierstoff wird als Spray geliefert. Für die Schmierung wurde eine geringe Menge in einen Deckel gesprüht und von dort mit einem feinen Pinsel (Größe 0) an den Schmierstellen aufgebracht. Hier liegt wohl auch des Rätsels Lösung für die sehr guten Werte:

Der Schmierstoff besteht zum größten Teil aus einem Lösungsmittel. Im Deckel war dieses am nächsten Tag verfliegen und hinterließ eine dünne, recht gut haftende Schicht aus Öl. Bei diesem Schmierstoff wird also letztlich nur eine äußerst geringe Ölmenge aufgebracht, die durch das Lösungsmittel sehr fein verteilt wird.

6.3.5 Nähmaschinenöl



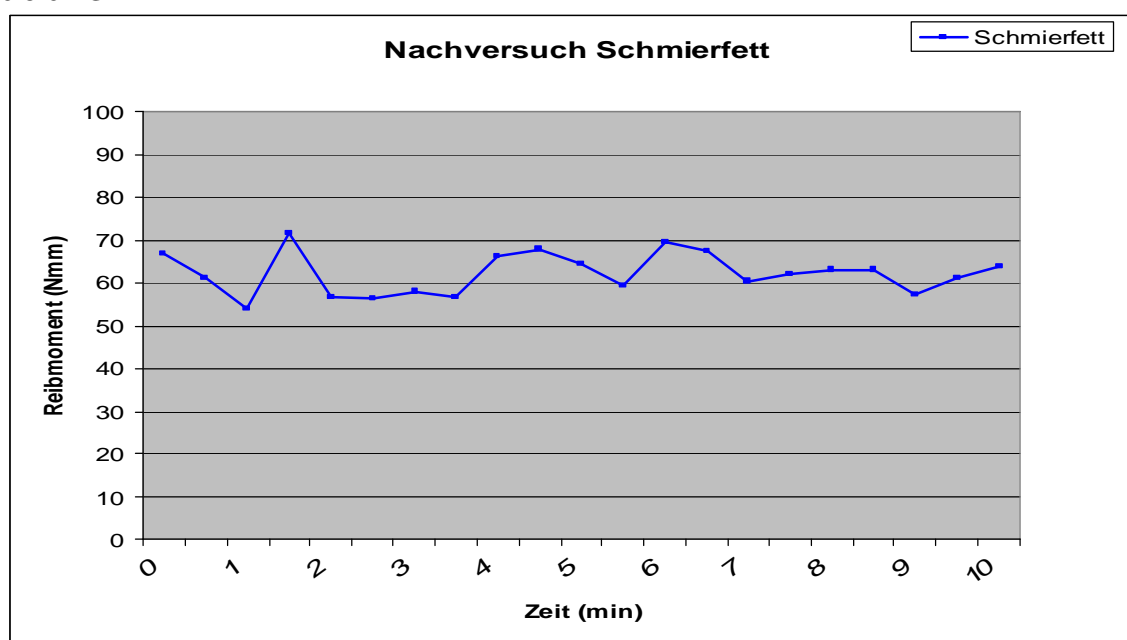
Für diesen Versuch wurde mutwillig reichlich Öl direkt aus der Flasche aufgegeben. Bei der Neuschmierung hatte dies noch überraschend wenig Einfluss – dafür umso mehr beim zweiten Durchlauf. Es zeigten sich zwischen den Messungen wirklich signifikante Peaks bei der Stromaufnahme – bis zu 300 mA -. Nach der zweiten Messreihe wurde versuchsweise die Spannung auf 12 V hochgeregelt – aber sehr schnell wieder zurückgenommen als plötzlich Werte zwischen 800 und 1000 mA auftraten. Hier hätten wohl sowohl Analogis als auch Digitalos ihre Freude dran gehabt. Auf den Versuch „am Tag danach“ wurde dankend verzichtet. Jedenfalls ein klarer Nachweis, dass man beim Schmieren auch etwas kaputt machen kann.

Rätselhaft bleibt, warum die rote Kurve noch so gut erscheint. Es ist zu vermuten, dass durch das Auswaschen mit Benzin die vorher getestete Schmierung mit Kontakt 61 nicht ausreichend entfernt wurde und das relativ zähe Nähmaschinenöl eine gewisse Zeit brauchte, um bis es das Kontakt 61 aus den Schmierstellen verdrängt hat.

Inwieweit ähnliche Effekte auch bei den vorigen Messungen auftraten, ist nicht sicher. Hier zeigten aber alle Schmierstoffe unmittelbar ihre eigenen Charakteristiken, so dass dies wenig wahrscheinlich erscheint.

Beim Auswaschen der Lokomotive wurde nach diesem Versuch das Waschbenzin zusätzlich mit einem Anteil Isopropanol versetzt.

6.3.6 LGMT 2



Hier wurde lediglich die Schnecke mit einer geringen Menge Fett (Schraubendreher Spitze) geschmiert, die restliche Lok lief mit Kontakt 61. Der Einfluss des Fettes ist unübersehbar.

6.3.7. Schlussfolgerungen

Es bewahrheiten sich alle Aussagen aus der theoretischen Erörterung:

- Schmierfett bringt Unruhe in das System
- Sowohl der Schmierstoff selbst, als auch dessen Dosierung sind von Bedeutung

Die teilweise bei den Schmierstoffen angebotenen Dosierspitzen und –kanülen kann man getrost vergessen. Es kommt immer noch zu viel heraus. Die besten Ergebnisse lassen sich erzielen, wenn man die Schmierstoffe mit einem feinen Pinsel aufträgt.

Beruhigend ist, dass sich – bis auf den einen Fall bei der frevelhaften Verwendung von Nähmaschinenöl – keine Zustände eingestellt haben, die für die Lok oder einen etwa eingebauten Decoder gefährlich geworden wären. Es zeigt sich aber auch, dass die Lok unmittelbar nach dem Schmieren eine höhere Stromaufnahme hat und hier durchaus auch Spitzen auftreten können.

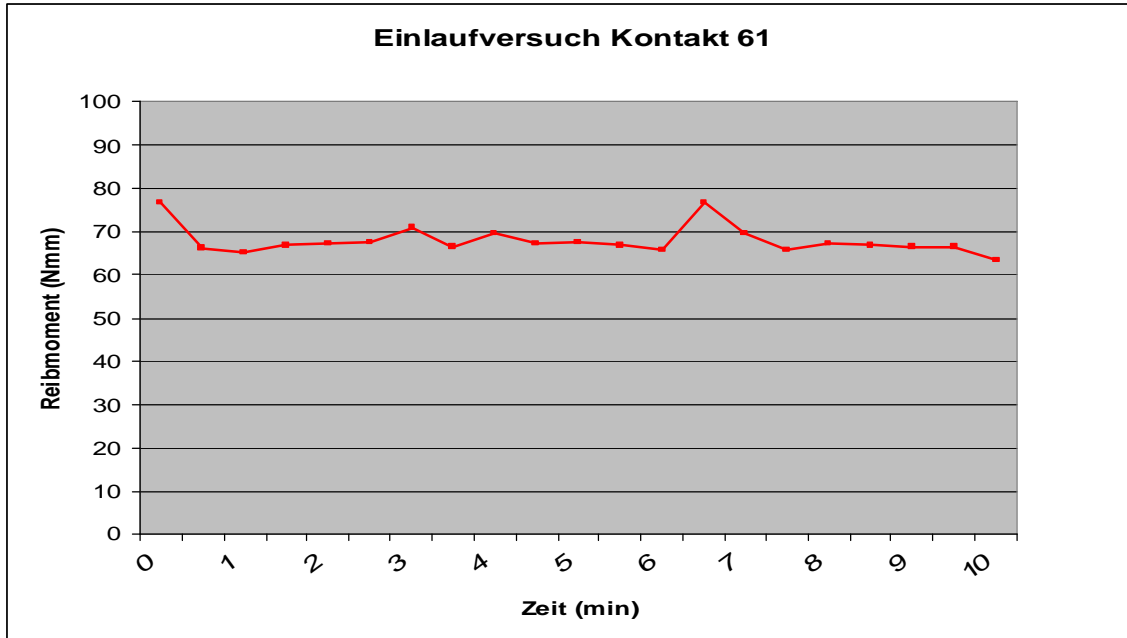
- Man sollte daher einer frisch geölten Lok noch ein paar Minuten ohne große Last laufen lassen, bevor man sie wieder mit einem 100-Achsen-Zug eine 3 % Steigung hochjagt.

Von den getesteten Schmierstoffen schnitt bei diesem Kurzzeittest das Kontakt 61 am besten ab. Es stellt sich nun die Frage, wie häufig hier nachgeschmiert werden sollte.

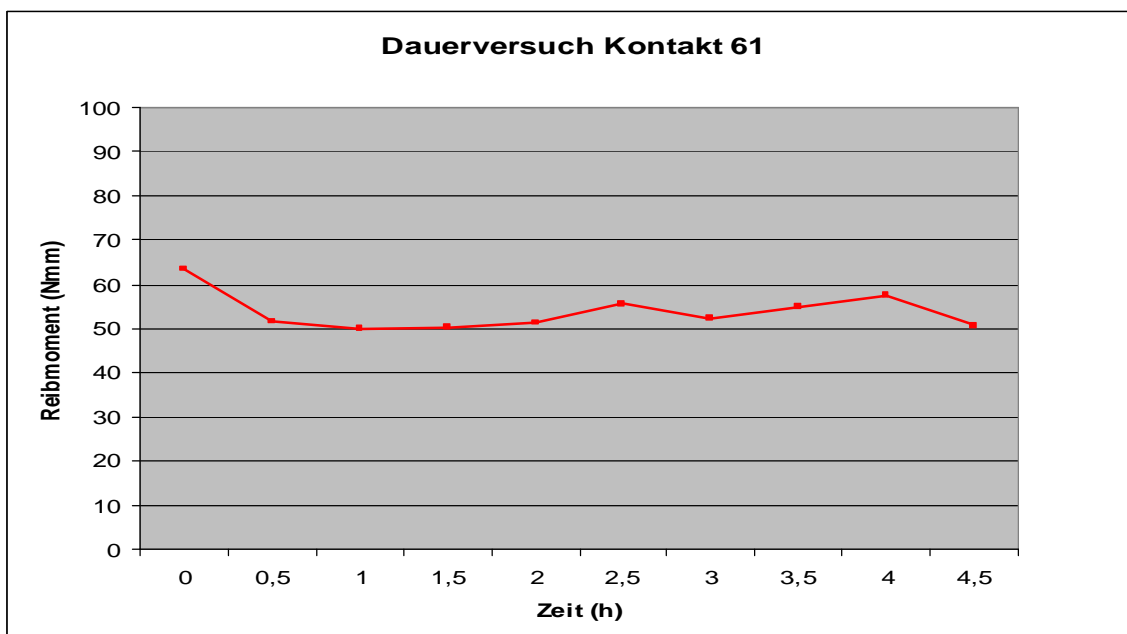
7. Langzeittest

7.1. Kontakt 61

Zunächst wurde die Lok wieder sorgfältig ausgewaschen und dann das Kontakt 61 mit einem Pinsel Größe 0 aufgebracht. Zur Kontrolle wurde wieder ein Versuch über 10 Minuten durchgeführt, bei dem Drehzahl und Stromaufnahme alle 30 Sekunden gemessen wurden:



Das Ergebnis ist nicht ganz so günstig wie unter 6.3.4 gezeigt, erschien aber hinreichend, um den Dauerversuch zu beginnen. Hierfür wurde die Lok nach der letzten Messung weiter laufen gelassen und die Stromaufnahme und Drehzahl alle 30 Minuten gemessen. Es ergab sich folgender Verlauf:



Es lässt sich über die Zeit ein leichter Aufwärtstrend feststellen. Nach 4 ½ Stunden wurde der Dauerversuch das erste Mal unterbrochen. Beim erneuten Hochfahren war ein deutliches Quietschen vernehmbar.

Daraus wurde gefolgert, dass die Schmierung am Ende war. Durch sukzessives Abölen der einzelnen Schmierstellen wurde festgestellt, dass das Quietschen vom hinteren Motorlager kam. Allerdings war auch die Schnecke schon ziemlich trocken.

7.2. Schlussfolgerungen

Es ist in der Praxis wahrscheinlich sehr schwierig, die Laufleistung einer Modellokomotive zutreffend abzuschätzen. Eine Schmierfrist von ca. 4 Stunden erscheint aber definitiv als zu kurz.

Kontakt 61 erscheint daher ideal, um Lokomotiven, die nur alle Jubeljahre mal fahren und dann wieder weggepackt werden zu schmieren. Für ein Modell aber, das viel im Einsatz ist, ist es sicherlich nichts.

Hinzu kommt, dass die Schmierung an einer normalerweise nicht zugänglichen Stelle im Inneren der Lok den Geist aufgibt. Es ist mit Sicherheit nicht das Gelbe vom Ei, alle 4 Stunden die Lok öffnen zu müssen.

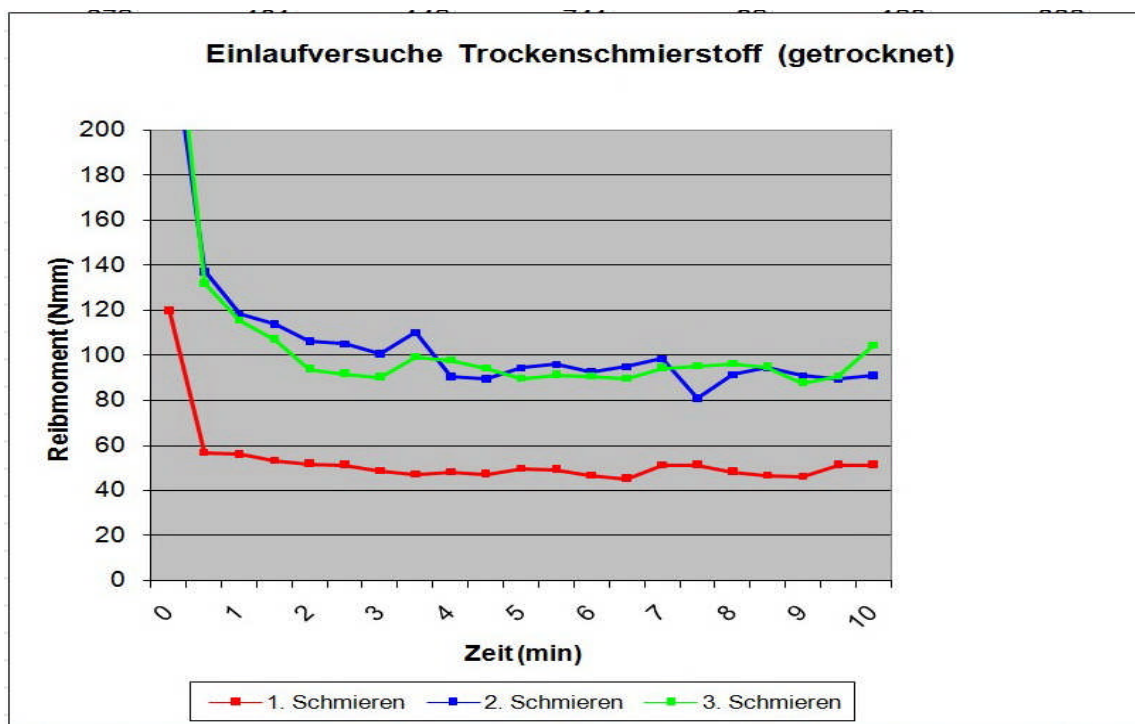
Wir haben in den Kurzzeiterprobungen gesehen, dass „dickere“ Schmierstoffe eine Einfahrzeit von ca. 3 Minuten benötigen. Dies führt bei Analogbetrieb zu dem nervigen Effekt, dass die Lok immer schneller wird. Zumindest dies dürfte bei Digital durch die Lastregelung weg gedrückt werden. Bei Beginn des Einfahrens wurden aber teilweise recht hohe Ströme gemessen. Ob das im Einzelfall schon mal einen Decoder kosten kann, kann hier nicht beurteilt werden. Jedenfalls sind „dickere Schmierstoffe“ auch nicht wirklich der wahre Jakob.

An dieser Stelle stellt sich also eine gewisse Ratlosigkeit ein – und umso mehr Spannung auf die Ergebnisse mit dem Trockenschmierstoff.

7.3 Trockenschmierstoff

7.3.1. Kurzzeitversuche

Um eine ausreichende Teflonschicht aufzubauen, wurde alle drei Tage etwas Schmierstoff aufgebracht und die Lok dann 10 Minuten einfahren lassen. Dabei wurden wieder alle 30 Sekunden Stromaufnahme und Drehzahl gemessen. Zusätzlich wurde ab der zweiten Schmierung auch jeweils vorher ein 10-minütiger Probelauf durchgeführt:



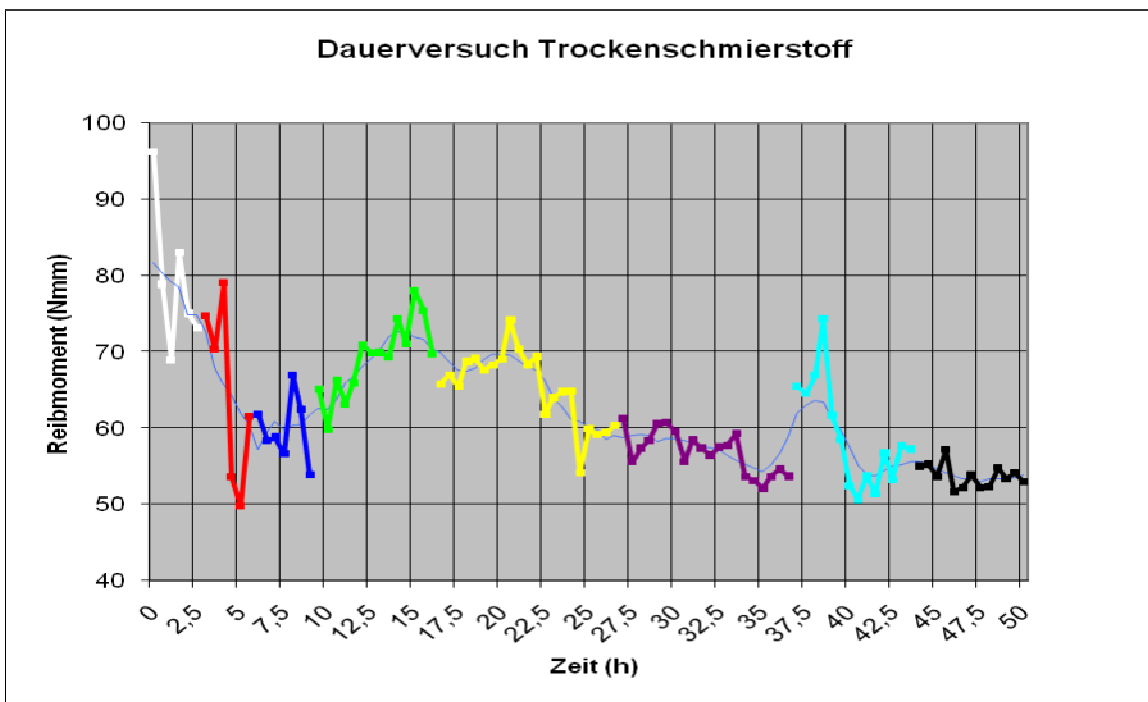
Mit dem Trockenschmierstoff ergaben sich gute, stabile Kurvenverläufe, wobei das sich einstellende Reibmoment etwas höher als beim Kontakt 61 war.

Es zeigte sich auch, dass durch das Einfahren unmittelbar nach dem Schmieren der Schmierstoff besser verteilt wird und die Lok dann nach drei Tagen Abtrocknen wesentlich besser und stabiler anfährt. Sehr positiv zu vermerken ist auch, dass das nach dem Dauerversuch mit dem Kontakt 61 erbärmlich quietschende hintere Motorlager bereits nach der ersten Behandlung mit dem Trockenschmierstoff wieder ruhig lief und nie wieder Geräusche von sich gab.

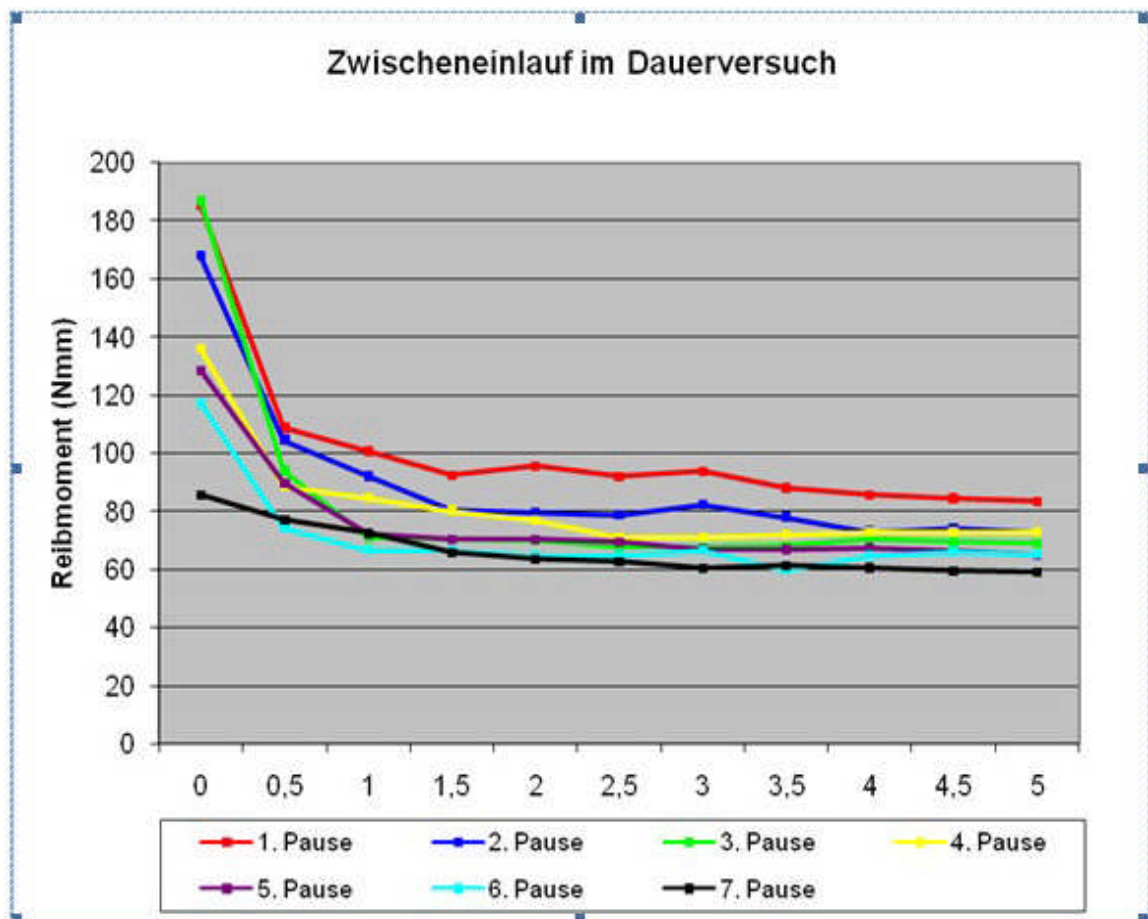
Insgesamt waren die Ergebnisse so ermutigend, dass ich dann mit der Lok in den Dauerversuch gegangen bin.

7.3.2 Dauerversuch

Hier kann man das „Dauer“ getrost groß schreiben. In Summe ist die Lok 50 h gelaufen. Das Reibmoment ist zwar immer wieder mal kurzfristig angestiegen, in Summe und im Trend jedoch über die ganze Zeit hinweg kontinuierlich gefallen, und war am Schluss sogar vergleichbar niedrig wie beim Kontakt 61.



Die 50 Stunden wurden natürlich nicht an einem Stück gefahren. Man muss ja auch arbeiten und schlafen ... Jede der unterschiedlichen Farben im Diagramm repräsentiert eine neue Messreihe nach einer Pause.



Nach jeder Pause wurden die ersten 5 Minuten der neuen Messreihe nochmal gesondert überwacht. Es dauerte nie länger als ca. 30 Sekunden, bis die Messwerte auf den Beharrungszustand gefallen sind, und die jeweiligen Beharrungszustände zeigen ebenfalls das langfristige Abnehmen des Reibmoments. Wirkliche Ausreißer gab es nicht.

Tja, was soll man da noch sagen? Ich bin jedenfalls immernoch verblüfft, dass sich die nach endlosen Versuchen und dem nicht gerade sanften Auswaschen abgenudelte Lokomotive mit dem Trockenschmierstoff geradezu in ein Präzisionsmaschinchen verwandelt hat. In einer Internetveröffentlichung der Z-Bahner wurde der Trockenschmierstoff mit nicht ganz so viel messtechnischem Aufwand, dafür aber an verschiedenen Fahrzeugen getestet. Auch hier ergaben sich durchweg positive Ergebnisse.

Jedenfalls kommt in meine Loks nichts anderes mehr rein. Den Hersteller kann man im Internet unter <http://www.n-hightech.de/> besuchen. Hier findet sich dann auch der Testbericht der Z-Bahner und weitere Informationen.

8. Schlussbetrachtung

Das war jetzt eine Heidenarbeit, die man wohl ohne ein gerüttelt Maß an Bahnsinn nicht über sich bringt. Mein Bruder hat es schlicht auf den Punkt gebracht: „Du hast ja wohl ‚nen Knall“.

Stimmt, aber es hat mal einen Riesenspaß gemacht, dass was so beruflich treibt, einmal so fundiert wie möglich auf sein Hobby umzusetzen, ohne das irgendwelche Budgetfragen oder auf Termine drängende nervige Kunden hineinfunken.

Schön auch, dass das, was ich von Berufs wegen so kannte und hier mehr instinktmäßig umgesetzt habe, sich hier auch weitgehend bewahrheitet hat. Die wirklich gute Lösung kam dann aus einer Ecke, aus der ich's nie erwartet hätte. Auch das gefällt mir – es lohnt sich immer, offen für Neues zu sein und zu bleiben.

Und – last, but not least – es ist schon recht beruhigend, nicht nur zu glauben, sondern auch zu wissen, dass man eine gute Lösung gefunden hat.