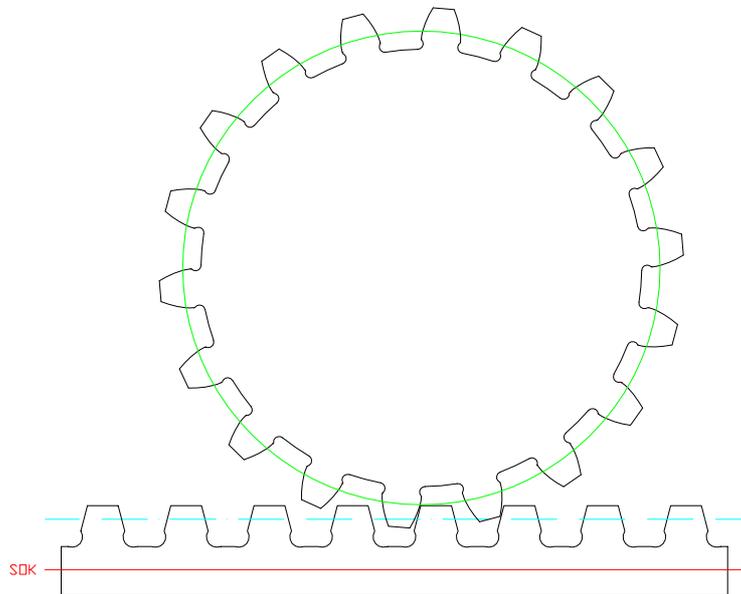


Norm zu Zahnradsystem Abt im Massstab 1:5,4

Eine Vereinheitlichung des Zahnradsystems Abt für die
Personenbefördernde Gartenbahn in Spur 7 ¼ Zoll



Verfasser: Marius Meier, Techniker HF in Produktion, Schweiz

Kontakt: mariusmeier@gmx.ch

Version: 1.0

Veröffentlicht: Mai 2007 auf www.balson.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Geometrie.....	4
2.1	Zahnradgeometrie	4
2.2	Zahnstangengeometrie	5
2.3	Hinterschnitt der Zähne	5
2.4	Zahnhöhe	5
2.5	Lamellenbreite.....	5
2.6	Lamellenabstand	6
2.7	Eingriffsverhältnis	6
3	Toleranzen	8
3.1	Teilkreisdurchmesser zu SOK für $z = 18$	8
3.2	Lage der Zahnstange	8
3.3	Schwellenabstand	8
3.4	Querverschiebung (Spurspiel).....	9
3.5	Radrückenabstand	9
3.6	Lichte Masse (Zahnstangeneinfahrt und Zahnstangenweiche).....	9
4	Technische Angaben.....	10
4.1	Festigkeit der Zahnstange und des Zahnrades	10
4.2	Materialwahl	10
4.3	Bearbeitung.....	10
4.4	Oberflächenbehandlung	10
5	Betriebliches.....	11
5.1	Schmierung	11
5.2	Schwellen	11
5.3	Zahnstangenbefestigung	11
5.4	Tangentialfederung	11
5.5	Zahnstangeneinfahrt	11
5.6	Zahnstangenweiche	12
6	Diskussion	12
6.1	Normalspurzahnradampflokomotiven System Abt.....	12
6.2	Schmalspurzahnradampfloks kleiner als 1 m Spurweite mit System Abt .	12
6.3	Zahnradampflokomotiven mit anderen Zahnradsystemen	12

1 Einleitung

Die Vereinheitlichung des Zahnradsystems für die Spurweite 7 ¼ Zoll ist mit der steigenden Anzahl von Anlagen mit Zahnradstrecken und Fahrzeugen mit Zahnradantrieb inzwischen zur Notwendigkeit geworden. Bei den Vorbildern wurde eine solche allgemeine Norm nie verwirklicht, was dazu führte, dass nahezu jede Bahngesellschaft eigene Normen festlegte. Dies führte unter anderem nach der Fusion der Furka-Oberalp Bahn (FO) mit der Brig-Visp-Zermatt Bahn (BVZ) zur Matterhorn-Gotthard Bahn (MGB) zu Problemen mit unterschiedlichen Abnützungen der Zahnstangen und Zahnradern. Wären hingegen die Zahnstangen auf beiden Bahnen schon vor Jahrzehnten nach genau gleichen Normen verlegt worden, könnte die MGB viel Aufwand und somit Geld sparen.

Damit es in der Welt der personenbefördernden Gartenbahn namentlich auf der Spur 7 ¼ Zoll nicht zu einer solchen Situation kommt, wie sie die MGB nun hat, wurde im Sommer 06 in Le Bouveret bei einem Treffen von entsprechenden Fachkräften beschlossen das vorhandene System Abt (H.U. Aeberhard anno 1965) gründlich zu analysieren, und daraus eine Zahnradnorm zu definieren.

Dank dieser Zahnradnorm sollte es in Zukunft möglich sein mit allen Zahnradschienenfahrzeugen welche nach dieser Norm gebaut sind, auf allen entsprechenden Anlagen ohne Probleme fahren zu können.

Aus diesem Grund ist es sehr wichtig, dass sich alle welche nach dieser Norm bauen, strikte an dieselbe halten. Es ist jedoch schwierig eine Zahnradnorm zu definieren welche möglichst alle Bedürfnisse deckt, zudem wurde diese Norm nicht neu erfunden, sondern aus einem bestehenden System abgeleitet.

Es wäre jedoch auch schwierig eine Zahnradnorm von Grund auf neu zu definieren, besonders wegen der unterschiedlichen Vorbilder, Systemen und den entsprechenden Massstäben. Es wurden auch schon Stimmen laut, welche wünschten, dass diese Norm auch gleich für die Spur 5 anwendbar sein sollte, was schlichtweg einfach Unsinn ist. Es könnten sehr wohl viele Sachen abgeleitet werden, schlussendlich ändern jedoch die Hauptfaktoren wie Modul und Zahnstangenhöhe über Schienenoberkante (SOK) deutlich.

Für Zahnrad dampflokbauer, welche einen andern Massstab als 1:5 wählen, wird es auch mit dieser Norm nicht ganz einfach eine solche Lok zu bauen. Das Kapitel 6 Diskussion sollte jedoch generell einen Überblick bieten was für Probleme auftreten können und was beachtet werden muss. Ebenso sind in diesem Kapitel die Probleme mit den verschiedenen Zahnradsystemen bei den Vorbildern erläutert.

Ganz klar ist und bleibt jedoch, dass der Bau einer Zahnrad dampflok gemischten Systems ungefähr das anspruchvollste ist was ein Modellbauer machen kann, dies war jedoch auch im Original nicht anders, nur dass dort der Erfahrungsschatz enorm viel grösser war. Deshalb sollten wir im Modell möglichst von diesen Erfahrungen profitieren. Dies wird mit dieser Norm so weit wie möglich verwirklicht, indem die neuesten Untersuchungen und Erfahrungen welche beim Original gemacht wurden berücksichtigt werden.

Es wurde versucht diese Norm möglichst einfach und übersichtlich zu halten. Für die Anwendung dessen, werden jedoch fachliche Kenntnisse vorausgesetzt.

Für Korrekturen, Anmerkungen oder Erfahrungen welche für die Norm hilfreich sind, oder bei Problemen welche durch diese Norm entstehen, bitte umgehend eine Nachricht per E-Mail an den Verfasser.

2 Geometrie

2.1 Zahnradgeometrie

Evolvente:

Die Zahnflanke drückt sich in Form einer Evolvente aus, diese wird vom Grundkreisdurchmesser aus konstruiert. Die Konstruktion einer Evolvente ist sehr einfach und wird in Maschinenbaubüchern im Kapitel der Evolventenverzahnung beschrieben, weshalb hier nicht weiter darauf eingegangen wird. Die Evolvente muss für jedes Zahnrad neu konstruiert werden, da sie von der Zähnezahl abhängig ist. Die Zahngeometrie der Zahnräder ist gemäss dieser Norm klar definiert, da jedoch die wenigsten Modellbauer diese Evolventenverzahnung herstellen können, wird empfohlen anstelle der Evolvente mehrere Radienübergänge aneinander zu konstruieren, so dass diese möglichst stark der Evolvente gleichen, hierzu muss logischerweise zuerst die Evolvente konstruiert werden, bevor dann die Angleichung gemacht werden kann. Denn je mehr die effektive Zahnform von der Sollform abweicht, desto stärker werden die Zahnstangen und Zahnräder durch die fehlerhafte Eingriffssituation abgenützt.

Nenndurchmesser / Teilkreisdurchmesser: $d = m \cdot z$

Modul: Das Modul ist in dieser Norm auf 7mm festgesetzt

Eingriffswinkel: Der Eingriffswinkel beträgt 14° , so kann die Gefahr des Aufstiegs stark reduziert werden. Dieser Wert wird auch im Original angewendet.

Grundkreisdurchmesser: $d_g = d \cdot \cos(14^\circ)$

Kopfkreisdurchmesser: $d_a = d + (2 \cdot m) - 1.5$

Fusskreisdurchmesser: $d_f = m \cdot (z - 2.5) + 7.8$

Zahnhöhe: Die Zahnhöhe ergibt sich aus der Differenz des Fusskreisdurchmessers zum Kopfkreisdurchmesser dividiert durch zwei, und beträgt gemäss dieser Norm für alle Zahnräder 11.1mm. Wenn die oben stehenden Fuss- und Kopfkreisformeln angewendet werden ergibt sich die richtige Zahnhöhe von selbst und kann als Kontrollmass verwendet werden.

Zahndicke: Die Zahndicke wird am Teilkreisdurchmesser gemessen und beträgt in diesem System immer 10mm, weshalb unten bereits der für die Konstruktion sehr nützliche Winkel zwischen den beiden Evolventen eines Zahnes auf dem Teilkreisdurchmesser angegeben wird.

z	m	d	da	dg	df	Winkel für Zahndicke 10
14	7	98	110.5	95.0890	88.3	11.6930
15	7	105	117.5	101.8811	95.3	10.9135
16	7	112	124.5	108.6731	102.3	10.2314
17	7	119	131.5	115.4652	109.3	9.6295
18	7	126	138.5	122.2573	116.3	9.0946
19	7	133	145.5	129.0493	123.3	8.6159
20	7	140	152.5	135.8414	130.3	8.1851
21	7	147	159.5	142.6335	137.3	7.7953
22	7	154	166.5	149.4255	144.3	7.4410
23	7	161	173.5	156.2176	151.3	7.1175
24	7	168	180.5	163.0097	158.3	6.8209

Tabelle 1: Datentabelle zu verschiedenen Zähnezahlen

2.2 Zahnstangengeometrie

Die Zahnstange ist ein Zahnrad mit einer unendlichen Zähnezahl, weshalb die Evolvente zur Geraden wird. Die Zahnform wird dadurch sehr einfach und kann als Trapez definiert werden.

Ein DXF-File der Zahnstange ist im Anhang zum Download bereit gestellt.

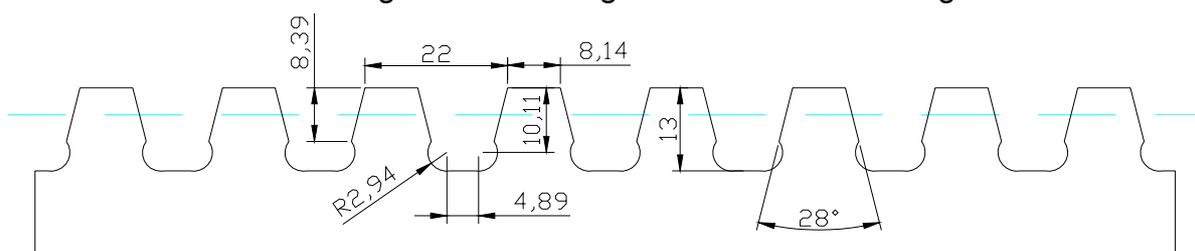


Abb. 1: Zahnstangenlamelle

2.3 Hinterschnitt der Zähne

Ein Hinterschnitt der Zähne ist bei der Zahnstange wegen allfälligem Schmutz empfehlenswert.

Bei den Zahnradern ist dies jedoch aufgrund der kleinen Zähnezahl dringend notwendig. Je kleiner die Zähnezahl umso grösser der Hinterschnitt. Dies ist notwendig um ein touchieren des Zahns der Zahnstange im gegenüberliegenden Zahnhalbes des Triebzahnrad zu vermeiden.

Beispielzahnradern mit unterschiedlichen Zähnezahlen sind im Anhang als DXF-File zum Download bereit gestellt.

2.4 Zahnhöhe

Die Zahnhöhe der Zahnstange wurde gegenüber dem Original um 2mm erhöht, um grössere Tolleranzen zu ermöglichen, und allfälligem Schmutz begegnen zu können. Das Mass beträgt nun 13mm. Angaben zum Zahnrad sind im Kapitel 2.1 zu finden.

2.5 Lamellenbreite

Die Lamellenbreite beträgt **6mm** der Abstand der beiden Lamellen beträgt ebenfalls **6mm** was eine Gesamtbreite von **18mm** ergibt. (Siehe Abb.3 im Kapitel 3.2)

2.6 Lamellenabstand

Der Lamellenabstand hat einen direkten Einfluss auf die maximale Querverschiebung des Zahnrads. Siehe Kapitel 3.4. Somit ist die Einhaltung des Lamellenabstands von **6mm** enorm wichtig. Lamellenmitten und Zahnkranzmitten der Triebzahnäder sollten identisch sein, da sonst eine ungleichmässige Abnützung erfolgt, was eine Veränderung des Winkels der Zahnflanke (im Grundriss) zur Folge hätte.

2.7 Eingriffsverhältnis

Eindringdauer > 2 (wichtig)

Eine Eingriffsdauer von grösser als 2 ist meist ohne Probleme realisierbar, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird.

Eingriffsdauer (Überdeckungsgrad) > 1 (sehr wichtig)

Die Eingriffsdauer von grösser als 1 zu erreichen ist nicht so einfach, dafür aber umso wichtiger. Wenn diese nicht erreicht wird kommt es aufgrund falscher Eingriffssituation zu Beschädigungen des ganzen Systems vom Zahnradantrieb bis zur Zahnstange. Dies ist vor allem für Triebzahnäder sehr wichtig. Da es sich im Vorliegenden Falle um das **zweilamellige** System Abt handelt, sind **doppelt** so schlechte Eingriffsverhältnisse noch ohne Unfall möglich. Das Problem ist jedoch dann die oben erwähnte falsche Abnützung. Deshalb wird bei Triebzahnädern empfohlen mit den nach unten stehender Anleitung gerechneten Werten zu arbeiten. Bremszahnäder, welche generell kleiner sind, dürfen eher unter den errechneten Werten liegen, da diese nur im Notfall grosse Kräfte übertragen müssen.

Anleitung zur graphischen Ermittlung der Eingriffsdauer „e“ und der Eindringdauer „I“ (Siehe auch Abbildung 2 auf der nächsten Seite)

- SOK festlegen.
- Achsmittle P0 bestimmen. Halber Rad Ø über SOK bei gemeinsamer Adhäsions- und Zahnradachse
- Horizontale Linien der oberen und unteren Grenze der wirksamen Zahnstangenflanke (Übergang Kopfradius-Zahnflanke).
- Teilkreis mit Zentrum P0.
- Eingriffslinie: Mit Neigung 1:4 (Eingriffswinkel der Verzahnung $\alpha = 14^\circ$) durch den Punkt P1 legen.
- Grundkreis: Die Eingriffslinie ist die Tangente an den Grundkreis im Punkt P2.
- Kopfkreis der wirksamen Flanke des Zahnrades mit Zentrum P0 (Übergang Kopfkreisradius - Evolvente).
- Schnittpunkte der Eingriffslinie:
mit wirksamem Kopfkreis Zahnrad, \sphericalangle P3
mit oberer Grenze der wirksamen Zahnstangenflanke, \sphericalangle P4

mit unterer Grenze der wirksamen Zahnstangenflanke \sphericalangle P5

sowie Tangentenpunkt mit dem Grundkreis des Zahnrades \sphericalangle P2

Strecke g = Abstand der zwei inneren Punkte auf der Eingriffslinie

z.B. Messung der Strecke P3-P4 = g (20.89) , t = Teilung, $\cos \alpha = 0,970$

- Berechnung der Eingriffsdauer „ e “ $e = g / (\cos(\alpha) * t)$

- Schnittpunkte des wirksamen Zahnrad-Kopfkreises mit der oberen Grenze der wirksamen Zahnstangenflanke \sphericalangle P6, P7

Messung der Strecke P6-P7 = w (61.57)

- Berechnung der Eindringdauer „ l “ $l = w / t$

Die Masse unten sind auf eine bestimmte Rechnung bezogen und nur als Beispiel gedacht.

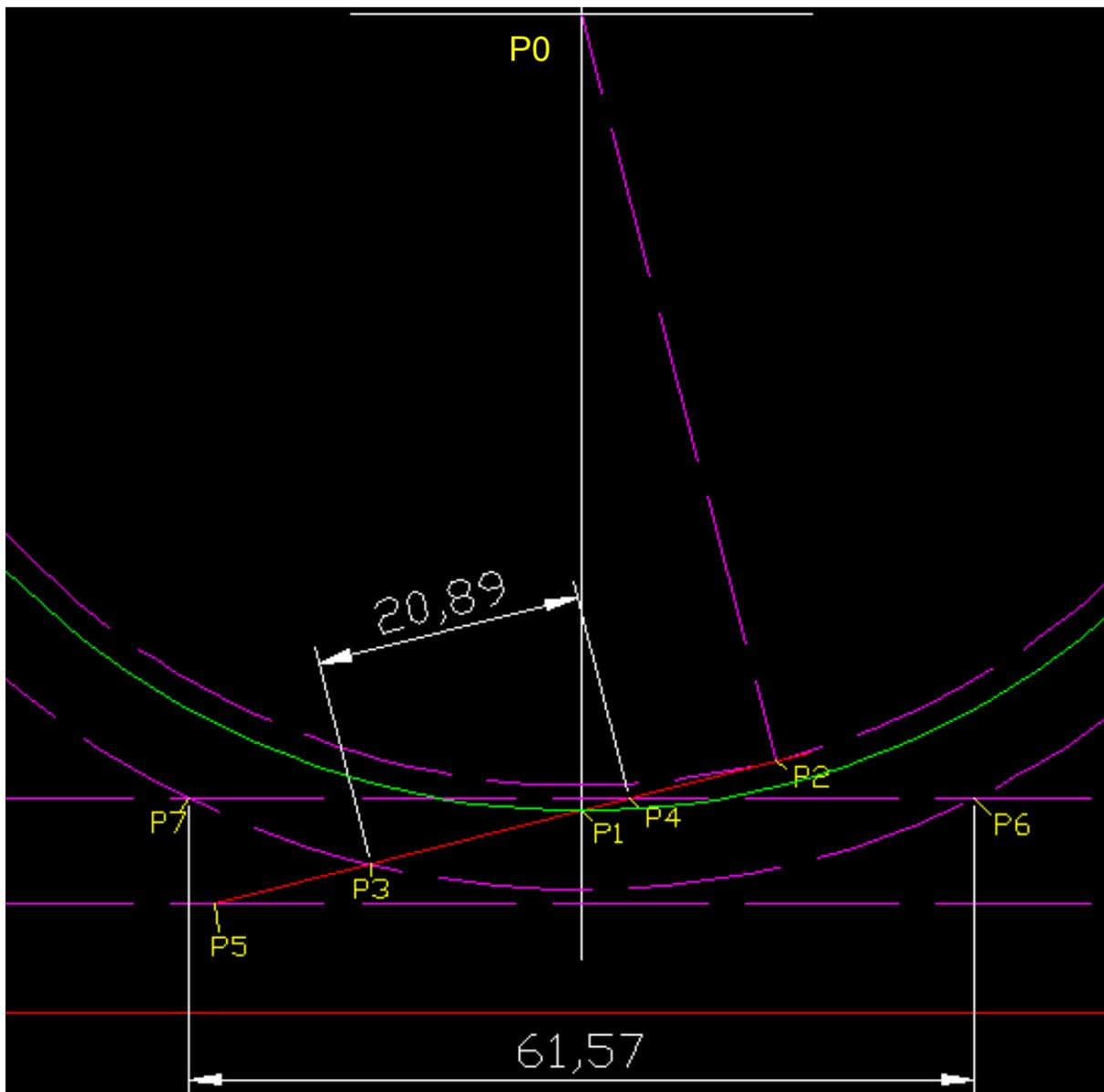


Abb.2: Grafische Ermittlung von Eingriffsdauer und Eindringtiefe

3 Toleranzen

3.1 Teilkreisdurchmesser zu SOK für $z = 18$

Der Teilkreisdurchmesser des Zahnrads muss bei einer Zähnezahl von 18, zwischen **14.7 und 16 mm** über SOK (Schienenoberkante) liegen. (Siehe Abb.6 nächste Seite)

Dieses Mass muss unbedingt eingehalten werden, ansonsten entstehen Beschädigungen an den Zahnrädern und der Zahnstange, zudem entsteht die Gefahr des Aufsteigens.

Mit neuen Bandagen sollte das Mass 16mm betragen, mit abgenützten Bandagen 14.7mm.

Optimal sind Triebfahrzeuge bei welchen die Höhe des Zahnrades eingestellt werden kann, so kann bei abgenützter Bandage das Zahnradtriebwerk in der Höhe wieder auf das Mass 16mm eingestellt werden.

Diese Masse beziehen sich wie oben beschrieben auf ein **Zahnrad mit 18 Zähnen**, d.h. für andere, besonders kleinere Zahnräder, ist mit Hilfe der Eingriffsdauer (Überdeckungsgrad) dieses Mass neu zu Bestimmen. Dies ist jedoch vor allem für kleinere Triebzahnräder wichtig, bei Bremszahnrädern ist dies nicht zwingend notwendig, da diese nur im Falle einer Bremsung zum Einsatz kommen. (Siehe Kapitel 2.7)

3.2 Lage der Zahnstange

Die Zahnstange sollte mittig zwischen den Schienen auf plus-minus einen Millimeter genau verlegt werden. Zahnstangenoberkante sollte **17mm** über SOK liegen.

Die beiden Lamellen sollten versetzt zueinander angeordnet werden, so können Teilungsfehler bei den Zahnstangenstößen (Lamellenenden) auf einem Minimum gehalten werden. In engen Kurven müssen wahrscheinlich die entstehenden Teilungsfehler bei den Stößen korrigiert werden, was für die Verwendung von kurzen Lamellen spricht, damit eine feine Verteilung möglich ist.

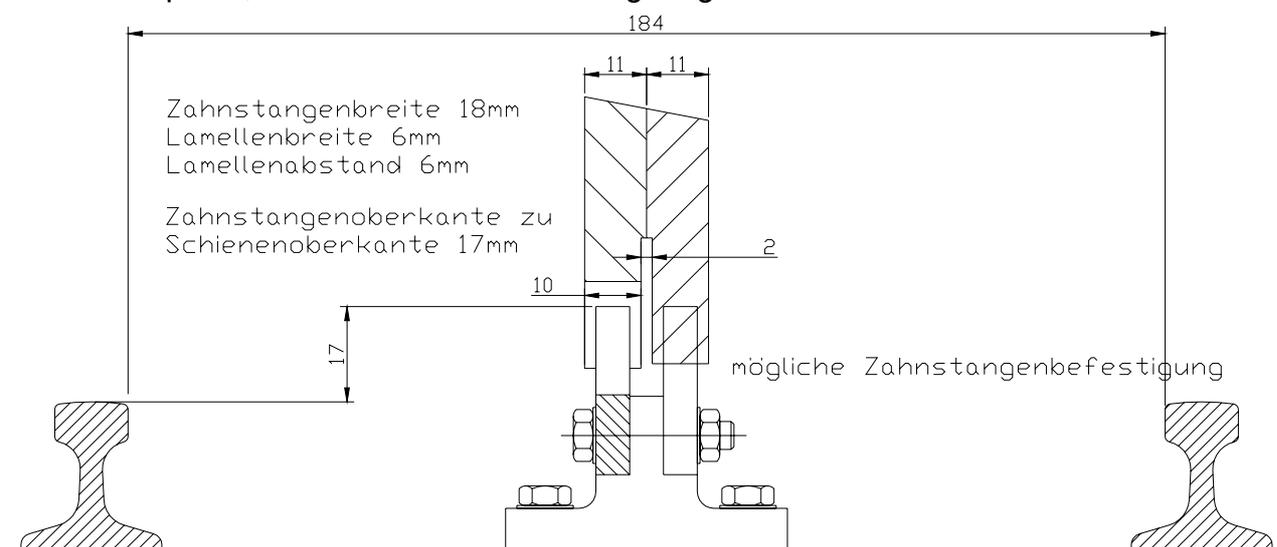


Abb.3: Lage der Zahnstange und der Zahnräder

3.3 Schwellenabstand

Der Schwellenabstand betrug bei der Furka- Oberalpbahn zur Dampfzeit auf gerader Strecke ca. 700mm. Massstäblich gerechnet ergibt das für das Modell ca. 130mm. Auf Kurvenstrecken mit kleinen Radien sollte dieser wahrscheinlich verkleinert werden, damit die Lage der Zahnstange noch im Toleranzbereich liegt.

3.4 Querverschiebung (Spurspiel)

Die Zahnräder sollten exakt mittig unter dem Fahrzeug und ohne Seitwärtsspiel gelagert werden. Die maximal mögliche **Querverschiebung** bis das Zahnrad die Gegenlamelle der Zahnstange touchiert beträgt: **4mm**. Somit beträgt das maximal zulässige **Spurspiel: 2mm**; Minimales **Spurkranzaussenmass: 182mm**; Maximale **Spurweite am Geleise: 184mm**. Zwischen den beiden 10mm breiten Zahnkränzen des Zahnrads müssen zwingen 2mm Abstand gefertigt werden. Wenn diese Tolleranzen eingehalten werden, sollten keine Probleme mit den seitlichen Eingriffsverhältnisse auftreten. (Siehe Abb.3 im Kapitel 3.2)

3.5 Radrückenabstand

Der Radrückenabstand sollte vor allem wegen der Zahnstangeneinfahrten (Radlenker) und Zahnstangenweichen nicht zu klein sein, da sonst Entgleisungen und Beschädigungen nicht vermeidbar sind. Somit ist die Empfehlung der NEM-Norm anzuwenden. (Siehe Abb. 5)

3.6 Lichte Masse (Zahnstangeneinfahrt und Zahnstangenweiche)

Die Lichten Masse müssen unbedingt beachtet werden, ansonsten werden auf Zahnstangeneinfahrten und Zahnstangenweichen Probleme auftreten welche zu Schäden und Entgleisungen führen können. Es sollten an der Lokomotive keine Bremssteile o.ä. tiefer als df angebracht werden. An Weichen sollte im Bereich der Zahnstange ein Lichtes Mass von ca. 30mm angestrebt werden. (Siehe Kap. 5.6)

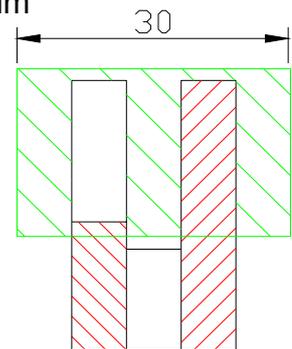


Abb.4: Lichte Masse

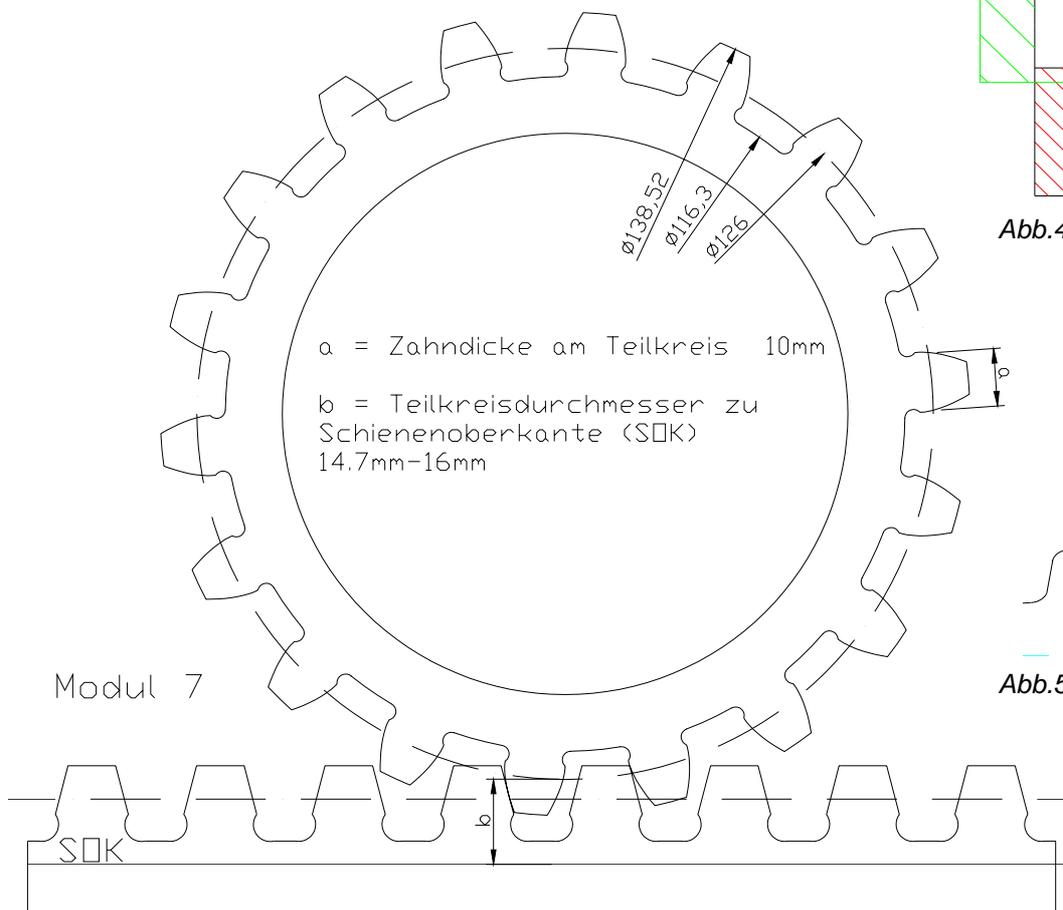


Abb.6: Eingriffsverhältnis und Zahndicke

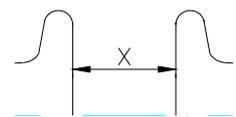


Abb.5: Radrückenabst.

4 Technische Angaben

4.1 Festigkeit der Zahnstange und des Zahnrades

Die Festigkeit sollte bei massstäblichen Zahnradtriebfahrzeugen mit entsprechend originalgetreuer Last kein Thema sein. Aber auch für den gröberen Parkbahnbetrieb ist bei genügender Anzahl Brems- und Triebzahnradern welche gut abgestimmt sind, nicht mit Problemen zu rechnen, einzig die Zahnstange wird entsprechend stärker abgenützt.

Überschlagsmässige Berechnungen haben ergeben, dass ein Zahn der Zahnstange mit der in dieser Norm beschriebenen Form, einen Zug von mehr als vier Tonnen Gewicht in einer Steigung von 100 Promille statisch halten kann.

Zum Problem wird bei höheren Lasten wahrscheinlich die Flächenpressung am Zahn der Zahnstange und nicht die Festigkeit. Die Verzögerung ist jedoch so gross, dass selbst bei einer Schnellbremsung keine Probleme auftreten, weil viel eher die Gefahr besteht, dass die Zahnräder in der Zahnstange aufsteigen.

Diese Berechnungen sind reine Anhaltswerte, für dieselben wird keine Gewähr übernommen. Rechtsanspruch ist ausgeschlossen.

Bei Fehlverhalten können die Kräfte ohne weiteres um das x-Fache ansteigen, ebenso können bei Materialfehler oder durch unsachgemässe Behandlung die Festigkeiten ohne weiteres um Bruchteile kleiner werden.

4.2 Materialwahl

Zahnstange: C 45 E (Ck 45)

Triebzahnräder: 16MnCrS5 oder 17CrNiMo6

Bremszahnräder: C 45 E (Ck 45)

Die Materialien sind dieselben wie sie im Original bevorzugt werden.

4.3 Bearbeitung

Zahnstange: Fräsen / Laserstrahlschneiden je nach erreichbarer Oberflächen-
güte / Wasserstrahlschneiden

Triebzahnräder: Fräsen / Schleifen

Bremszahnräder: Fräsen / Wasserstrahlschneiden / (Laserstrahlschneiden)

(Empfehlungen sind Unterstrichen)

4.4 Oberflächenbehandlung

Zahnstange: keine

Triebzahnräder: Einsatzhärten nach dem Fräsen oder Schleifen

Bremszahnräder: keine

5 Betriebliches

5.1 Schmierung

Die Schmierung der Zahnstange bzw. des Zahnrades ist unerlässlich. Am umweltfreundlichsten wäre eine Schmierung mittels Öl oder Fett auf natürlicher Basis. Der Schmierstoff sollte jedoch eine gewisse Viskosität aufweisen. Am besten ist wohl ein zähflüssiges Öl. Zu bedenken ist auch, dass dieses enormen Temperaturunterschiede von minus 20° C bis gegen 60° C aushalten muss, und in den entsprechenden Situationen auch zuverlässig schmieren muss. Zudem sollte der Schmierstoff den Niederschlägen in Form von Schnee und Regen standhalten können. Deshalb wohl am besten derselbe Schmierstoff verwendet wird, wie er auch im Original zur Anwendung kommt. Die Schmiermethode wird an dieser Stelle noch offen gelassen, hier müssen die Anlagenbetreiber sich selbst etwas einfallen lassen. Klar ist, dass grundsätzlich die Anlagenbetreiber für die Schmierung der Zahnstange verantwortlich sind. Zahnradbahnbetreiber werden gebeten ihre Erfahrungen mit Zahnstangenschmiermittel mitzuteilen, damit mit der Zeit an dieser Stelle eine Empfehlung abgegeben werden kann.

5.2 Schwellen

Die Schwellen auf Zahnstangenstrecken sollten analog dem Original immer aus Stahl oder Stahlbeton gefertigt sein, damit die nötige Festigkeit und Lebensdauer erreicht werden kann.

5.3 Zahnstangenbefestigung

Die Befestigung der Zahnstange auf den Schwellen sollte gleich dem Original mit sogenannten Zahnstangensockeln und Schrauben gemacht werden. Ein verschweißen von Zahnstangen und Sockeln ev. auch mit den Schienen ist jedoch auch eine Möglichkeit. Die Toleranzen aus Kapitel 3 müssen unbedingt eingehalten werden.

5.4 Tangentialfederung

Eine Tangentialfederung ist nur notwendig wenn das Triebfahrzeug mehrere miteinander starr, das heisst durch Kuppelstangen oder Getriebe, verbundene Triebzahnräder aufweist. Ansonsten, d.h. bei nur einem Triebzahnrad oder mehreren unabhängigen Triebzahnradern kann auf eine Tangentialfederung verzichtet werden. Tendenziell ist jedoch bei allen Triebzahnradern eine Tangentialfederung empfehlenswert, um die Triebwerke zu schonen. Bei Bremszahnradern ist eine Tangentialfederung in keinem bekannten Fall nötig. Bei Triebfahrzeugen mit zwei Triebzahnradern, sollten diese um einen Viertel Teilung zueinander versetzt angebracht werden, so sind die optimalsten Eingriffsbedingungen realisierbar. (Wenig Vibrationen)

5.5 Zahnstangeneinfahrt

H.U. Aeberhard hat seinerzeit eine Zahnstangeneinfahrt zu diesem System entwickelt, diese konnte jedoch mangels geeigneter Strecke nie im Langzeiteinsatz getestet werden, auf einer provisorischen Anlage bewährte sie sich jedoch ohne Probleme. Es wird den Erbauern von Zahnstangenabschnitten empfohlen sich möglichst stark an die modernen Zahnstangeneinfahrten der heutigen MGB zu halten, so kann am ehesten ein Problemloses Funktionieren erreicht werden. Wichtig ist jedoch das die Abmasse inkl. lichten Masse dieser Norm eingehalten werden. (Siehe auch entsprechendes Kapitel.)

5.6 Zahnstangenweiche

Zahnstangenweichen gibt es für diese Spurweite noch keine, jedoch könnte ein findiger und begeisterter Zahnstangenstreckenbetreiber leicht auf den Gedanken kommen eine solche zu bauen. Damit in einem solchen Fall nicht Probleme mit den Zahnradschienenfahrzeugen entstehen, gilt es beim Bau dieser schon jetzt auf eine allfällige Zahnstangenweiche Rücksicht zu nehmen.

Hierbei geht es vor allem um die Einhaltung der Radsatzinnenmasse an den Zahnradfahrzeugen sowie der Breite der Zahnräder und des Spurspiels. Ganz wichtig ist, dass keinerlei Bauteile an der Lokomotive tiefer liegen als der Fusskreisdurchmesser der Zahnräder. D.h. sicher nicht tiefer als 19mm über SOK. Das lichte Mass gibt vor in welchem Bereich um die Zahnstange herum, nichts hervorstehen darf. Dies sollte etwa 14-15mm je Seite (von der Geleisemitte gemessen) betragen. (Siehe Abb. 4)

6 Diskussion

6.1 Normalspurzahnradampflokomotiven System Abt

Wenn man zum Beispiel die Preussische Zahnradampflokomotiven der Gattung T 26 als Beispiel nimmt, ergibt das Originalzahnrad mit 688 mm Durchmesser, für das Modell im Massstab 1:7,8 ein Zahnrad 13 Zähnen mit Modul 7.

Je kleiner die Zahnräder sind desto schlechter sind die Eingriffsverhältnisse, d.h. die Eindringdauer und die Eingriffsdauer sinken, was für das Verhältnis Zahnrad / Zahnstange schlecht ist. (Siehe Kapitel 2.7)

Allenfalls könnte jedoch die Höhe der Zahnstange, welche ja im Massstab 1:5,4 verlegt ist, zu Problemen führen. Dies vor allem, weil sich die Lage des Zahnradtriebes in der Höhe nicht mehr massstäblich verhält, und angepasst werden muss, was bei gewissen Lokomotivtypen gar nicht möglich ist, auch könnten zum Beispiel die Achsen oder Bremsgestänge zu Hindernissen werden. Bei Verbundlokomotiven ist die Änderung der Zylinderverhältnisse zu beachten. Zu Problemen kann auch die Zahnradbreite führen, welche in einem solchen Fall grösser wäre als Massstäblich umgerechnet. Auf jeden Fall sind diese Aspekte bei der Auswahl von Vorbildern aufs Genaueste zu prüfen.

6.2 Schmalspurzahnradampfloks kleiner als 1 m Spurweite mit System Abt

Modelle von Zahnradampflokomotiven der Spuren 800mm oder 760mm oder ähnliches können grundsätzlich ohne Probleme Massstäblich gebaut werden, Probleme können vor allem durch die für diese Lokomotiven zu tief liegende Zahnstange entstehen, dies hätte dann eventuell eine Vergrösserung des Zahnradurchmessers zur Folge was zu Platzproblemen führen könnte.

Bei einer solchen Änderung des Zahnradurchmessers ist die Änderung der Zylinderverhältnisse bei Verbundmaschinen zu beachten. Ebenfalls ist ganz wichtig, dass sich bei gekuppelten Zahnrad- und Adhäsionstriebwerken der mittlere Triebdurchmesser und der Teilkreisdurchmesser decken.

6.3 Zahnradampflokomotiven mit anderen Zahnradsystemen

Für Zahnradampflokomotiven welche im Original andere Zahnradsysteme, z.B. Riggenbach oder Strub aufweisen, gelten selbstverständlich die oben genannten Punkte genauso. Hinzu kommt hier der Faktor der Zahnradbreite, welche bei System Abt generell grösser ist als bei den andern Systemen. Dies kann unter Umständen zu Platzproblemen im Triebwerk der Lokomotive führen.