

## **mHSL Version 2.1**

Die aktuelle, 2021er Version von **mHSL** ist die V.2.1. Diese besitzt gegenüber der Ursprungsversion 1.0 (1998) eine Reihe von neuen Features und Möglichkeiten. Da die „Zwischenversionen“ 1.1 und 2.0 sowieso nur intern bekannt sind, wird auf die Inhalte dieser Zwischenstationen verzichtet, auch weil sie sämtliche in der aktuellen Version 2.1 integriert sind. Allerdings betreffen die erweiterten Möglichkeiten der V.2.1 wiederum lediglich den Berechnungskern *hs4\_win.exe*, die **mHSL** -Benutzeroberfläche bleibt davon weitgehend unberührt. Mit anderen Worten: Wer die neuen Möglichkeiten nutzen möchte, hat seine Eingaben vorwiegend direkt in der *\*.hs4-Datei*, (Der “\*” steht hierbei für <Beispielname> bzw. für *remote\$*, wenn die Dateneingabe von der Benutzeroberfläche aus erfolgt ist.) der Input-Datei für den Berechnungskern *hs4\_win.exe* zu tätigen; Ausnahmen davon gibt es aber auch.

Mit Version 2.1 werden folgende neue Features angeboten:

- Neue und zusätzliche Zielfunktionen der linearen Optimierung,
- Aufweitung der max. Problemgröße auf 179 Harmonische und 5040 Restriktionen,
- Ermittlung derjenigen Anforderungen, die eine erfolgreiche Lösung verhindern,
- Fortschreitende Bewegungen (Schrittfunktionen, die im Geschwindigkeitsverlauf periodisch sind) sind verarbeitbar.
- Für dynamische ( $\eta > 0$ ) Anwendungen können  $\eta$ -Bereiche ( $\eta_{\min} < \eta < \eta_{\max}$ ) gefordert werden.
- Ergebnisausgabe (von *hs4\_win.exe*) wird von Leerzeichen auf TAB als Trennzeichen und auf variable Ausgabeschrittweite umgestellt.
- Anzahl der Optimierungsstufen (bisher 10) und Optimierungsparameter  $\beta$  können eingestellt werden,
- Deaktivierung von BEEP ist möglich.

Die neuen Features werden im Folgenden ausführlich beschrieben.

### **1. Neue und zusätzliche Zielfunktionen der linearen Optimierung**

In **mHSL** besteht die mathematische Aufgabe, das lineare Optimierungsproblem

$$\mathbf{c}^T * \mathbf{x} \rightarrow \text{Min.},$$

mit  $\mathbf{x}$  ... Lösungsvektor (Fourierkoeffizienten),

$\mathbf{c}^T$  ... Transponierte des Wichtungsvektors

unter Nebenbedingungen zu lösen.

Die bisher verwendete Form des Wichtungsvektors  $\mathbf{c}^T = \{ 1; 1; 1 \dots \}$  wird in Programmversion 2.1 erweitert durch

$$\mathbf{c}^T = \{ 1; 2^{\text{ex}}; 3^{\text{ex}} \dots n h_1^{\text{ex}}; \dots 1; 2^{\text{ex}}; 3^{\text{ex}}; n h_k^{\text{ex}}, 1 \dots \},$$

mit  $n h_1$  ... Anzahl Harmonischer von Bewegungsgesetz 1,

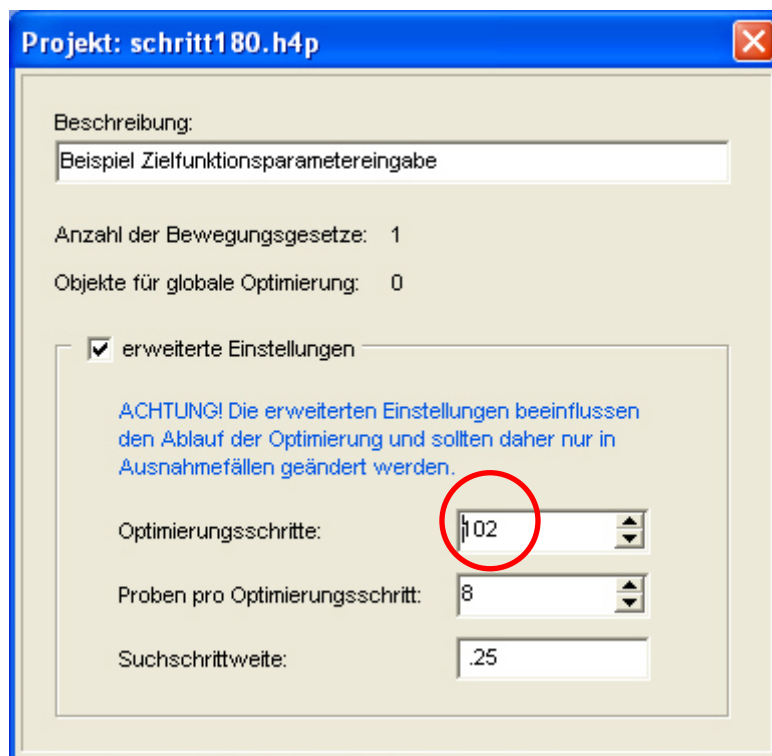
$n h_k$  ... Anzahl Harmonischer von Bewegungsgesetz k

$\text{ex}$  ... vom Anwender vorzugebender (ganzzahliger) Parameter ( $0 \leq \text{ex} \leq 4$ )

Der Zielfunktionsparameter „ex“ wird in die Inputdatei für den Berechnungskern {<Beispiel>.hs4} eingelesen, indem in den *Projekt-Startdatensatz* als **sechster** Integerwert 101, 102, 103 oder 104 für die entsprechenden „ex“-Werte 1, 2, 3 bzw. 4 eingegeben wird. Beispiel für einen solchen *Projekt-Startdatensatz*:

0	0	...	...	...	ex+100		...				
...	...	...	...	...	...						

Die beschriebene Zielfunktionsparametereingabe kann auch von der Benutzeroberfläche aus vollzogen werden, indem (als „Hilfsvehikel“) der entsprechende Wert als Anzahl der „*Optimierungsschritte*“ im Projekt-Startmenü-Fenster eingelesen wird.



Die Wahl der Elemente des Wichtungsvektors **c** hat jedoch oft nur begrenzten Einfluss auf die resultierenden Fourierkoeffizienten, insbesondere bei Projekten, die durch die Nebenbedingungen (technologische und kinematische Restriktionen) dominiert werden. Ein Ausprobieren ist aber in jedem Fall empfehlenswert.

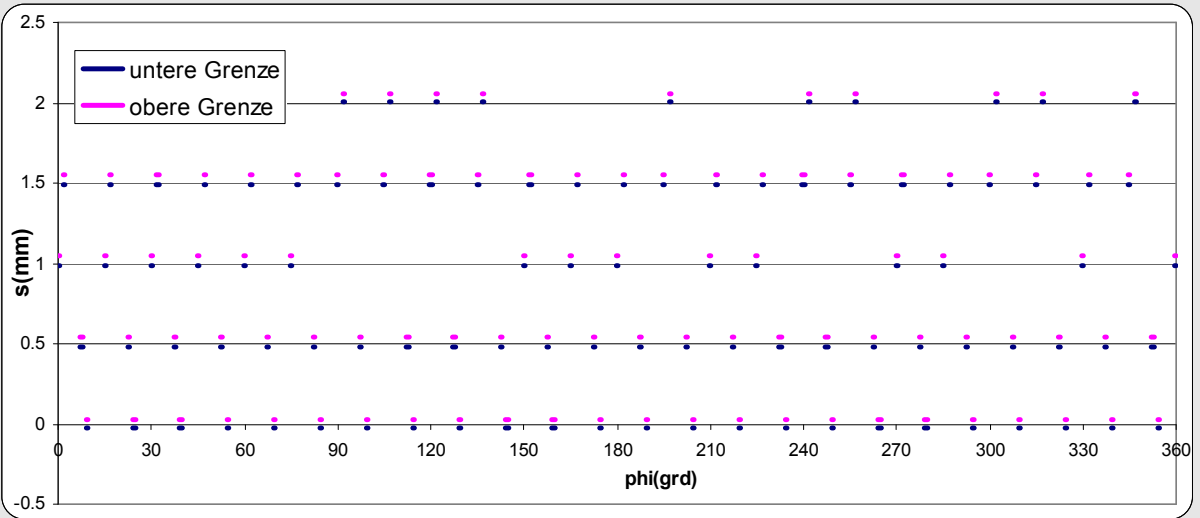
## 2 Aufweitung der maximal möglichen Problemgröße auf insgesamt 179 Harmonische und 5040 (Einzel)-Restriktionen

Obwohl dieses Feature nicht gerade den „HS-Gedanken“ des Erzeugens von Bewegungsgesetzen mit möglichst wenigen Harmonischen entspricht, wird damit die Anwendungsbreite des Programms deutlich erweitert. Es werden z.B. Anwendungen für Musterkettenprofile von Wirk- und Raschelmaschinen dadurch möglich:

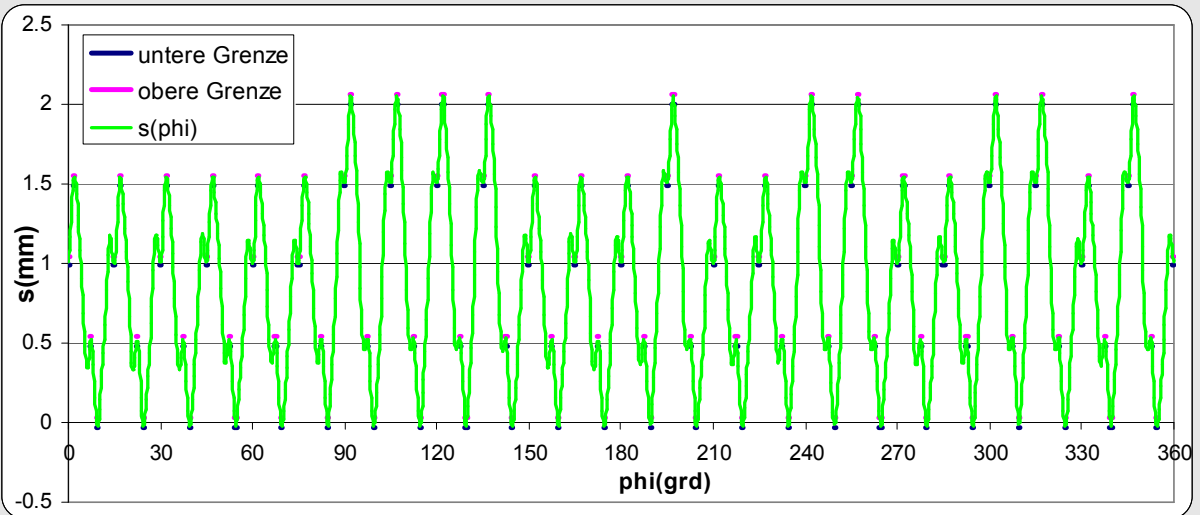
Wenn ein Bewegungsgesetz ohne Sprünge und Knicke (auch in höheren Ableitungen) sich durch diese Vielzahl (62) von engen „Gassen“ durchschlängeln soll (folg. Tabelle, obere Abb.), sind schon mehr als 100 Harmonische erforderlich. Im konkreten Fall, in

welchem das Beschleunigungsmaximum minimiert werden sollte, waren es 145. Der „Beschleunigungs“-Extremwert lag hier übrigens bei  $1950 \text{ mm/rad}^2$ .

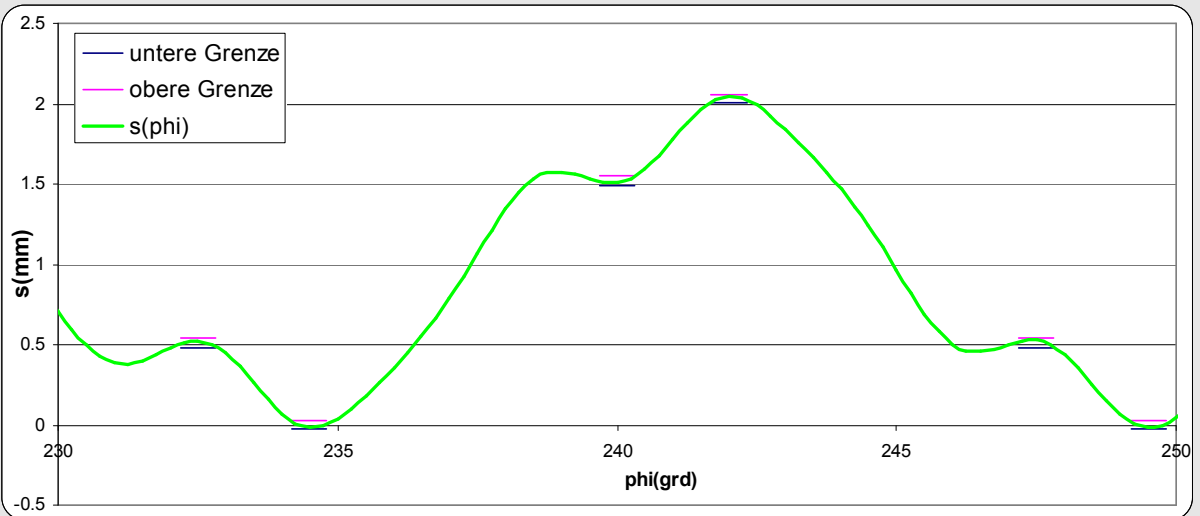
### Restriktionen



### Berechneter $s(\phi)$ -Verlauf (145 Harmonische)



### Ausschnitt aus $s(\phi)$ -Verlauf



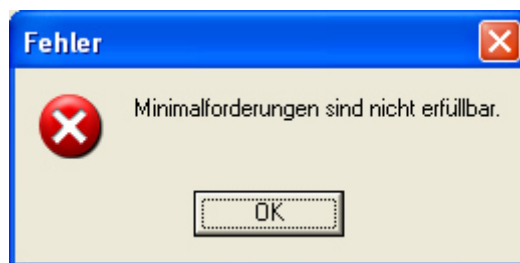
Die Restriktionen können alle in **mHSL** eingegeben werden; die Anzahl der Harmonischen (falls >59) sind in den „*Bewegungsgesetz-Startdatensatz*“ der \*.hs4 oder \*.h4p-Datei als dritte Integergröße zu schreiben, und die Berechnung hat direkt mit dem Berechnungskern *hs4\_win.exe* zu erfolgen (mittels „drag&drop der \*.hs4-Datei auf *hs4\_win.exe*).

0	k	nh <sub>k</sub>	...	...	...						
...	...	...	...	...	...						

k ...Nr. des Bewegungsgesetzes      nh<sub>k</sub> ... Anzahl der harmonischen Ordnungen

### 3. Ermittlung derjenigen Anforderungen, die eine erfolgreiche Lösung verhindern

Wenn bisher nach einer erfolglosen Berechnung die Ausschrift

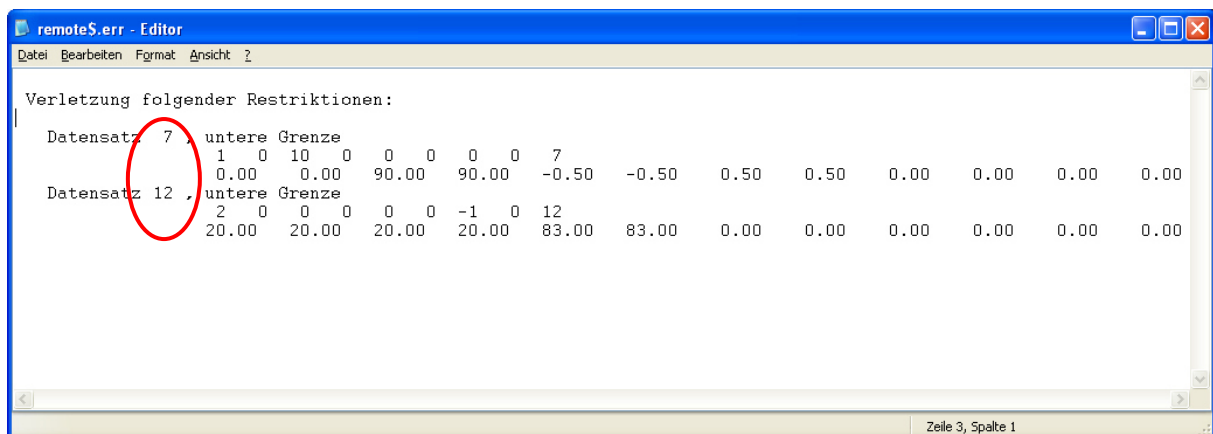


erschien, wusste man nicht, an welchen der technologischen oder kinematischen Anforderungen es gelegen haben könnte, dass der Berechnungsgang scheiterte.

Ab Version 2.1 kann der Nutzer ermitteln, welche Restriktion(en) für das Scheitern verantwortlich war(en). Dazu schaut man die im Anwendungsverzeichnis (Das ist das Unterverzeichnis, in welchem sich die aktuellen Beispieldateien (<Beispielname>.h4p und/oder <Beispielname>.hs4) befinden.) vorhandene Datei

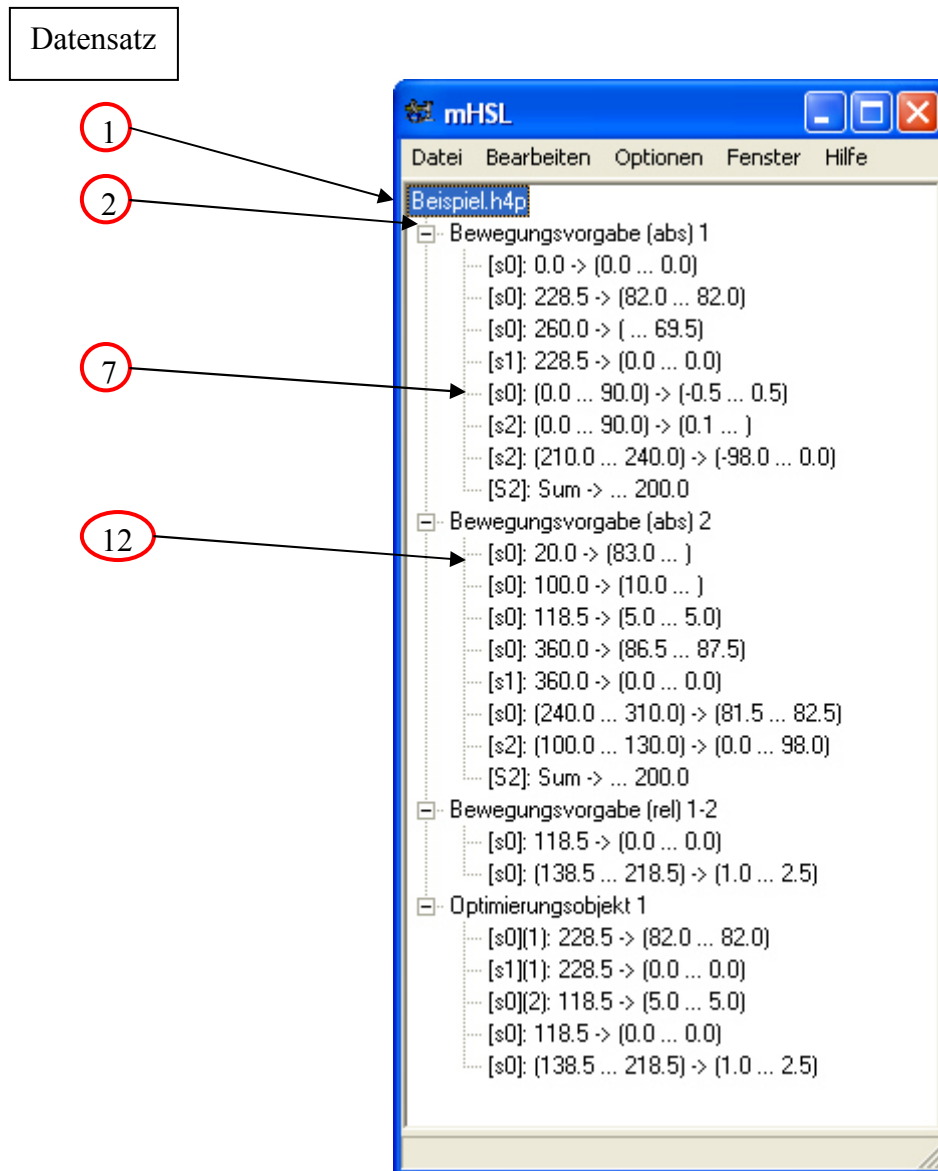
remote\$.err      (wenn die Berechnung aus **mHSL** heraus erfolgte) bzw.  
 <Beispielname>.err      (wenn die Berechnung direkt mit dem Berechnungskern  
    *hs4win.exe* erfolgte)

mit einem normalen Zeileneditor (z.B. Notepad) an:



Hierbei sind die Nummern der Datensätze aufgeführt ( **0** ), die verändert werden sollten, will man die Anwendung erfolgreich bestreiten. Diese Nummern entsprechen den

Datensätzen bei der Dateneingabe von **mHSL**. Zusätzlich ist präzisiert, ob die untere oder die obere Begrenzung der Forderung das Lösungshindernis darstellt.



Die Fehlersuche gestaltet sich dadurch wesentlich rationeller. Außerdem lassen sich damit leichter Bewegungsgesetze mit noch weniger Harmonischen finden als ohne diese neue Suchhilfe.

#### 4. Fortschreitende Bewegungen (Schrittfunktionen, die im Geschwindigkeitsverlauf periodisch sind) sind verarbeitbar.

Durch die Option, HS-Schrittbewegungen zu generieren, ist es mit Version 2.1 möglich, eine weitere Klasse von Bewegungen zu verarbeiten.

Dazu gibt man am besten in **mHSL** den kompletten Datensatz (alle Restriktionen und Anforderungen) ein und speichert (ohne Berechnung) die <Beispielname>.h4p-Datei im Anwendungsverzeichnis ab.



Diese Datei ist danach mit einem Editor in der Weise zu bearbeiten, dass in dem betreffenden „Bewegungsgesetz-Startdatensatz“ als sechster Integerwert eine „1“ einzutragen ist:

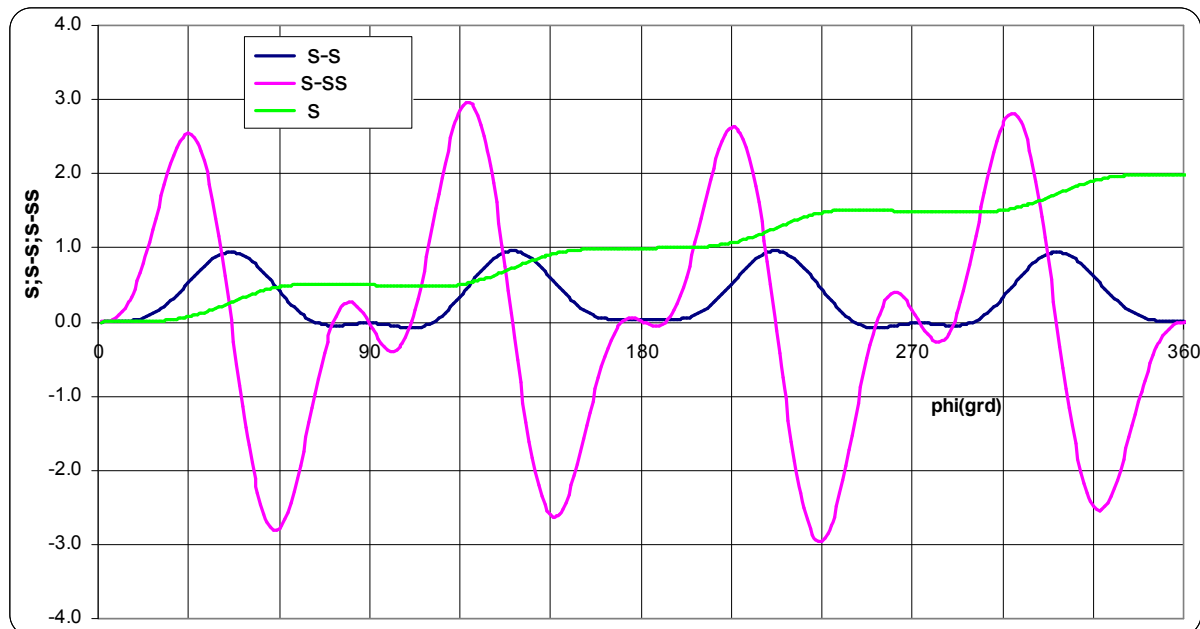
0	k	nh <sub>k</sub>	...	...	1						
...	...	...	...	...	...						

k ...Nr. des Bewegungsgesetzes                      nh<sub>k</sub> ... Anzahl der Harmonischen

Nach dem Sichern dieser Datei zieht man an- und abschließend mittels „drag & drop“ die Datei auf den Berechnungskern *hs4win.exe* und startet damit die Verarbeitung. Die Ergebnisse stehen bei erfolgreicher Berechnung auf den Dateien

<Beispielname>.fk<k>            (Fourierkoeffizienten von s)  
 <Beispielname>.as<k>            (s -, s' -, s'' -, s''' -Verläufe)  
 <Beispielname>.aq<k>            (q -, q' -, q'' -, q''' -Verläufe)  
 <k> ...Nr. des Bewegungsgesetzes

und können anschließend (z.B. mit EXCEL (s. u.)) weiterverarbeitet werden.



Ist die Berechnung nicht erfolgreich, kann sich der Nutzer über die Ursachen informieren (siehe vorhergehender Abschnitt 3.) und die Aktion mit geänderten Parametern von Neuem starten.

Eine erfolgreiche *Berechnung* direkt von **mHSL** aus ist nicht möglich.

## 5. Für dynamische ( $\eta > 0$ ) Anwendungen können $\eta$ - Bereiche ( $\eta_{\min} \leq \eta \leq \eta_{\max}$ ) gefordert werden.

Die Anwendung dieser Erweiterung ist ebenfalls nur auf der „Berechnungsebene“ möglich. Die bisherige Form der Bearbeitung dynamischer Probleme, also dass die gestellten technologischen und kinematischen Forderungen sowohl für den statischen Fall ( $\eta = 0$ ) und für einen dynamischen Fall ( $\eta > 0$ ) erfüllt sein sollen, wird in der Weise erweitert, dass die Einhaltung der dynamischen Forderungen in einem ganzen  **$\eta$ -Bereich** ( $\eta_{\min} \leq \eta \leq \eta_{\max}$ ) erfüllt sein sollen. ( $\eta \dots$  Abstimmungsverhältnis,  $\eta = \Omega_0 / \omega$ , mit  $\Omega_0 \dots$  Grund-Erregerkreisfrequenz,  $\omega \dots$  Eigenkreisfrequenz).

Zur Festlegung des geforderten  $\eta$ -Bereiches hat der Nutzer in der .hs4- bzw. der .h4p-Datei des Projektes in den jeweiligen Bewegungsgesetz-Startdatensatz zusätzlich folgende Eintragungen zu machen:

0	k	nh <sub>k</sub>	...	0 / 1	...						
...	...	...	$\eta_{\min}^1$	$\eta_{\min}^0$	...						

k ...Nr. des Bewegungsgesetzes

nh<sub>k</sub> ... Anzahl der Harmonischen

Bei  $I5 = 1$ :  $\eta_{\min}^1 \dots$  Maximalforderung an  $\eta_{\min}$   
 $\eta_{\min}^0 \dots$  Minimalforderung an  $\eta_{\min}$ .  
 Bei  $I5 = 0$ :  $\eta_{\min}^1 \dots$  beliebiger Eintrag  
 $\eta_{\min}^0 \dots$  (konstante) Forderung an  $\eta_{\min}$ .

Die Eingabe für  $\eta_{\max}$  als maximal gefordertes Abstimmungsverhältnis bleibt von alle dem unberührt und kann weiterhin von der Programmoberfläche **mHSL** aus vorgenommen werden.

Diese neue Möglichkeit führt zu zusätzlichen Restriktionen innerhalb des  $\eta$ -Intervalls  $\eta_{\min} \leq \eta \leq \eta_{\max}$  und damit zu einer Erhöhung des Rechenaufwandes.

## 6. Weitere Änderungen

- a) Ergebnisausgabe (von *hs4\_win*) wird von Leerzeichen auf TAB als Trennzeichen und auf variable Ausgabeschrittweite umgestellt.

Die Berechnungsergebnisse (Fourierkoeffizienten;  $s$ -,  $s'$ -,  $s''$ -,  $s'''$ - Verläufe und gegebenenfalls  $q$ -,  $q'$ -,  $q''$ -,  $q'''$ - Verläufe der bearbeiteten Bewegungsgesetze) werden nach dem Berechnungsgang in die entsprechenden Textdateien (\*.fk<k>, \*.as<k>, \*.aq<k>; k...Nr. des Bewegungsgesetzes) geschrieben. Die Trennzeichen zwischen den einzelnen Werten in einer Zeile sind in Version 2.1 *Tabulatoren*, damit eine Weiterverarbeitung (z.B. mit EXCEL) erleichtert wird.

Außerdem ist ab Version 2.1 eine variable Ausgabeschrittweite der berechneten Verläufe ermöglicht. Dazu ist in die Beispiel-Eingabedatei (\*.hs4 oder \*.h4p) für den Berechnungskern in den „*Bewegungsgesetz-Startdatensatz*“ als sechste Real-Größe die gewünschte Schrittweite **h<sub>k</sub>** (in Grad) einzugeben:

0	k	nh <sub>k</sub>	...	...	...						
...	...	...	...	...	h <sub>k</sub>						

k ...Nr. des Bewegungsgesetzes      nh<sub>k</sub> ... Anzahl der Harmonischen

Die alphanumerische und grafische Ergebnisdarstellung in **mHSL** bleibt davon unberührt.

- b) Anzahl der Optimierungsstufen n<sub>os</sub> (bisher konstant 10) und der Ziel-Optimierungsparameter β<sub>max</sub> (bisher konstant 1.0) können variabel eingestellt werden

In Version 2.1 werden diese Kundenwünsche realisiert, indem in den „Projekt-Startdatensatz“ der (\*.hs4- (oder \*.h4p)-Datei vor der Berechnung folgende Größen eingetragen werden:

0	0	...	...	...	n <sub>os</sub>		...				
...	β <sub>max</sub>	...	...	...							

Die *Anzahl der Optimierungsstufen* n<sub>os</sub> ( $0 \leq n_{os} \leq 50$ ) wird als sechste Integergröße und der Wert für den *maximalen β-Parameter* ( $0,0 \leq \beta_{max} \leq 1,0$ ) als zweite Realgröße eingetragen. Erfolgt kein Eintrag, werden die Standardwerte ( n<sub>os</sub>= 10; β<sub>max</sub> = 1,0) benutzt.

- c) Deaktivierung von BEEP möglich

Die BEEP-Funktion wird am Beginn und am Ende (2x) einer Berechnung, sowie (bei großen Rechenzeiten) während der Berechnung aktiviert. Anwender, die das nicht möchten, können diese akustischen Signale abschalten, wenn sie in **mHSL** den Parameter „*Proben pro Optimierungsschritt*“ für die globale Optimierung auf „39“ stellen:

Projekt: Beispiel.h4p

Beschreibung:  
Deaktivierung von BEEP

Anzahl der Bewegungsgesetze: 2

Objekte für globale Optimierung: 1

☒ erweiterte Einstellungen

ACHTUNG! Die erweiterten Einstellungen beeinflussen den Ablauf der Optimierung und sollten daher nur in Ausnahmefällen geändert werden.

Optimierungsschritte: 20

Proben pro Optimierungsschritt: 39

Suchschrittweite: .25



**Anlagen:** A1.) Aufbau der hs4\_win - Eingabedatei \*.hs4  
 A2.) Aufbau der hs4\_win – Ausgabedateien \*.err., \*.lst, \*.fk<n>, \*.as<n>, \*.aq<n>  
 „\*“ steht für <Beispielname>  
 <n> ist die Nr. des Bewegungsgesetzes ( $1 \leq n \leq 5$ )

---

## A1.) Aufbau der hs4\_win - Eingabedatei \*.hs4

Die \*.hs4-Datei ist eine editierbare Textdatei, die aus Datensätzen besteht. Jeder Datensatz besteht wiederum aus einer „Integer-Zeile“ mit maximal 9 Integerwerten und einer „Real-Zeile“ mit maximal 12 Realgrößen:

I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9				
R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	

Eventuell hinzugefügte Textzeilen sollten mit einem „C“ an Position Eins beginnen und haben keinen Einfluss auf die Berechnung.

### 1. Projekt - Startdatensatz (rot ... V.2.1)

I1: 0  
 I2: 0  
 I3: Anzahl der Bewegungsgesetze ( $\leq 5$ )  
 I4 ... I7: beliebig (optional: I4 = Anzahl der Proben pro Optimierungsschritt  
 I5 = Anzahl der Optimierungsschritte (globale Opt.)  
 I6 = Anzahl Optimierungsstufen, lokale Optimierung  
 ( $0 \leq I6 \leq 50$ )  
 I8: Anzahl der Optimierungsobjekte für globale Optimierung  
 R1 ... R12: beliebig (optional: R1 = Schrittweite bei globaler Optimierung)  
 R2 = obere Grenze für Optimierungsparameter  $\beta$   
 ( $0.0 \leq R2 \leq 1.0$ )

### 2. Bewegungsgesetz - Startdatensatz (rot ... V.2.1)

I1: 0  
 I2: Nr. des Bewegungsgesetzes  
 I3: Anzahl der Harmonischen  
 I4: 0 ... Abstimmungsverhältnis  $\eta_{\max}$  ist konstant  
 1 ... Abstimmungsverhältnis  $\eta_{\max}$  ist variabel  
 I5: 0 ... Abstimmungsverhältnis  $\eta_{\min}$  ist konstant  
 1 ... Abstimmungsverhältnis  $\eta_{\min}$  ist variabel  
 I6: Art des Bewegungsgesetzes:  
 0 ... konstanter Weganteil ( $a_0$ )  
 1 ... + konstanter Geschwindigkeitsanteil ( $a_0'$ )  
 2 ... + konstanter Beschleunigungsanteil ( $a_0''$ )  
 I7 ... I8: beliebig

R1:	bei I4 = 1	...	Maximalforderung für $\eta_{\max}$
	sonst	...	beliebig
R2:	bei I4 = 1	...	Minimalforderung für $\eta_{\max}$
	sonst	...	konstante Forderung für $\eta_{\max}$
R3:	Dämpfungsgrad $\theta$		
R4:	bei I5 = 1	...	Maximalforderung für $\eta_{\min}$
	sonst	...	beliebig
R5:	bei I5 = 1	...	Minimalforderung für $\eta_{\min}$
	sonst	...	konstante Forderung für $\eta_{\min}$
R6:	Ausgabeschrittweite in (grd)		
R7 ... R12:	beliebig		

### 3. Absolutforderung an eine Einzelbewegung für eine Stelle $\varphi = \varphi_k$

I1:	Nummer des Bewegungsgesetzes		
I2:	beliebig		
I3:	Art der Forderung ( $p = 0 / 1 / 2 / 3$ ) ( $p \dots$ Ordnung der Lagefunktion )		
I4 und I5:	beliebig		
I6:	-1	...	untere Grenze $s_u^{(p)}$ ist $-\infty$ (-10 000)
	0	...	untere Grenze $s_u^{(p)}$ ist konstant
	1	...	untere Grenze $s_u^{(p)}$ ist variabel
I7:	-1	...	obere Grenze $s_o^{(p)}$ ist $+\infty$ (10 000)
	0	...	obere Grenze $s_o^{(p)}$ ist konstant
	1	...	obere Grenze $s_o^{(p)}$ ist variabel
I8:	0	...	keine globale Optimierung dieser Forderung
	>0	...	Nr. des Optimierungsobjektes (globale Optimierung)
R1:	beliebig		
R2:	geforderte Winkelstellung $\varphi_k$ in [grd]		
R3 ... R4:	beliebig		
R5:	bei I6 = 1	...	Maximalforderung für untere Grenze $s_u^{(p)}$
	sonst	...	beliebig
R6:	bei I6 = 1	...	Minimalforderung für untere Grenze $s_u^{(p)}$
	sonst	...	Forderung für konstante untere Grenze $s_u^{(p)}$
R7:	bei I7 = 1	...	Maximalforderung für obere Grenze $s_o^{(p)}$
	sonst	...	beliebig
R8:	bei I7 = 1	...	Minimalforderung für obere Grenze $s_o^{(p)}$
	sonst	...	Forderung für konstante obere Grenze $s_o^{(p)}$
R9:	bei I8 > 0	...	vordere Bereichsgrenze $\varphi_k^v$ der Winkelstellung $\varphi_k$
	sonst	...	beliebig
R10:	bei I8 > 0	...	hintere Bereichsgrenze $\varphi_k^h$ der Winkelstellung $\varphi_k$
	sonst	...	beliebig
R11:	beliebig		
R12:	beliebig		

#### 4. Absolutforderung an eine Einzelbewegung für ein Intervall $\varphi_u \leq \varphi \leq \varphi_o$

I1:	Nummer des Bewegungsgesetzes		
I2:	beliebig		
I3:	Art der Forderung ( 10 / 11 / 12 / 13 ), ( p+10 )		
I4:	0	...	untere Intervallgrenze $\varphi_u$ ist konstant
	1	...	untere Intervallgrenze $\varphi_u$ ist variabel
I5:	0	...	obere Intervallgrenze $\varphi_o$ ist konstant
	1	...	obere Intervallgrenze $\varphi_o$ ist variabel
I6:	-1	...	untere Grenze $s_u^{(p)}$ ist $-\infty$ (-10 000)
	0	...	untere Grenze $s_u^{(p)}$ ist konstant
	1	...	untere Grenze $s_u^{(p)}$ ist variabel
I7:	-1	...	obere Grenze $s_o^{(p)}$ ist $+\infty$ (10 000)
	0	...	obere Grenze $s_o^{(p)}$ ist konstant
	1	...	obere Grenze $s_o^{(p)}$ ist variabel
I8:	0	...	keine globale Optimierung dieser Forderung
	>0	...	Nr. des Optimierungsobjektes (globale Optimierung)
R1:	bei I4 = 1	...	Maximalforderung für untere Intervallgrenze $\varphi_u$
	sonst	...	beliebig
R2:	bei I4 = 1	...	Minimalforderung für untere Intervallgrenze $\varphi_u$
	sonst	...	Forderung für konstante untere Intervallgrenze $\varphi_u$
R3:	bei I5 = 1	...	Maximalforderung für obere Intervallgrenze $\varphi_o$
	sonst	...	beliebig
R4:	bei I5 = 1	...	Minimalforderung für obere Intervallgrenze $\varphi_o$
	sonst	...	Forderung für konstante obere Intervallgrenze $\varphi_o$
R5:	bei I6 = 1	...	Maximalforderung für untere Grenze $s_u^{(p)}$
	sonst	...	beliebig
R6:	bei I6 = 1	...	Minimalforderung für untere Grenze $s_u^{(p)}$
	sonst	...	Forderung für konstante untere Grenze $s_u^{(p)}$
R7:	bei I7 = 1	...	Maximalforderung für obere Grenze $s_o^{(p)}$
	sonst	...	beliebig
R8:	bei I7 = 1	...	Minimalforderung für obere Grenze $s_o^{(p)}$
	sonst	...	Forderung für konstante obere Grenze $s_o^{(p)}$
R9:	bei I8 > 0	...	vordere Bereichsgrenze $\varphi_u^v$ für untere Intervallgrenze $\varphi_u$
	sonst	...	beliebig
R10:	bei I8 > 0	...	hintere Bereichsgrenze $\varphi_u^h$ für untere Intervallgrenze $\varphi_u$
	sonst	...	beliebig
R11:	bei I8 > 0	...	vordere Bereichsgrenze $\varphi_o^v$ für obere Intervallgrenze $\varphi_o$
	sonst	...	beliebig
R12:	bei I8 > 0	...	hintere Bereichsgrenze $\varphi_o^h$ für obere Intervallgrenze $\varphi_o$
	sonst	...	beliebig

## **5. Absolutforderung an eine Einzelbewegung zur Begrenzung des Maximums $c(p)$ der Lagefunktion p-ter Ordnung**

I1:	Nummer des Bewegungsgesetzes		
I2:	beliebig		
I3:	Art der Forderung ( 20 / 21 / 22 / 23 ), (p+20)		
I4, I5:	beliebig		
I6:	-1	...	obere Grenze $c(p)$ ist $\infty$ (10 000)
	0	...	obere Grenze $c(p)$ ist konstant
	1	...	obere Grenze $c(p)$ ist variabel
I7, I8:	beliebig		
R1 ... R4:	beliebig		
R5:	bei I6 = 1	...	Maximalforderung an obere Grenze $c(p)$
	sonst	...	beliebig
R6:	bei I6 = 1	...	Minimalforderung an obere Grenze $c(p)$
	bei I6 = 0	...	Forderung an konstante obere Grenze $c(p)$
	sonst	...	beliebig
R7 ... R12:	beliebig		

## **6. Absolutforderung an eine Einzelbewegung zur Begrenzung des Maximums $c(k)$ einer Harmonischen k**

I1:	Nummer des Bewegungsgesetzes		
I2:	Nummer der Harmonischen k		
I3:	Art der Forderung (24)		
I4, I5:	beliebig		
I6:	-1	...	obere Grenze $c(k)$ ist $\infty$ (10 000)
	0	...	obere Grenze $c(k)$ ist konstant
	1	...	obere Grenze $c(k)$ ist variabel
I7, I8:	beliebig		
R1 ... R4:	beliebig		
R5:	bei I6 = 1	...	Maximalforderung an obere Grenze $c(k)$
	sonst	...	beliebig
R6:	bei I6 = 1	...	Minimalforderung an obere Grenze $c(k)$
	bei I6 = 0	...	Forderung an konstante obere Grenze $c(k)$
	sonst	...	beliebig
R7 ... R12:	beliebig		

**7. Relativforderung an zwei Lagefunktionen A und B:  $c_0 \leq (s_{(A)}^{(p)} - s_{(B)}^{(p)}) \leq c_2$   
für eine Stelle  $\varphi_k$**

I1:	Nummer des Bewegungsgesetzes <b>A</b>		
I2:	Nummer des Bewegungsgesetzes <b>B</b>		
I3:	Art der Forderung ( 40 / 41 / 42 / 43 ) (p+40)		
I4, I5:	beliebig		
I6:	-1	...	untere Grenze $c_0$ ist $-\infty$ (-10 000)
	0	...	untere Grenze $c_0$ ist konstant
	1	...	untere Grenze $c_0$ ist variabel
I7:	-1	...	obere Grenze $c_2$ ist $+\infty$ (+10 000)
	0	...	obere Grenze $c_2$ ist konstant
	1	...	obere Grenze $c_2$ ist variabel
I8:	0:	...	keine globale Optimierung dieser Forderung
	>0:	...	Nr. des Optimierungsobjektes (globale Optimierung)

R1:	beliebig		
R2:	geforderte Winkelstellung $\varphi_k$ in [grad]		
R3, R4:	beliebig		
R5:	bei I6 = 1	...	Maximalforderung für untere Grenze $c_0$
	sonst	...	beliebig
R6:	bei I6 = 1	...	Minimalforderung für untere Grenze $c_0$
	sonst	...	Forderung für konstante untere Grenze $c_0$
R7:	bei I7 = 1	...	Maximalforderung für obere Grenze $c_2$
	sonst	...	beliebig
R8:	bei I7 = 1	...	Minimalforderung für obere Grenze $c_2$
	sonst	...	Forderung für konstante obere Grenze $c_2$
R9:	bei I8 > 0	...	vordere Bereichsgrenze $\varphi_k^v$ der Winkelstellung $\varphi_k$
	sonst	...	beliebig
R10:	bei I8 > 0	...	hintere Bereichsgrenze $\varphi_k^h$ der Winkelstellung $\varphi_k$
	sonst	...	beliebig
R11:	beliebig		
R12:	beliebig		

**8. Relativforderung an zwei Lagefunktionen A und B:  $c_0 \leq (s_{(A)}^{(p)} - s_{(B)}^{(p)}) \leq c_2$   
für ein Intervall  $\varphi_u \leq \varphi \leq \varphi_o$**

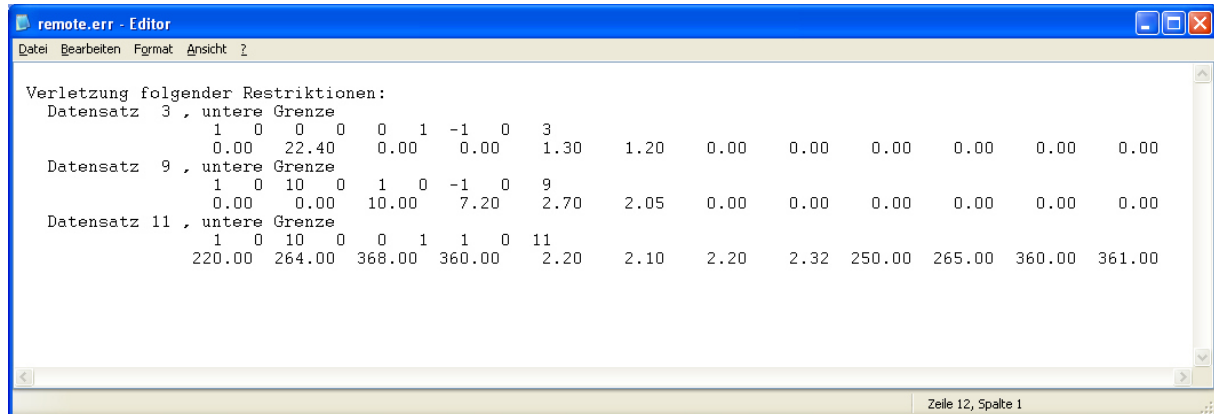
I1:	Nummer des Bewegungsgesetzes <b>A</b>		
I2:	Nummer des Bewegungsgesetzes <b>B</b>		
I3:	Art der Forderung ( 50 / 51 / 52 / 53 ) ( p+50 )		
I4:	0	...	untere Intervallgrenze $\varphi_u$ ist konstant
	1	...	untere Intervallgrenze $\varphi_u$ ist variabel
I5:	0	...	obere Intervallgrenze $\varphi_o$ ist konstant

	1	...	obere Intervallgrenze $\varphi_O$ ist variabel
I6:	-1	...	untere Grenze $c_0$ ist $-\infty$ (-10 000)
	0	...	untere Grenze $c_0$ ist konstant
	1	...	untere Grenze $c_0$ ist variabel
I7:	-1	...	obere Grenze $c_2$ ist $+\infty$ (+10 000)
	0	...	obere Grenze $c_2$ ist konstant
	1	...	obere Grenze $c_2$ ist variabel
I8:	0	...	keine globale Optimierung dieser Forderung
	>0	...	Nr. des Optimierungsobjektes (globale Optimierung)
R1:	für I4 = 1	...	Maximalforderung für untere Intervallgrenze $\varphi_u$
	sonst	...	beliebig
R2:	für I4 = 1	...	Minimalforderung für untere Intervallgrenze $\varphi_u$
	für I4 = 0	...	Forderung für konstante untere Intervallgrenze $\varphi_u$
R3:	bei I5 = 1	...	Maximalforderung für obere Intervallgrenze $\varphi_O$
	sonst	...	beliebig
R4:	bei I5 = 1	...	Minimalforderung für obere Intervallgrenze $\varphi_O$
	sonst	...	Forderung für konstante obere Intervallgrenze $\varphi_O$
R5:	bei I6 = 1	...	Maximalforderung für untere Grenze $c_0$
	sonst	...	beliebig
R6:	bei I6 = 1	...	Minimalforderung für untere Grenze $c_0$
	sonst	...	Forderung für konstante untere Grenze $c_0$
R7:	bei I7 = 1	...	Maximalforderung für obere Grenze $c_2$
	sonst	...	beliebig
R8:	bei I7 = 1	...	Minimalforderung für obere Grenze $c_2$
	sonst	...	Forderung für konstante obere Grenze $c_2$
R9:	bei I8 > 0	...	vordere Bereichsgrenze $\varphi_u^V$ für untere Intervallgrenze $\varphi_u$
	sonst	...	beliebig
R10:	bei I8 > 0	...	hintere Bereichsgrenze $\varphi_u^h$ für untere Intervallgrenze $\varphi_u$
	sonst	...	beliebig
R11:	bei I8 > 0	...	vordere Bereichsgrenze $\varphi_O^V$ für obere Intervallgrenze $\varphi_O$
	sonst	...	beliebig
R12:	bei I8 > 0	...	hintere Bereichsgrenze $\varphi_O^h$ für obere Intervallgrenze $\varphi_O$
	sonst	...	beliebig

## A2.) Aufbau der hs4\_win - Ausgabedateien

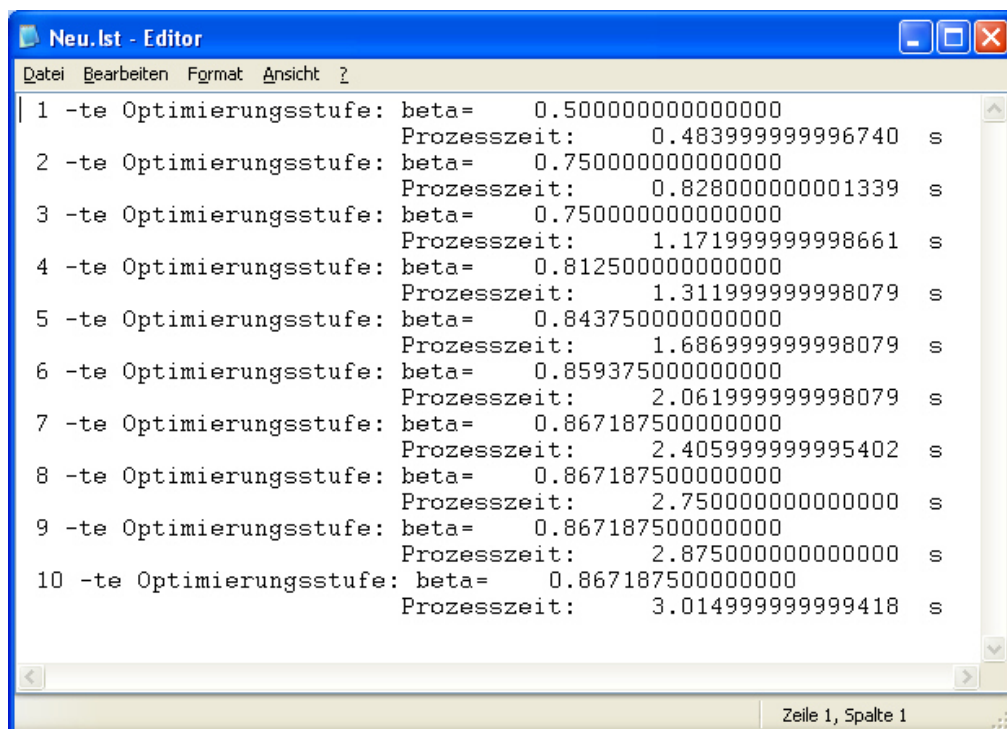
### a) \*.err - Datei

Ist der Berechnungsgang erfolgreich gewesen, ist die erzeugte \*.err-Datei leer. Konnte kein Ergebnis erzielt werden, stehen in dieser Datei die Informationen für den Grund des Scheiterns.



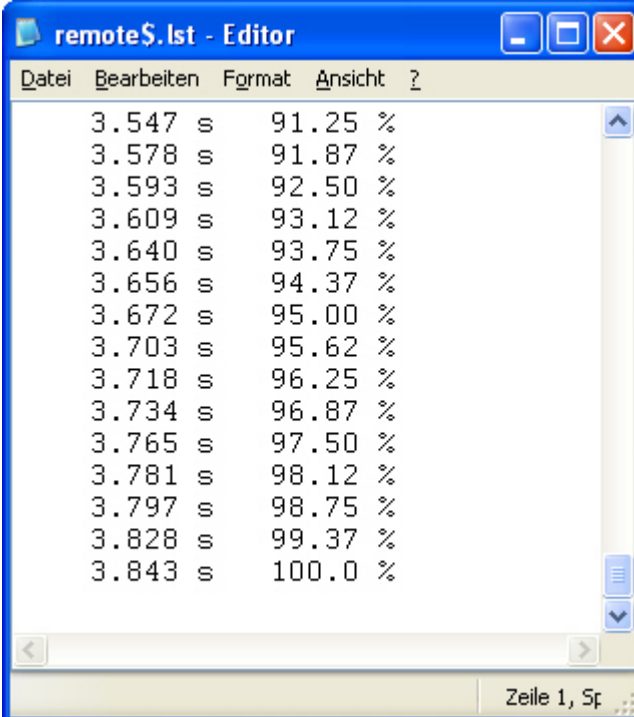
### b) \*.lst - Datei

Diese Datei enthält Informationen über den Fortgang der Berechnung. Bei erfolgreicher Berechnung enthält diese Datei die aktuellen Werte für den Optimierungsparameter  $\beta$  und die abgelaufene Prozesszeit, wenn die lokale Optimierung angewendet wird.



Bei Anwendung der „globalen“ Optimierung, wenn also die Anzahl der Optimierungsobjekte größer als null ist (z.B. bei Verschiebung von (evtl. gemeinsamen) Restriktionen auf die  $\phi$ -

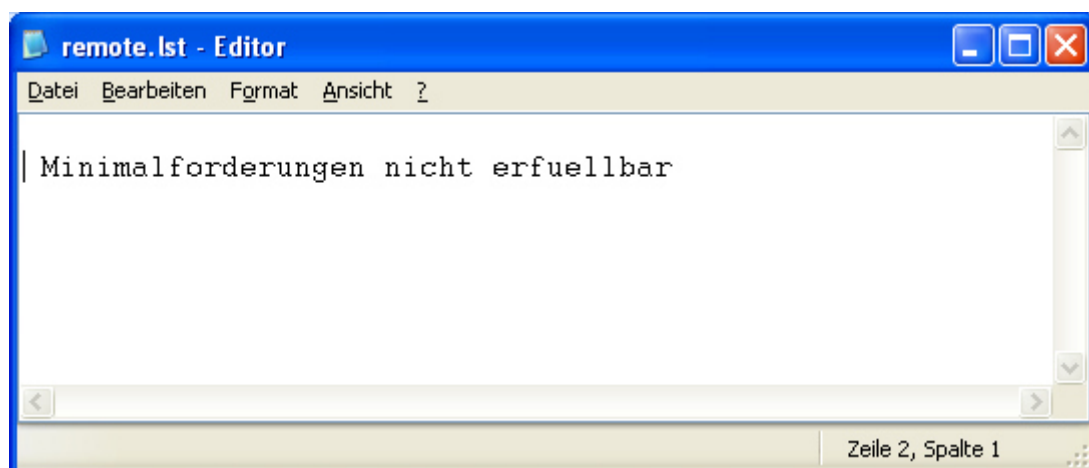
Achse) enthält die \*.lst-Datei in diesem Falle lediglich die benötigte Rechenzeit und die ungefähre Prozentangabe zur Gesamtrechenzeit.



The screenshot shows a window titled 'remote\$.lst - Editor' with a menu bar containing 'Datei', 'Bearbeiten', 'Format', 'Ansicht', and '?'. The main text area contains a list of 15 rows, each with a time value in seconds and a percentage value. The status bar at the bottom right indicates 'Zeile 1, Sp'.

3.547 s	91.25 %
3.578 s	91.87 %
3.593 s	92.50 %
3.609 s	93.12 %
3.640 s	93.75 %
3.656 s	94.37 %
3.672 s	95.00 %
3.703 s	95.62 %
3.718 s	96.25 %
3.734 s	96.87 %
3.765 s	97.50 %
3.781 s	98.12 %
3.797 s	98.75 %
3.828 s	99.37 %
3.843 s	100.0 %

Ist die Anwendung nicht erfolgreich gewesen, wird in der \*.lst-Datei der Grund für den Abbruch spezifiziert, z.B.:





c) \*.fk<k> - Datei

Das sind die eigentlichen Ergebnisdateien. Sie enthalten die berechneten Fourierkoeffizienten des konkreten Bewegungsgesetzes **k** ( $k = 1 \dots n$ ). Sie werden nur im Falle einer fehlerfreien Anwendung mit folgender Spezifikation beschreiben:

$a_0^k$	$\eta_{\max}^k$
$a_1^k$	$b_1^k$
$a_2^k$	$b_2^k$
$a_3^k$	$b_3^k$
...	...
...	...
...	...
$a_n^k$	$b_n^k$
$a_0^{>k}$	$a_0^{>>k}$
$\theta$	$\eta_{\min}^k$
$\beta$	$t_c(s)$

$a_0^k \dots a_n^k$	k-tes Bewegungsgesetz: Fourierkoeffizienten, Cosinusanteile, (n ... max. Ordnung der Fourierreihe; $a_0^k$ ... konstanter Weganteil)
$b_1^k \dots b_n^k$	k-tes Bewegungsgesetz: Fourierkoeffizienten, Sinusanteile
$\eta_{\max}^k$	maximal erreichbares Abstimmungsverhältnis
$a_0^{>k}$	konstanter „Geschwindigkeits“-Anteil
$a_0^{>>k}$	konstanter „Beschleunigungs“-Anteil (Berechnung ist deaktiviert.)
$\theta$	Dämpfungsgrad
$\eta_{\min}^k$	minimal erreichbares Abstimmungsverhältnis
$\beta$	aktueller Optimierungsparameter (0.0 ... $\beta$ ... 1.0)
$t_c(s)$	benötigte Rechenzeit in sec.

Die Trennzeichen zwischen den Werten in einer Zeile sind *Tabulatoren*:

Bsp.:

The image shows a text editor window titled "reno.fk1 - Editor". The window has a menu bar with "Datei", "Bearbeiten", "Format", "Ansicht", and "?". The main text area contains two columns of numbers separated by tabs. The first column contains values ranging from  $6.5561969430319937E+02$  to  $0.9824218750000000$ . The second column contains values ranging from  $0.148769531250491$  to  $3.0315600000000268E+02$ . The status bar at the bottom right indicates "Zeile 1, Spalte 1".

6.5561969430319937E+02	0.148769531250491
-1.0126307248927859E+03	10.286077063701027
4.1856579455397520E+02	0.0000000000000000E+000
-21.623224242103714	-17.370502314147203
-64.188214289374926	18.713952807946114
26.970471871436430	-8.650569122213332
-2.926384487200513	1.642404339777115
-0.124900931989831	-2.0628519471710870E-02
0.0000000000000000E+000	0.0000000000000000E+000
2.9999999999999999E-02	1.4062500000000000E-03
0.9824218750000000	3.0315600000000268E+02

#### d) \*.as<k> - Datei

In diesen Text-Dateien, die im jeweiligen Anwendungsverzeichnis gespeichert werden, sind bei erfolgreicher Berechnung die  $\phi$  - Verläufe von

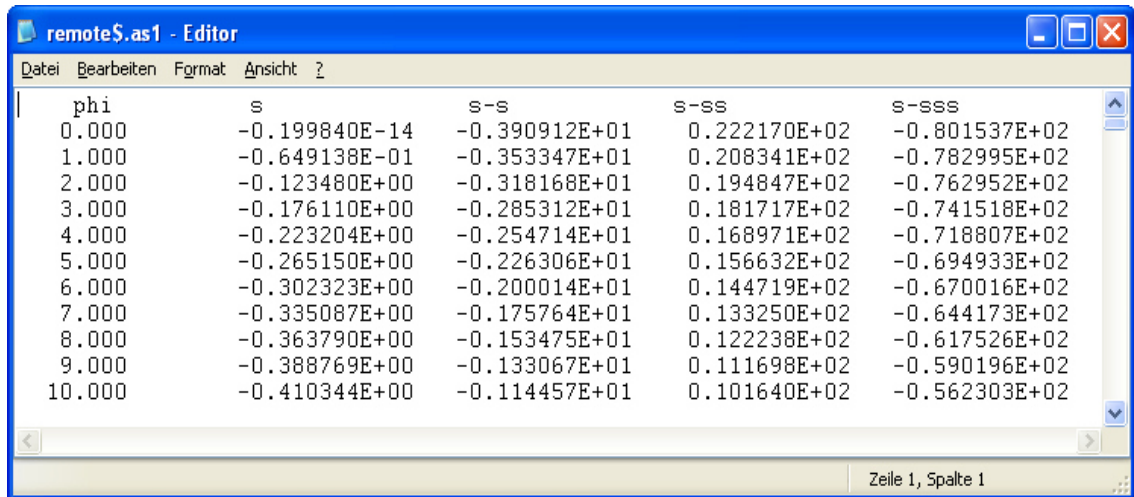
$$s, s', s'' \text{ und } s'''$$

des Bewegungsgesetzes  $k$  enthalten. Die Ausgabeschrittweite  $\Delta\phi$  (Standard:  $\Delta\phi = 1,0^\circ$ ) wird in der \*.hs4-Datei im „Bewegungsgesetz-Startsatz“ mit dem 6. Realwert festgelegt, die Trennzeichen zwischen den Eintragungen in einer Zeile sind Tabulatoren:

0	k	nh <sub>k</sub>	...	...	...						
...	...	...	...	...	$\Delta\phi$ (°)						

k ...Nr. des Bewegungsgesetzes      nh<sub>k</sub> ... Anzahl der Harmonischen

Bsp.: Ausschnitt aus einer Datei „remote\$.as1“:

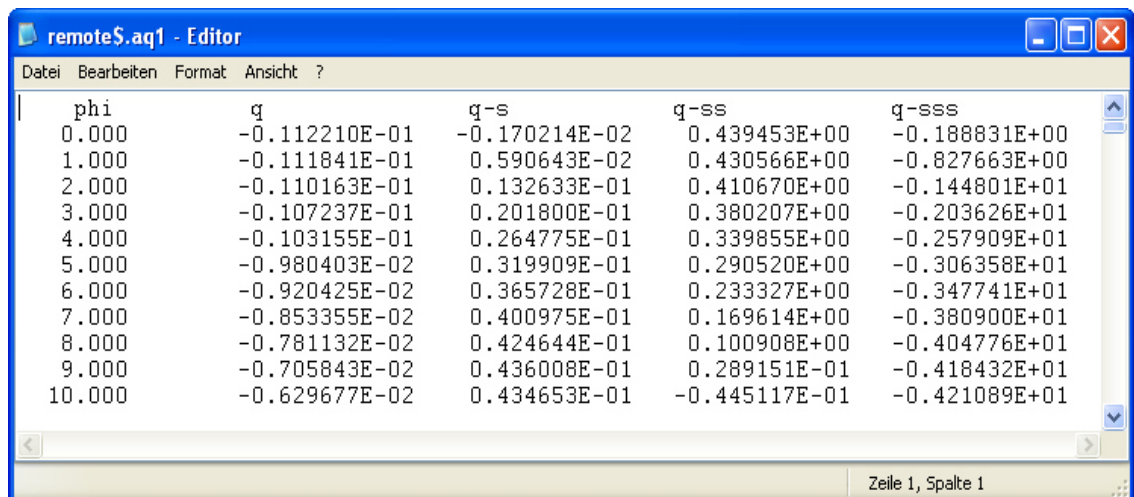


phi	s	s-s	s-ss	s-sss
0.000	-0.199840E-14	-0.390912E+01	0.222170E+02	-0.801537E+02
1.000	-0.649138E-01	-0.353347E+01	0.208341E+02	-0.782995E+02
2.000	-0.123480E+00	-0.318168E+01	0.194847E+02	-0.762952E+02
3.000	-0.176110E+00	-0.285312E+01	0.181717E+02	-0.741518E+02
4.000	-0.223204E+00	-0.254714E+01	0.168971E+02	-0.718807E+02
5.000	-0.265150E+00	-0.226306E+01	0.156632E+02	-0.694933E+02
6.000	-0.302323E+00	-0.200014E+01	0.144719E+02	-0.670016E+02
7.000	-0.335087E+00	-0.175764E+01	0.133250E+02	-0.644173E+02
8.000	-0.363790E+00	-0.153475E+01	0.122238E+02	-0.617526E+02
9.000	-0.388769E+00	-0.133067E+01	0.111698E+02	-0.590196E+02
10.000	-0.410344E+00	-0.114457E+01	0.101640E+02	-0.562303E+02

#### d) \*.aq<k> - Datei

Bei erfolgreichen „dynamischen Anwendungen“ ( $\eta > 0$ ) werden in analoger Weise zu den \*.as<k>-Dateien die \*.aq<k>-Dateien mit den  $q(\phi)$ -,  $q'(\phi)$ -,  $q''(\phi)$ - und  $q'''(\phi)$ -Verläufen beschrieben:

Bsp.: Ausschnitt aus einer Datei „remote\$.aq1“:



phi	q	q-s	q-ss	q-sss
0.000	-0.112210E-01	-0.170214E-02	0.439453E+00	-0.188831E+00
1.000	-0.111841E-01	0.590643E-02	0.430566E+00	-0.827663E+00
2.000	-0.110163E-01	0.132633E-01	0.410670E+00	-0.144801E+01
3.000	-0.107237E-01	0.201800E-01	0.380207E+00	-0.203626E+01
4.000	-0.103155E-01	0.264775E-01	0.339855E+00	-0.257909E+01
5.000	-0.980403E-02	0.319909E-01	0.290520E+00	-0.306358E+01
6.000	-0.920425E-02	0.365728E-01	0.233327E+00	-0.347741E+01
7.000	-0.853355E-02	0.400975E-01	0.169614E+00	-0.380900E+01
8.000	-0.781132E-02	0.424644E-01	0.100908E+00	-0.404776E+01
9.000	-0.705843E-02	0.436008E-01	0.289151E-01	-0.418432E+01
10.000	-0.629677E-02	0.434653E-01	-0.445117E-01	-0.421089E+01