

# Konzeption eines elektronischen Fahrrad-Tachos

Heinz Pichler

## 1. Theorie und Standortfunktion

Ein Radfahrer möge vom Stand weg mit konstanter Beschleunigung  $a = 0.7 \text{ m/s}^2$  losfahren. Dabei kommt er um den Weg

$$s_1 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

voran. Nach  $t_1 = 8 \text{ sec}$  hält er die erreichte Geschwindigkeit  $v_1$  konstant und bringt - zum bestehenden Weg  $s_1$  hinzukommend - den Weg

$$\Delta s_2 = v_1 \cdot (t - t_1) \quad \text{mit} \quad v_1 = a \cdot t_1$$

hinter sich. Ab dem Zeitpunkt  $t_2 = 13 \text{ sec}$  muss er mit dem konstanten Verzögerungswert  $b = -1.8 \text{ m/s}^2$  bremsen und legt dabei den Bremsweg

$$\Delta s_3 = v_1 \cdot (t - t_2) + \frac{1}{2} \cdot b \cdot (t - t_2)^2$$

zurück. Den Stillstand erreicht er zum Zeitpunkt  $t_E$ , für den gilt:

$$v_1 + b \cdot (t_E - t_2) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad t_E = t_2 - \frac{v_1}{b}$$

Zur Darstellung des Zeit-Weg-Diagramms halten wir nach Abb.1 zuerst einmal die genannten Eckdaten fest. Demnach macht die erzielte Höchstgeschwindigkeit  $v_1$  etwa 20km/h aus und die gesamte Fahrzeit  $t_E$  rund 16sec.

Darauf geben wir mit der Einstellung **MODE** <Par> und <Connected> die abschnittsweise definierte Weg-Funktion ein, wobei es zur Abfassung viele Möglichkeiten gibt. Bei der in Abb.2 vorgeschlagenen Variante wird der Term für die gleichförmige Bewegung bis zum Stillstand hin erstreckt, wodurch man sich die Neuformulierung  $v_1 \cdot (t - t_2)$  für die Verzögerungsphase erspart.

Die Parameterform wird allein deshalb gewählt, weil hier die Unabhängige Variable formelnah  $T$  heisst. So gleichen wir die obere Zeitschranke  $T_{\max}$  auch dem rechten Fensterwert  $X_{\max}$  und das Zeitintervall  $T_{\text{step}}$  dem indirekt gewählten Abszissenintervall  $\Delta x$  an. (Im Kurzartikel der TI-Nachrichten 1/07 wurde zum Vergleich die kartesische Gleichungsform gewählt.)

Damit sind wir auch schon bei der Festlegung der WINDOW-Werte:  $X_{\max}$  bzw.  $T_{\max}$  werden so gewählt, dass der 16.1sec dauernde Vorgang vollständig erfasst wird und die Schnittstellen  $t_1=8\text{sec}$  und  $t_2=13\text{sec}$  unter Berücksichtigung der 94 Abszissenintervalle exakt auf Pixelkoordinaten fallen. Mit  $X_{\max}=T_{\max}=18.8$  wird beiden Forderungen Genüge getan; letzterer dadurch, dass der Größe  $\Delta x$  der Wert  $18.8/94=0.2$  zufällt, der ganze Zahlen restlos teilt (Abb.3a, b). Der obere Fensterwert  $Y_{\max}$  muss der gefahrenen Gesamtstrecke entsprechen, sodass wir ihn durch die Wegfunktion zum Zeitpunkt des Stillstands ausdrücken. Mit Exekution

der vorletzten Window-Zeile sehen wir, dass der Radfahrer insgesamt etwa 59m zurückgelegt hat.

```
0.7→A: -1.8→B
A*8→V: 3.6*Ans
13-V/B→E
16.11111111
```

Abb. 1

```
Plot1 Plot2 Plot3
V1r T
V1r (0(T)*1/2*A
*min(T,8)^2+(8(T)
*V*min(T-8,E-8)+
(13(T)*1/2*B*min
(T-13,E-13)^2
V2r =
```

Abb. 2

```
WINDOW
Tmin=0
Tmax=18.8
Tstep=.2
Xmin=0
Xmax=18.8
Xscl=0
Ymin=0
Ymax=V1r(E)
```

Abb. 3a

```
WINDOW
Tstep=.2
Xmin=0
Xmax=18.8
Xscl=0
Ymin=0
Ymax=V1r(E)
Yscl=0
```

Abb. 3b

Als Lohn für die Gedankenarbeit erhalten wir den zeitlichen Standortverlauf des Radfahrers (Abb.4). Im ersten Zeitabschnitt nimmt der Weg noch quadratisch zu, im darauf folgenden Abschnitt nur mehr linear, im dritten gar nur mehr negativquadratisch (längs eines Parabelastes mit oben liegendem Scheitel), bis er im letzten Abschnitt überhaupt unverändert bleibt. Die Grenzen werden der Graphik im HomeScreen über die Anweisung

Vertical 8:Vertical 13:Vertical E  
hinzugefügt.

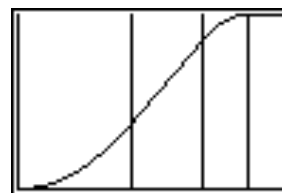


Abb. 4

## 2. Analoge Geschwindigkeitsabnahme

Ein Analog-Tacho zapft die Drehbewegung des Laufrades über eine Tachowelle ab, formt ihre Zeitableitung als Drehzahl  $n$  auf elektrodynamischem Wege in eine motorische Kraft um, legt diese per Deformation einer Rückstellfeder RF in einen Winkelausschlag  $\alpha$  um und bewertet die Zeigerdrehung mittels einer Skala ZS als Momentangeschwindigkeit (Abb.5<sup>1</sup>).

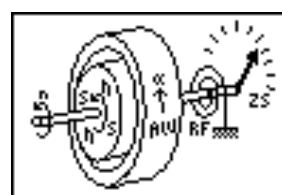


Abb. 5

Mathematisch wird dieses Prozesses in aller Kürze mit dem in Abb.6 ersichtlichen Gleichungspaar  $X_{2T}=...$ ;  $Y_{2T}=...$  nachgebildet. Nochmalige Differentiation sorgt auch für die Erfassung der Beschleunigung. Um deren Werte ( $a$ , 0,  $b$ , 0) in den vier Abschnitten aus dem Schwarz der Abszisse herauszuheben, empfiehlt sich die Abschaltung der Achsen, die Umschaltung des Gleichungsvorsatzes von "Connect \\" auf "Leuchtspur -0" oder - wie hier eingesetzt - eine Streckung aufs Fünffache (Abb.6,  $X_{3T}=...$ ;  $Y_{3T}=...$ ). Nach Korrektur des WINDOW-Wertes Ymin auf -14 zwecks übersichtlicher Abtastung gewinnen wir mit TRACE die drei Verläufe (Abb.7<sup>2</sup>). Den angezeigten X-Wert, der mit dem Zeitwert T konform einher läuft, ignorieren wir. Der Y-Wert gibt für den Graph 1 die jeweils zurückgelegte Strecke in Metern, für den Graph 2 die augenblickliche Geschwindigkeit in km/h und für den Graph 3 die fünffache Beschleunigung im  $m/s^2$  an. Die bewegungstypischen Verläufe von  $v(t)$  und  $a(t)$  erübrigen eine Wiedereintragung der Bereichsgrenzen. Schnitte zwischen den Kurven sind nur virtueller Natur, nachdem zwischen den Begriffen Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung keine Relation herstellbar ist.

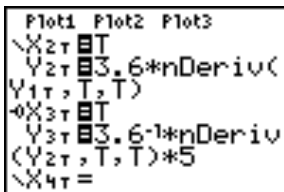


Abb. 6

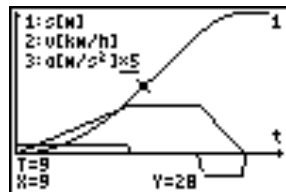


Abb. 7

Eine Messung der Beschleunigung wäre bei einem Analog-Tacho durch ein nachgeschaltetes, zweites Wandlermodul, wie es in Abb.5 skizziert ist, prinzipiell möglich, würde die Fertigungskosten aber beträchtlich erhöhen, weil dieser Wandler wesentlich empfindlicher als der erste angelegt sein müsste.

### 3. Digitale Wegabnahme

Bei einem Digital-Tacho übermittelt der magnetisch betätigte Reedkontakt des Sensors mit jeder vollen Radumdrehung einen elektrischen Impuls an den elektronischen Wegzähler, dessen Kontostand in der Folge um den bei Konfiguration des Tachos eingegebenen Wert für den Radumfang  $U$  jeweils aufgestockt wird. So entwickelt der Wegakkumulator eine Treppenfunktion konstanter Stufenhöhe  $U$  und im Takt der Impulsintervalle variierender Stufenbreite (Abb.8, Modul 1,2). Mathematisch gesehen, geht die digitalisierte Wegfunktion  $s_{dig}(t)$  proportional mit der Stammfunktion zum Impulsverlauf  $i(t)$  einher.

Am Beispiel eines Rades mit  $U = 2.15$  m sei dies verdeutlicht (Abb.9, Zeile 1, 2). Um dabei den stufigen Verlauf der Treppenfunktion nicht mit der displaygegebenen Pixelquantisierung zu verwaschen, achten wir wieder, die vertikalen Pixelkoordinaten mit den Stufenniveaus in Einklang zu bringen (Abb.9, Z. 3, 4). Den unaktuellen Term von  $Y_{3T}$  ersetzen wir durch die zu darzustellende Funktion  $s_{dig}(t)$  und stellen ihr mit dem Gleichungspaar  $X_{4T}=...$ ;  $Y_{4T}=...$  der Abb.10 die - an den unteren Displayrand abgesenkte - Ableitung  $i(t)$  gegenüber. Mit der Einstellung FORMAT <AxesOff> fördert der GRAPH

die steuernde Wirkung der Impulse für das "Wegkonto" einleuchtend zutage (Abb.11). (Um schlankere Impulse zu erhalten, müssten Sie die zeitliche Schrittweite  $T_{step}$  vorübergehend etwa auf 0.01 verfeinern.)

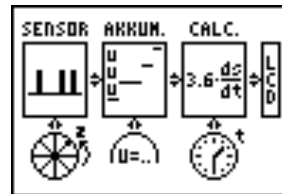


Abb. 8

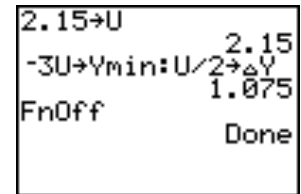


Abb. 9



Abb.10

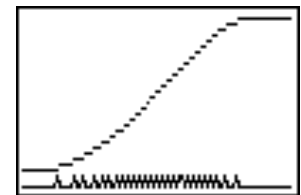


Abb.11

Die Stufenkanten reichen von unten jeweils an den analogen Wegverlauf  $s(t)$  heran, wie ein Vergleich durch Zuschalten des 1. Gleichungspaares ergibt. Augenfällig wird die Diskrepanz zwischen den beiden Kurven nur in Langsamfahrphasen, da der Wegkontostand vom langsam drehenden Rad seltener aktualisiert wird.

### 4. Numerische Geschwindigkeitsermittlung

Aus der digitalen Wegfunktion und der verstrichenen Zeit - bezogen aus der dem Tacho innewohnenden Quarzuhr- errechnet Modul 3 der Abb.8 per Definition

$$v \left[ \text{km} / \text{h} \right] = 3.6 \cdot \frac{s_{dig}(t) - s_{dig}(t - \Delta t)}{\Delta t}$$

rückwirkend die Geschwindigkeit.

In der Art der Anwendung dieser Formel unterscheidet man zwischen zwei Systemen. Das eine ist eine ...

### 5. Konzeption mit starrem Zeitraster

Dem Differenzenquotienten wird nach mathematischer und physikalischer Gewohnheit stets dasselbe Zeitintervall  $\Delta t$  als Durchrechnungszeitraum zugrunde gelegt.

Wir überschreiben das 4. Gleichungspaar mit obiger Formel im Bewusstsein, indirekt damit auch den Aktualisierungsrhythmus  $F = T_{step}^{-1} = 5$  Hz festzulegen, aktivieren zwecks Vergleichs noch das 2. Paar und schalten die anderen ab (Abb.12). Da unser Augenmerk künftig allein der Geschwindigkeit gilt, verfeinern wir die Anzeigenempfindlichkeit durch Einschränkung des vertikalen Erfassungsbereichs. Schließlich passen wir die Durchrechnung  $\Delta t$  noch der eingestellten graphischen Auflösung  $T_{step} = \Delta x = 0.2$  sec an (Abb.13) und bilden mit der Einstellung FORMAT <AxesOn> den GRAPH.

```

Plot1 Plot2 Plot3
X4T T
Y4T 3.6*(Y3T (T)
-V3T (T-D))/D
X5T =
Y5T =
X6T =
Y6T =

```

Abb. 12

```

0→Ymin:40→Ymax 40
Tstep→D .2

```

Abb. 13

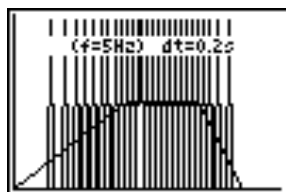


Abb. 14

Schockiert stellen wir fest, dass die Diskontinuitäten in der Wegmessung katastrophale Wirkung für das Ergebnis zeitigen (Abb.14<sup>2</sup>)! Es war ein taktischer Frevel, das Nyquist-Theorem<sup>3</sup> - wenn auch im transienten Sinn - zu ignorieren und die Beurteilungsspanne  $\Delta t$  unter die aus Abb.11 entnehmbaren Impulsabstände zu drücken! So vergrößern wir jene, wohl wissend, dass wir uns damit von der Diktion der Augenblicksgeschwindigkeit weiter entfernen. Für ein Intervall von  $\Delta t = D = 1\text{sec}$  ermittelt das Calculator-Modul im Rhythmus von 5Hz Werte, wie sie in Abb.15<sup>2</sup> aufgezeigt werden, für  $D = 2\text{sec}$  solche der Abb.16<sup>2</sup> festgehaltenen Werteverlauf.

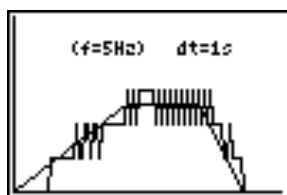


Abb. 15

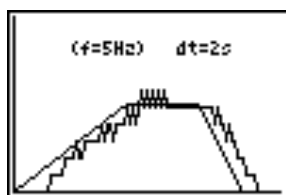


Abb. 16

Im gegenseitigen Vergleich erkennen wir, dass die Schwankungen deutlich schrumpfen, das System aber träger wird. Im letzten Fall beträgt die Verzugszeit bereits über 1sec, wie man unter Einsatz von TRACE an der T-Koordinate ablesen kann. Das Produkt aus Schwankungsausmaß und Reaktionsverzögerung scheint eine Schranke nach unten darzustellen, die wir aber bald nehmen werden, weil wir weitere, bestimmende Parameter zur Optimierung noch nicht herangezogen haben.

## 6. Änderung des Aktualisierungsrhythmus

Die bisherigen Bedingungen führen in der Praxis zu LCD-Ziffern, die an den variierenden Stellen mit 5Hz wechseln und für Phasen oszillierender Ergebnisse unleserlich bleiben. Daher wollen wir den Tacho veranlassen, die Aktualisierung der Kalkulation im Sekunden- oder Zweisekunden-Takt vorzunehmen! Was im Calculator-Modul simpel durch Umstellung des Taktgebers erfolgt, bedarf bei unserem Rechner eines tieferen Eingriffs: Weil die naheliegende Änderung des Tstep-Wertes eine nachteilige Nebenwirkung auf die graphische Auflösung haben würde, ändern wir die Berechnungsformel gemäß Abb.17 bzw. Abb.19 ab, wobei letztere noch die gesonderte Festlegung von F im HomeScreen

$0.5 \rightarrow F$

erfordert. Im GRAPH der Abb.18<sup>2</sup> bzw. Abb.20<sup>2</sup> sind die Oszillationen ausgegült, die Verzögerungen allerdings auch noch gewachsen.

```

Plot1 Plot2 Plot3
X5T T
Y5T 3.6*(Y3T (in
t(T))-V3T (int(T)
-D))/D
X6T =
Y6T =

```

Abb. 17

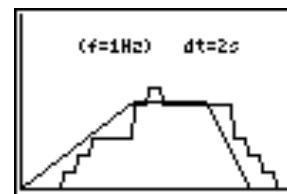


Abb. 18

```

Plot1 Plot2 Plot3
X4T T
Y4T 3.6*(Y3T (in
t(F*T)/F)-V3T (in
t(F*T)/F-D))/D
X5T =
Y5T =
X6T =

```

Abb. 19



Abb. 20

Probieren Sie der Vollständigkeit halber die Durchrechnungsdauer unter Beibehaltung der 2-Sekunden-Aktualisierung wieder auf 1sec zu senken!

## 7. Teilung des Umfanges

Eigenartigerweise wird eine weitere Optimierungsmöglichkeit, welche die genannte Schranke verkehrtproportional hinabdrückt, in der Praxis kaum wahrgenommen, nämlich jene durch Reduktion des Radumfanges! Nicht, dass jetzt an den Tausch des 28"-Rades gegen ein Kinderrad gedacht sei! Die Teilung kann durch symmetrische Anbringung von mehreren Speichenmagneten vorgetäuscht werden. Mit gleichzeitiger Einprogrammierung des "magnetisch geteilten" Radumfanges, was zugegeben nicht alle Tacho-Modelle dulden, erzielt man in Theorie und Praxis passable Stabilität und Akkuratez, vor allem im Niedriggeschwindigkeitsbereich (Abb.21, 22)! Bei Übertreibung nach dem Motto "Jeder Speiche ihr Magnet!" stößt man bei höherem Tempo aber leicht an die Grenzfrequenz des Reedkontakts, manchmal sogar auch an jene der Elektronik.

```

U/4→U .5375
1→F 1
2→D 2

```

Abb. 21

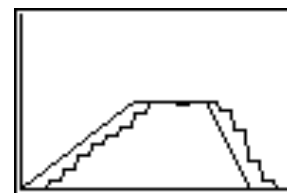


Abb. 22

Mit dem nunmehr entwickelten Gleichungsmaterial können Sie das Zusammenspiel zwischen dem Parametertripler C, D, U und dem Messverhalten des Radcomputers weiter evaluieren!

Bei Verwendung eines starren Zeitrasters gehört es leider zum System, dass Durchrechnungsintervalle an ihrem Anfang und Ende von je einem Impuls profitieren können, der hinsichtlich der Kontinuität besser dem vorangehenden oder dem darauffolgenden Intervall anstünde. Diese Unregelmäßigkeit

ten führen in erster Linie zu den unerwünschten Oszillationen, die mit den aufgezeigten Maßnahmen nur verringert, aber nicht beseitigt werden können. An der Wurzel lässt sich das Problem allein fassen durch eine

## 8. Konzeption mit starrem Wegraster

Dabei ist das Durchrechnungsintervall variabel und läuft von Impuls zu Impuls. Der zwischenzeitlich zurückgelegte Weg ist immer derselbe, nämlich der Radumfang.

Was für den Calculator-Modul des Tachos die Umstellung der Berechnungssteuerung von einer Uhren- auf die Sensor-Triggerung bedeutet, legt unserem Rechner den erheblichen Mehraufwand auf, sich zuerst einmal die Intervalllängen durch Umkehrrechnung aus der Wegfunktion zu beschaffen, ehe er den Differenzenquotienten bilden kann. Gelöst wird dieses Unterfangen mit einem Programm, dessen Kurzinhalt im folgenden Listing festgehalten ist.

```
PROGRAM:TACHOV
:ClrDraw
:U→S:{0,0}→T:Ans→V
:Repeat Tmax≤LT(2)
:  If S≤Y1T(E)
:    Then:solve(Y1T-S,T,LT(1)+.1)→LT(2)
:    1→I
:  Else:LT(1)+.5→LT(2)
:    0→I
:End
:3.6*I*U/(LT(2)-LT(1))→LV(2)
:Line(LT(1),LV(1),LT(2),LV(1))
:Line(LT(2),LV(1),LT(2),LV(2))
:LT(2)→LT(1):LV(2)→LV(1)
:S+U→S
:End
```

Über die Anweisungen der Abb.23 erhalten wir die Anzeige-Charakteristik mit nochmals gedehnter Ordinate (Abb.24).

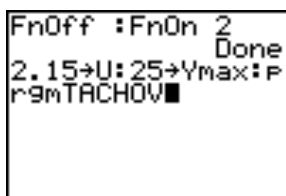


Abb. 23

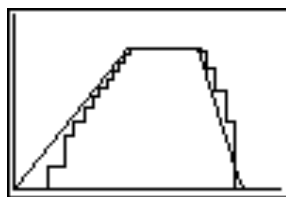


Abb. 24

Die Stabilität gegenüber Oszillationen überzeugt! Zwei Fakten sind noch verbesserungswürdig:

- Da der Aktualisierungstakt proportional mit der Geschwindigkeit ansteigt, führt dies bei Frequenzen über 1Hz zu Lesbarkeitsproblemen in der Anzeige. Zur Abhilfe könnte man für diese Bereiche die Triggerung auf jeden zweiten oder gar dritten, vierten,... Impuls umstellen oder gleich zum zeitstarren Raster wechseln.
- Umgekehrt sinkt die Aktualisierungsrate bei Niedrigsttempo auf entsprechend niedrige Frequenzen ab, was für Phasen konstanter oder zunehmender Geschwindigkeit nicht stört, aber für solche mit ab-

nehmender Geschwindigkeit zu relativ unaktuellen Werten führt und bei Stillstand sogar im Verharren des letzten, nullverschiedenen Ergebnisses in der Anzeige gipfelt. (Die im Programm enthaltene Bedingung "If S≤Y1T(E)" steht allein dem Rechner, nicht aber dem realen Tacho zur Verfügung.) Daher ist für den Tacho noch die Aufnahme einer Nullsetzung geboten, wenn eine Impulslücke länger als einige Sekunden dauert.

Die Lösungsmöglichkeiten sind aber derart variantenreich, dass deren konkrete Bearbeitung dem Leser überlassen bleibt.

Eine "magnetische Umfangsteilung" der Form

$$U/4 \rightarrow U : \text{prgmTACHOV}$$

bewährt sich für den Langsamfahrzustand auch bei diesem Konzept. (Die lange Rechenzeit entsteht allein durch die 59.1/0.5375≈109-malige Prozedur des Solvens, die beim Tacho gänzlich wegfällt.)

## 9. Numerische Beschleunigungsermittlung

Im Prinzip lässt sich die Beschleunigung beim Digital-Tacho aus den Geschwindigkeitsdaten nach ähnlichem Muster wie die Geschwindigkeit ermitteln. Weil sich die diskontinuitätsbedingten Fehler beim "zeitstarren" Konzept potenzieren würden, ist so ein Unterfangen -selbst bei Einsatz eines vielpoligen Magnetsensors- nur für einen Tacho mit "wegstarrem Konzept" angeraten! Die Beschleunigungswerte resultieren hier aus der Formel

$$a = \frac{\frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} - \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1}}{\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2}} = \dots = \frac{2U}{\Delta t_1 \cdot \Delta t_2} \cdot \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2}$$

Sie ist samt graphischer Auswertung im herunterzuladenden Programm "TACHOVA.8XP" eingearbeitet und liefert für die Anweisung der Abb.25 den Anzeigeverlauf für Geschwindigkeit und (fünffache) Beschleunigung (Abb. 26<sup>2</sup>). (Der abrupte Abbruch der Geschwindigkeit und der Ausreisser der Beschleunigung mit Erreichen des Stillstands rühren von der etwas kaltschnäuzig getroffenen Wegnullsetzung im Programm her.)

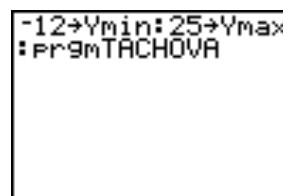


Abb. 25

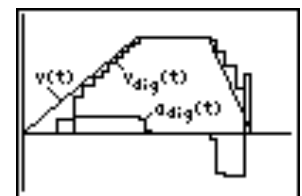


Abb. 26

## 10. Schlussbetrachtungen

Die im Artikel dargelegte Verfälschung des kinematischen Ablaufes durch die digitale Abtastung bezeichnet man auch als "Transientes Aliasing"<sup>3</sup>. Im Unterschied zu jenem in den TI-Nachrichten 1/06, S.13-17 beschriebenen, an dem die

Pixel-Quantelung des Rechner-Displays Schuld trägt, ist das gegenständliche eine "digitale Beigabe" des Rad-Sensors und wird vom Graphikrechner ziemlich realitätsstreu nachvollzogen.

Im Stadium der Entstehung (Abb.11) erweist sich das "Tacho-Aliasing" als wenig auffällig und nimmt erst im Zuge der Weiterverarbeitung (Abb.14 und folgende) relevante bis groteske Ausmaße an, ein Umstand, der trefflich die dem Differenzenquotienten innewohnenden Abhängigkeiten, sowie die darauf beruhenden Gesetzmäßigkeiten der Fehlerfortpflanzung aufzuzeigen vermag!

Falls die in Kapitel 1 offerierte Ortsfunktion in ihrer Entwicklung zu theoretisch erscheint, lässt sich Ersatz durch Messung mit dem CBL schaffen, wie es im Artikel "The Cyclist" von N. Kubba in den TI-Nachrichten 1/03 angedeutet wird. Neben den dort erwähnten Unzulänglichkeiten haben solcherart gewonnene Daten über Zeit und Standort für unsere Bedürfnisse den Mangel des Diskreten. Zur Kontinuierung unterzieht man sie daher einer passenden Regression und nimmt die Regressionsfunktion zur Basis obiger Betrachtungen. (Natürlich fehlen beim Geschwindigkeitsverlauf dann die so markanten Knickungen!)

Das Prozedere sei im folgenden kurz dargestellt, wobei die "empirischen Urlisten" für Zeit und Standort hier aus dem Vorhandenen gezogen seien (Abb.27).

```
seq(T,T,0,18.8)→
T
{0 1 2 3 4 5 6 ...
V1T(LT)→Y
{0 .35 1.4 3.15...
```

Abb. 27

Nach Abb.4 bietet sich als Regression die kubische oder die logistische an. Erstere lässt den Radfahrer gegen Ende der Aufzeichnung wieder etwas zurückfahren, letztere schreibt ihm den Start nicht im Ursprung, sondern bei  $s=1.18\text{m}$  vor. Da der verschobene Start für die Geschwindigkeitsbetrachtungen keine Nachteile hat, entscheiden wir uns für das logistische Modell und prüfen die Liste  $L_Y$  mittels Scrollen auf das Auftre-

ten nichtpositiver Werte, die vom logistischen Modell nicht geduldet würden. Nach geringfügiger Korrektur des ersten Wertes führen wir die Regression, die länger dauern kann, durch (Abb.28, 29).

```
.01→L_Y(1)
Logistic LT,L_Y,Y
1T■
```

Abb. 28

```
Logistic
y=c/(1+ae^(-bx))
a=51.77268442
b=.4148263211
c=62.27338344
```

Abb. 29

Im Regressionsterm, der gemäß drittem Argument automatisch in den  $Y_{1T}$ -Parameterspeicher geschrieben wurde, hat man die Unabhängige Variable von X auf T umzuschreiben (Abb.30), ehe mit Einstieg ins Kapitel 2 das Tacho-Problem bearbeitet werden kann.

```
Plot1 Plot2 Plot3
\X1T=T
Y1T=62.27338343
7708/(1+51.77268
4423965e^(-.4148
263211379T))
\X2T=
Y2T=
```

Abb. 30

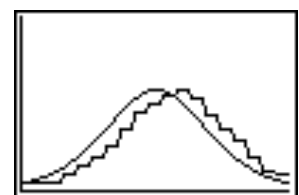


Abb. 31

Einen optischen Eindruck von einer solchen Funktion und ihrer Verarbeitung zu den Bedingungen der Abb.21 liefert Abb.31.

- 1) Die Bilder ANATACHO.8XI und DIGTACHO.8XI liegen zum Download bereit!
- 2) Die Graphik wurde händisch ergänzt!
- 3) Siehe auch Dr. U. Köpf / Dr. D. Curticepean "Aliasing..." in den TI-Nachrichten 1/06 S.15!

#### Der Autor:

Mag. Heinz Pichler, Spittal / Drau (A)  
pichler\_h@lycos.at