

```

2 PRINT"♦"
3 PRINT"FACHARBEIT"
4 PRINT"WAERMELEITUNG IN FESTKOEERPERN"
5 PRINT"GYMNASIUM SELB"
6 PRINT"KOLLEGSTUFE 78/80"
7 PRINT"LEISTUNGSKURS PHYSIK"
8 PRINT"KURSLEITER SCHOTT"
9 PRINT"VERFASSER SCHUBERT RICHARD":PRINT
11 PRINT
12 PRINT"DAS PROGRAMM ERMOEGLICHT IHNEN, DEN"
13 PRINT"WAERMEDURCHGANG DURCH FESTKOEERPER ZU"
14 PRINT"ANALYSIEREN."
15 PRINT"NACH EINGABE DER KOERPERDATEN UND"
16 PRINT"DES ITERATIONSMODUS RECHNET DAS"
17 PRINT"PROGRAMM DEN WEITEREN TEMPERATURVERLAUF"
18 PRINT"AUS."
19 PRINT"DRUECKEN SIE NUN DIE TASTE 'P';"
21 PRINT"DAS PROGRAMM WIRD EINGELEITET."
22 PRINT"LOESCHEN SIE BITTE BEI OVERFLOW."
23 PRINT"2-24,30-32,90,170,1070,1500"
24 PRINT
25 PRINTTAB(28)"VIEL ERFOLG"
30 GETA#: IF A#C" P" THEN 30
32 PRINT"♦"
90 REM INPUT
100 YH=4 :G=1000
110 INPUT"LAENGE IN METER";LA
120 INPUT"UNTERTEILUNG";UN
130 INPUT"FLAECHE IN QM";AR
140 INPUT"TIMESTEP IN SEK";TS
145 INPUT"MINDESTGENAUIGKEIT";MG
150 INPUT"DARSTELLUNGSFREQUENZ";DF
160 INPUT "PRINTER/DIREKT";P#
170 IF P#="P" THEN INPUT"KOORDINATENHOEHE",YH : INPUT"AUSDRUCKBEZEICHNUNG",BZ#
171 IF P#="D" THEN 160
172 OPEN1,7
173 PRINT#1,CHR$(1)
174 PRINT#1,CHR$(2)
175 PRINT#1,CHR$(3)
176 PRINT#1,CHR$(4)
177 CLOSE1
178 REM INPUT
180 DIM T1(UN): DIMT(UN)
190 DIM KD(UN+1): DIMWL(UN+1)
195 DIMWK(UN): DIMDE(UN)
200 INPUT"WK,DE,WL BIS N-TES SEGMENT";WK,DE,WL,N1
210 IF TS*(UN+1)*UN*WL/(LA*LA*WK*DE)<MG THEN 200
220 INPUT"TS NEU";TS
230 FOR N=0 TO N1
240 KD(N)=KD(N)*25/TS
250 NEXT N
260 TS=25
270 GOTO 210
280 FOR N= N0 TO N1
290 WL(N)=WL
295 WK(N)=WK: DE(N)=DE
300 KD(N)=TS*UN*(UN+1)/(WK*DE*LA*LA)
310 NEXT N
320 N0=N1+1
330 IF N-1<UN THEN 200
340 INPUT "TEMPERATUR IM KOERPERINNEREN";TA
350 INPUT"RANDTEMPERATUREN T(0),T(UN)";T(0),T(UN)
355 INPUT"RANDBEDINGUNG L,R,LR,K";Q#
360 FOR N=1 TO UN-1
370 T1(N)=TA:T(N)=TA
375 NEXT N

```

```

390 T1(0)=T(0):T1(UN)=T(UN)
400 DF=2*INT(DF/2)
410 TL=PL*TS*(UN+1)/WK(0)/LA/AR/DE(0)
420 TR=PR*TS*(UN+1)/WK(UN)/LA/AR/DE(UN)
430 T0=T(0):T2=T(UN)
440 FOR N=0 TO UN
450 IF T(N)>TK THEN TK=T(N)
460 NEXT N
465 INPUT"STOPPZEIT",ZM
470 IF P#="D" THEN 590
475 OPEN 1,T:PRINT#1,CHR$(3):CMD1
500 PRINTB2# :PRINT
505 PRINT"ES WIRD DIE WAERMELEITUNG UNTER FOLGENDEN BEDINGUNGEN BETRACHTET."
505 PRINT"LAENGE=";LA;"METER"
507 PRINT"FLAECHE=";AR;"QUADRATMETER"
509 PRINT"UNTERTEILUNG";UN
511 PRINT"ZEITSCHRITT";TS;"SEK"
513 PRINT"MIN.D.GENAUIGKEIT";MG
515 PRINT"ANFANGSTEMPERATUR IM INNEREN";TA;"GRAD"
517 IF Q#="K" THENPRINT"DIE RANDTEMPERATUREN WERDEN KONSTANT GEHALTEN."
519 IF LEFT$(Q#,1)="L" THENPRINT"LINKS WERDEN";PL;"WATT WAERMELEISTUNG ZUGEFUEHRT."
521 IF RIGHT$(Q#,1)="R" THENPRINT"RECHTS WERDEN";PR;"WATT WAERMELEISTUNG ZUGEFUEHRT."
530 FOR N=0 TO UN
540 IF WL(N)=WL(N+1) AND KD(N)=KD(N+1) THEN 560
545 PRINT"WK,DE,WL BIS ZUM";N;
550 PRINT"-TEN SEG.";WK(N);"J/(KG*K)",DE(N);"KG/M^3",WL(N);"W/(M*K)"
560 NEXT N
570 PRINT
590 REM IF Q#="K" THEN GOSUB2000
595 IF P#="D" THEN 1500
600 GOTO 1500
700 LF=(T(0)-T1(0))*WK(0)*LA*AR*DE(0)/TS/(UN+1)+WL(1)*AR*UN*(T1(0)-T1(1))/LA
705 DT=WL(UN)*AR*UN*(T1(UN)-T1(UN-1))/LA
710 RP=(T(UN)-T1(UN))*WK(UN)*LA*AR*DE(UN)/TS/(UN+1)+DT
720 QL=((T(0)-T0)/KD(0)-WL(1)*DL)*UN*AR*TS/LA
730 QR=((T(UN)-T2)/KD(UN)-WL(UN)*DR)*UN*AR*TS/LA
740 SU=0
800 FOR N=0 TO UN
810 SU=SU+T(N)/KD(N)
820 NEXT N
830 QI=TS*UN*AR*SU/LA
840 IF Z=0 AND E#<>"E" AND E#<>"R" THENQ0=QI
850 IF T(0)>TK OR T(UN)>TK THEN TK=2*TK:GOTO850
865 IF P#="D" THENPRINT"▼":GOTO873
867 IF E#="E" THEN LP=-K1*AR*UN/LA:RP=-LP:GOTO874
869 T(0)=INT(T(0)*100+.5)/100:T(UN)=INT(T(UN)*100+.5)/100
870 PRINT"STEP";Z;SPC(-LEN(STR$(Z))+19);"T(0)=";T(0);"GRAD";
871 PRINTSPC(-LEN(STR$(T(0)))+18);"T(UN)=";T(UN);"GRAD"
872 PRINT;"TIME",Z*TS;"SEK";SPC(-LEN(STR$(Z*TS))+16);"QL=";INT(QL/1000);"KJ";
873 PRINT;SPC(-LEN(STR$(INT(QL/1000)))+22);"QR=";INT(QR/1000);"KJ"
874 PRINT"T MAX";TK;"GRAD";SPC(-LEN(STR$(TK))+14);"LP=";INT(LP+.5)/1000;"KW";
875 PRINTSPC(-LEN(STR$(INT(LP+.5)/1000))+22);"RP=";INT(RP+.5)/1000;"KW"
876 PRINTSPC(24);"QI=";INT(QI/1000+.5);"KJ";SPC(22-LEN(STR$(INT(.5+QI/1000)))));
877 PRINT"QI-Q0=";INT((QI-Q0)/1000+.5);"KJ"
878 GOTO950
879 IF E#="E" THENPRINT"T MAX";TK;"GRAD":PRINT:LP=-K1*AR*UN/LA:RP=-LP:GOTO 910
880 PRINT"STEP";Z;TAB(13);"TIME";Z*TS;TAB(26);"T MAX";TK;"GR"
885 PRINT
890 PRINT"T(0)=";T(0);"GR";TAB(21);"T(UN)=";T(UN);"GR"
900 PRINT"QL=";QL;"J";TAB(21);"QR=";QR;"J"
910 PRINT"LP=";LP;"W";TAB(21);"RP=";RP;"W"
920 PRINT"QI=";QI;"J";TAB(21);"QI-Q0=";QI-Q0;"J"
930 PRINT
950 FOR A=YH TO 0 STEP-1
960 PRINT"L";
970 FOR L1=0 TO UN
980 IF INT(YH*T(L1)/TK)=H THEN GOSUB5000 GOTO1010

```

```

990 IF WL(L1)<>WL(L1+1) OR KD(L1)<>KD(L1+1) THEN PRINT "I"; GOTO 1010
1000 PRINT " ";
1010 NEXT L1
1015 PRINT " "
1020 NEXT H
1030 FOR N=1 TO UN+2
1040 PRINT "L";
1050 NEXT N
1060 PRINT " "
1065 PRINT " "
1067 IF Q#="K" AND E#<>"E" AND E#<>"R" THEN GOSUB 2000
1070 RETURN:REM ENDE DARSTELLUNG
1500 REM ITERATION
1505 GOSUB 700
1507 IF Z*TS>ZM THEN INPUT "ZM NEU"; ZM: IF ZM = 0 THEN END
1510 FOR M1=2 TO DF STEP 2
1520 FOR N=1 TO UN-1
1530 T1(N)=T(N)+KD(N)*(WL(N)*(T(N-1)-T(N))+WL(N+1)*(T(N+1)-T(N)))
1540 NEXT N
1550 IF Q#="K" THEN 1580
1560 IF LEFT$(Q#,1)="L" THEN T1(0)=T(0)+TL+KD(0)*WL(1)*(T(1)-T(0))
1570 IF RIGHT$(Q#,1)="R" THEN T1(UN)=T(UN)+TR-KD(UN)*WL(UN)*(T(UN)-T(UN-1))
1580 DL= DL+T(1)-T(0)
1590 DR= DR+T(UN-1)-T(UN)
1600 FOR N=1 TO UN-1
1610 T(N)= T1(N)+KD(N)*(WL(N)*(T1(N-1)-T1(N))+WL(N+1)*(T1(N+1)-T1(N)))
1615 NEXT N
1620 IF Q#="K" THEN 1650
1630 IF LEFT$(Q#,1)="L" THEN T(0)= T1(0)+TL+KD(0)*WL(1)*(T1(1)-T1(0))
1640 IF RIGHT$(Q#,1)="R" THEN T(UN)=T1(UN)+TR-KD(UN)*WL(UN)*(T1(UN)-T1(UN-1))
1650 DL=DL+T1(1)-T1(0)
1660 DR=DR+T1(UN-1)-T1(UN)
1670 NEXT M1
1680 Z=Z+DF
1690 GOTO 1500
2000 REM ENDZUSTAND
2005 E#="E"
2010 PRINT "ENDZUSTAND"
2020 FOR N=1 TO UN
2030 SO=SO +1/WL(N)
2040 NEXT N
2050 K1=(T(UN)-T(0))/SO
2060 FOR N=1 TO UN-1
2070 SN=SN+1/WL(N)
2080 T(N)=T(0)+K1*SN
2090 NEXT N
2100 GOSUB 500
2120 FOR N=0 TO UN
2130 T(N)=T1(N)
2140 NEXT N
2145 E#="R"
2150 RETURN
5000 REM SUB STRICH
5010 K=8*(YH*T(L1)/TK-INT(YH*T(L1)/TK))
5020 IF K<1 THEN PRINT "_"; RETURN
5030 IF 1<=K AND K<2 THEN PRINT "L"; RETURN
5040 IF 2<=K AND K<3 THEN PRINT "I"; RETURN
5050 IF 3<=K AND K<4 THEN PRINT "-"; RETURN
5060 IF 4<=K AND K<5 THEN PRINT "-"; RETURN
5070 IF 5<=K AND K<6 THEN PRINT "-"; RETURN
5080 IF 6<=K AND K<7 THEN PRINT "T"; RETURN
5090 PRINT "T"; RETURN

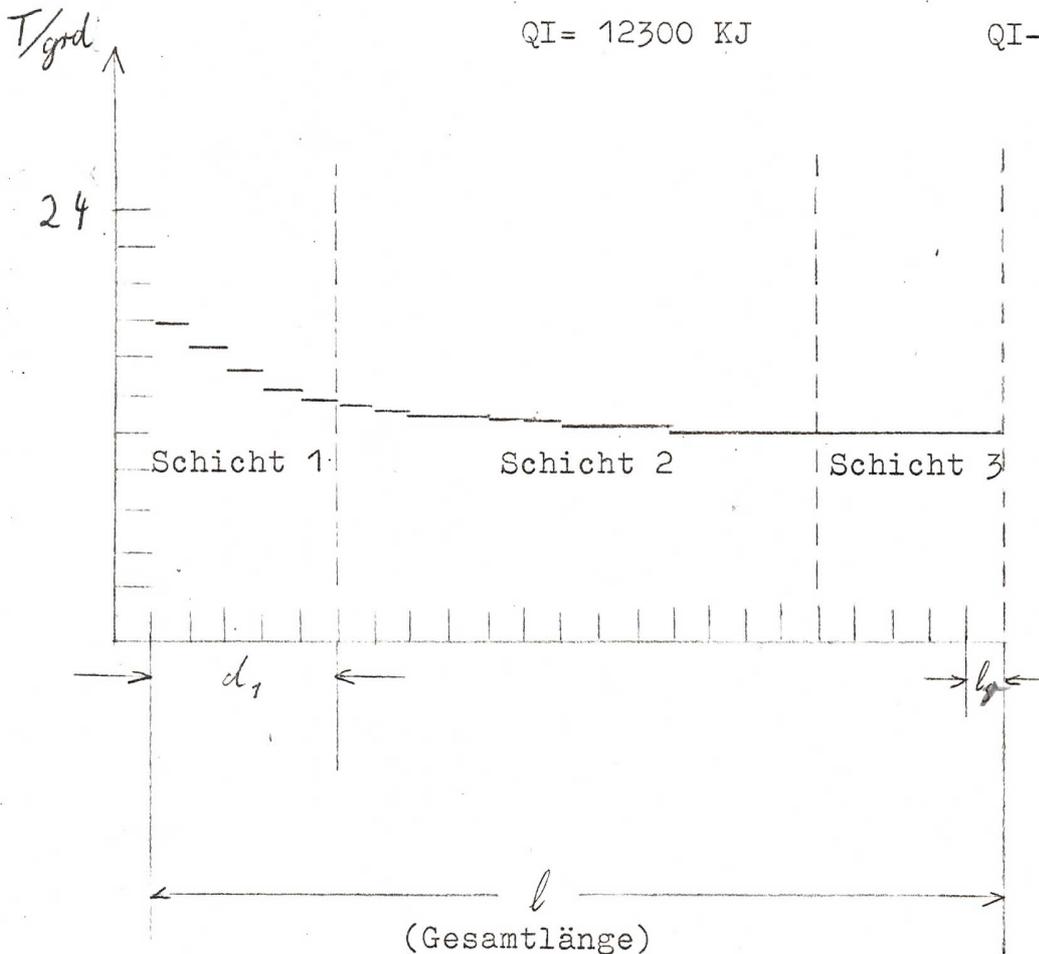
```

READY.

#### IV Praktische Beispiele

Um den Computerausdruck verstehen zu können, sei hier nun ein Musterausdruck gegeben.

STEP 20	T(0)= 18 GRAD	T(UN)= 10 GRAD
TIME 40 SEK	QL= 4200. KJ	QR= 0 KJ
T MAX 24 GRAD	LP= 50 KW	RP= 0 KW
	QI= 12300 KJ	QI-QO= 4200 KJ



$l_r$ : Dicke eines Reservoirs (=  $1/UN$ )

$d_1$ : Dicke der Schicht 1 (im Bsp. etwa 5 Unterteilungen)

Beim Computerausdruck ist zu beachten, daß durch den Zeilenabstand gewisse Unstetigkeiten im Graphen, der den momentanen Temperaturverlauf durch die Wand wiedergibt, entstehen können.

Wie aus Kapitel III ersichtlich, arbeitet das Programm nach folgendem Modus:

Nach Eingabe des Anfangszustandes erfolgen in regelmäßigem Abstand Ausdrücke über den momentanen Temperaturverlauf und gewisse Leistungs- und Energiewerte. Der obige Modellausdruck ist wie folgt zu verstehen.

STEP 20: Nach dem 20. Iterationsschritt (siehe Funktionsskizze Seite 8) wurde dieser Ausdruck erstellt.

TIME 40: Diese 20 Iterationsschritte entsprechen 40 Sekunden; d.h. die Werte des Ausdruckes entsprechen dem Zustand nach 40 Sekunden.

T MAX 24 GRAD: Die maximal darstellbare Temperatur im Koordinatensystem ist 24 Grad. T MAX ist also der Maßstab dieses Koordinatensystems.

T(O) = 18 GRAD: Die Randtemperatur links am Körper ist 18 Grad.

T(UN) = 10 GRAD: Die Randtemperatur rechts am Körper ist 10 Grad.

QL = 4200 KJ: Seit Beginn der Iteration von Step 0 bis Step 20 hat der Körper 4200 KJ Wärmeenergie aufgenommen. (An der linken Körpergrenze)

QR = 0 KJ: Rechts am Körper wurde noch keine berechenbare Menge Energie mit der Umgebung ausgetauscht.

LP = 50 KW: Von Schritt 19 auf Schritt 20 herrschte an der linken Körperwand eine durchschnittl. Leistungsaufnahme von 50 KW vor.

RP = 0 KW: Rechts am Körper liegt keine berechenbare Leistungsaufnahme vor.

QI = 12300 KJ: Im Körper liegt eine Wärmeenergie - bezogen auf 0 Grad - von 12300 KJ vor.

QI-QO = 4200: Seit Beginn der Iteration hat sich die innere Energie des Körpers um 4200KJ erhöht. Dies ist in Einklang mit QL = 4200 KJ, denn dem Körper wurde nur von links Energie zugeführt, also muß auch dies der Energiebetrag sein, um den die innere Energie vergrößert wurde.

## Beispiel I und II

In diesen Beispielen soll nun der Wärmedurchgang durch eine Zweischichtenwand untersucht werden. Es wird in beiden Fällen davon ausgegangen, daß bei einer Gesamtwandfläche von 1000 qm und einer Gesamtwandstärke von 30 cm das Haus mit einer Wärmeleistung von 50 KW aufgeheizt werden soll. Es wird vereinfachend, wie es auch in den anderen Beispielen der Fall ist, vorausgesetzt, daß die gesamte Leistung zum Erwärmen der Wand verwendet wird, weiterhin wird der Wärmeübergangswiderstand von Luft auf das Mauerwerk vernachlässigt. Vor dem Einschalten der Heizung herrsche in der Wand eine einheitliche Temperatur von 10 Grad vor (siehe Ausdruck bei Step 0). Die Dicke ("LAENGE") von 30 cm wird in 30 Schichten zu je ein Zentimeter unterteilt gedacht. (Da durch eine Unterteilung von 29 bereits 30 "Reservoirs" entstehen, ist UN = 29 zu wählen.)

Die eine Schicht, das Mauerwerk selbst, sei 24 cm dick, habe eine Dichte von  $1200 \text{ kg/m}^3$ , eine spezifische Wärmekapazität von  $920 \text{ J/kgK}$  und einen Wärmeleitwert von  $0,52 \text{ W/mK}$ . Die andere Schicht, eine Isolierung, sei 6 cm dick, habe eine Dichte von  $200 \text{ kg/m}^3$ , eine spezifische Wärmekapazität von  $2400 \text{ J/kgK}$  sowie einen Wärmeleitwert von  $0,047 \text{ W/mK}$  (entspr. in etwa Holzisolierung oder Spanplatten).

Der einzige Unterschied, der untersucht werden soll, ist die Lage der Isolierung. Im Beispiel ist die Isolierung außen angebracht, im anderen Falle innen. Man erkennt nun, daß man im Falle einer Außenisolierung über vier Stunden braucht, bis eine wohnliche Temperatur von knapp 19 Grad herrscht. Im Falle der Innenisolierung hingegen reicht eine knappe halbe Stunde, bis das Haus eine angenehme Temperatur erreicht hat. Man muß in diesem Falle aber auch mit einem wesentlich schnelleren Auskühlen des Hauses rechnen, falls die Heizung ausfällt.

- 24 -

Weiterhin erkennt man an beiden Beispielen, daß bis zu einer Zeit von drei Stunden nur ein unbedeutender Teil der Wärmeenergie, die der Wand von innen zugeführt wird, außen abgegeben wird. Es wird erst einmal die Wand aufgeheizt. Man sieht im Beispiel II sehr gut den Wärmestau, der sich durch die Innenisolierung ergibt. Vergleicht man den Ausdruck von Beispiel I u. II zu gleichen Zeiten, so erkennt man, daß die gleiche Wärmeenergie nicht soweit in die Wand eingedrungen ist, aber dafür zu einer höheren Erwärmung geführt hat. Da rechts nun noch keine merkliche Energieströmung festzustellen ist, ist in beiden Fällen der Wert von  $Q_L$  und von  $Q_I - Q_0$  nahezu gleich. Die geringen Abweichungen bei den Ausdrücken nach sehr kurzer Zeit geben einen Aufschluß über die Rechengenauigkeit, dies allerdings nur insoweit, als die Ungenauigkeiten nicht in einer zu groben Unterteilung und einem zu großen Zeitschritt (vergl. "Mindestgenauigkeit") begründet liegen.

READY.

BEISPIEL 1

ES WIRD DIE WÄRMELEITUNG UNTER FOLGENDEN BEDINGUNGEN BETRACHTET.

LAENGE= .3 METER

FLAECHE= 1000 QUADRATMETER

UNTERTEILUNG 29

ZEITSCHRITT 30 SEK

MIND.GENAUIGKEIT .2

ANFANGSTEMPERATUR IM INNEREN 10 GRAD

LINKS WERDEN 50000 WATT WÄRMELEISTUNG ZUGEFUEHRT.

WK,DE,WL BIS ZUM 23 -TEN SEG. 920 J/(KG\*K)

1200 KG/M<sup>3</sup>

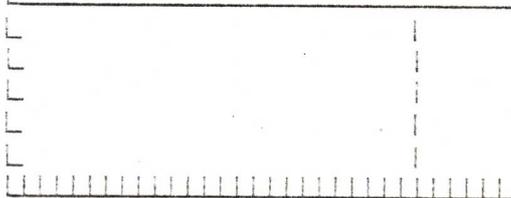
.52 W/(M\*K)

WK,DE,WL BIS ZUM 29 -TEN SEG. 2400 J/(KG\*K)

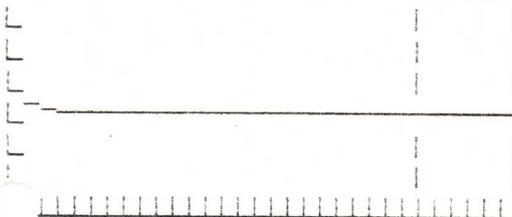
200 KG/M<sup>3</sup>

.847 W/(M\*K)

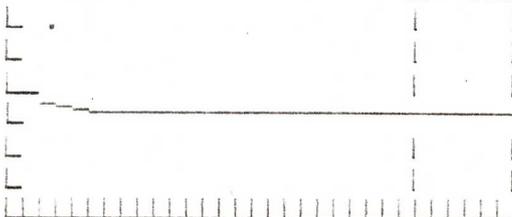
STEP 0	T(0)= 10 GRAD	T(UN)= 10 GRAD
TIME 0 SEK	QL= 0 KJ	QR= 0 KJ
T MAX 10 GRAD	LP= 0 KW	RP= 0 KW
	QI= 2937600 KJ	QI-Q0= 0 KJ



STEP 24	T(0)= 11.58 GRAD	T(UN)= 10 GRAD
TIME 720 SEK	QL= 36000 KJ	QR= 0 KJ
T MAX 20 GRAD	LP= 50 KW	RP= 0 KW
	QI= 2973600 KJ	QI-Q0= 36000 KJ



STEP 48	T(0)= 12.41 GRAD	T(UN)= 10 GRAD
TIME 1440 SEK	QL= 71956 KJ	QR= 0 KJ
T MAX 20 GRAD	LP= 50 KW	RP= 0 KW
	QI= 3009556 KJ	QI-Q0= 71956 KJ

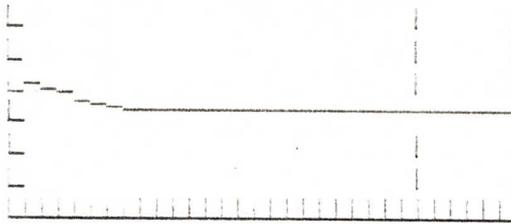


STEP 72	T(0)= 13.85 GRAD	T(UN)= 10 GRAD
TIME 2160 SEK	QL= 107953 KJ	QR= 0 KJ
T MAX 20 GRAD	LP= 50 KW	RP= 0 KW
	QI= 3045554 KJ	QI-Q0= 107954 KJ



QI= 3081553 KJ

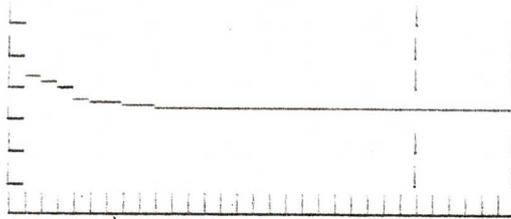
QI-Q0= 143953 KJ



STEP 120  
 TIME 3600 SEK  
 T MAX 20 GRAD

T(0)= 14.07 GRAD  
 QL= 179942 KJ  
 LP= 50 KW  
 QI= 3117543 KJ

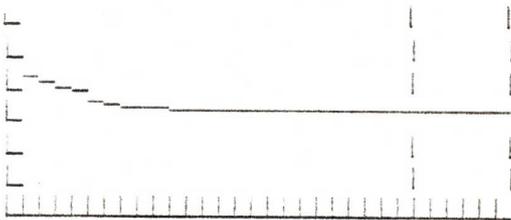
T(UN)= 10 GRAD  
 QR= 0 KJ  
 RP= 0 KW  
 QI-Q0= 179943 KJ



STEP 144  
 TIME 4320 SEK  
 T MAX 20 GRAD

T(0)= 14.5 GRAD  
 QL= 215966 KJ  
 LP= 50 KW  
 QI= 3153566 KJ

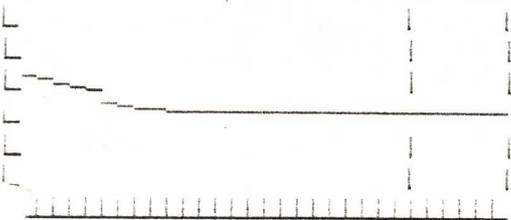
T(UN)= 10 GRAD  
 QR=-1 KJ  
 RP= 0 KW  
 QI-Q0= 215966 KJ



STEP 168  
 TIME 5040 SEK  
 T MAX 20 GRAD

T(0)= 14.9 GRAD  
 QL= 251960 KJ  
 LP= 50 KW  
 QI= 3189561 KJ

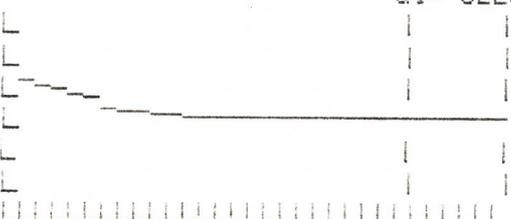
T(UN)= 10 GRAD  
 QR=-1 KJ  
 RP= 0 KW  
 QI-Q0= 251961 KJ



STEP 192  
 TIME 5760 SEK  
 T MAX 20 GRAD

T(0)= 15.27 GRAD  
 QL= 287987 KJ  
 LP= 50 KW  
 QI= 3225588 KJ

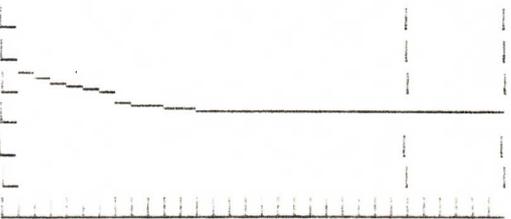
T(UN)= 10 GRAD  
 QR=-1 KJ  
 RP= 0 KW  
 QI-Q0= 287988 KJ



STEP 216  
 TIME 6480 SEK  
 T MAX 20 GRAD

T(0)= 15.62 GRAD  
 QL= 324005 KJ  
 LP= 50 KW  
 QI= 3261605 KJ

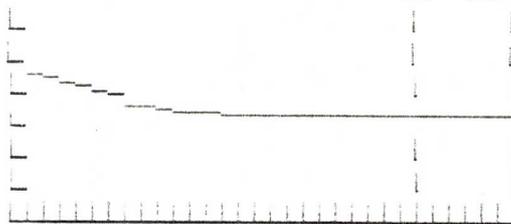
T(UN)= 10 GRAD  
 QR=-1 KJ  
 RP= 0 KW  
 QI-Q0= 324005 KJ



T MAX 20 GRAD

LP= 50 KW  
QI= 3257646 KJ

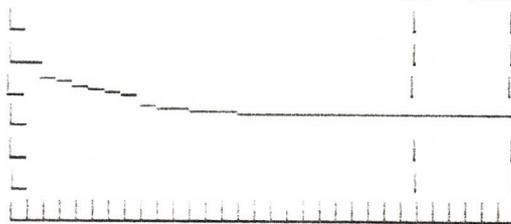
RP= 0 KW  
QI-Q0= 366046 KJ



STEP 264  
TIME 7920 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 16.26 GRAD  
QL= 396000 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3333600 KJ

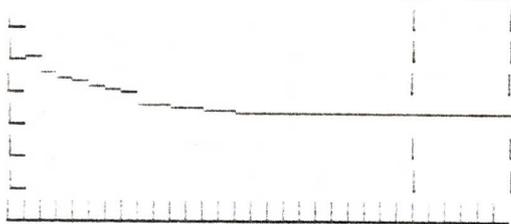
T(UN)= 10 GRAD  
QR=-1 KJ  
RP=-1E-03 KW  
QI-Q0= 396000 KJ



STEP 284  
TIME 8640 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 16.56 GRAD  
QL= 432000 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3363600 KJ

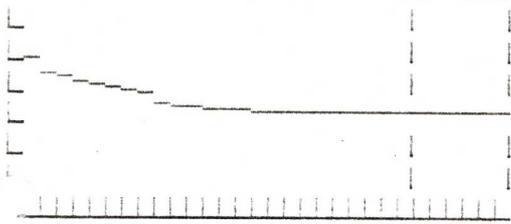
T(UN)= 10 GRAD  
QR=-2 KJ  
RP=-1E-03 KW  
QI-Q0= 432000 KJ



STEP 312  
TIME 9360 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 16.85 GRAD  
QL= 468107 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3405704 KJ

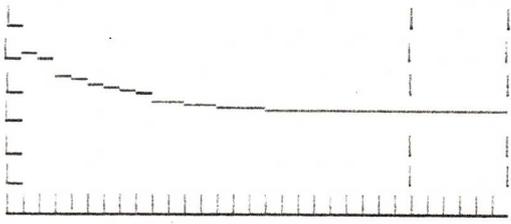
T(UN)= 10 GRAD  
QR=-3 KJ  
RP=-3E-03 KW  
QI-Q0= 468104 KJ



STEP 336  
TIME 10080 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 17.12 GRAD  
QL= 504156 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3441751 KJ

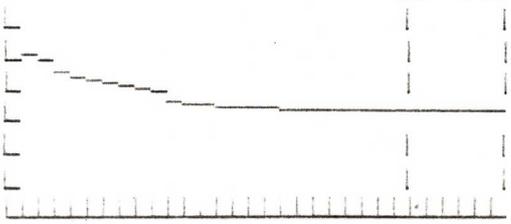
T(UN)= 10 GRAD  
QR=-6 KJ  
RP=-5E-03 KW  
QI-Q0= 504151 KJ



STEP 360  
TIME 10800 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 17.39 GRAD  
QL= 540127 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3477717 KJ

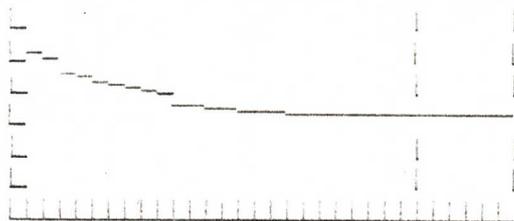
T(UN)= 10 GRAD  
QR=-10 KJ  
RP=-8E-03 KW  
QI-Q0= 540117 KJ



T MAX 20 GRAD

LP= 50 KW  
QI= 3513735 KJ

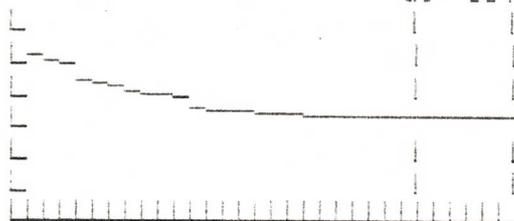
RP=-.012 KW  
QI-Q0= 576135 KJ



STEP 400  
TIME 12240 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 17.9 GRAD  
QL= 612196 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3549768 KJ

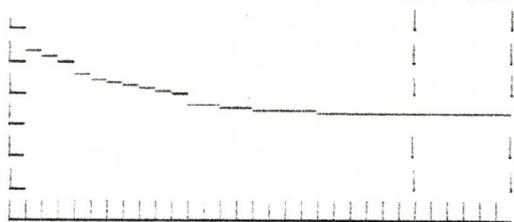
T(UN)= 10 GRAD  
QR=-29 KJ  
RP=-.016 KW  
QI-Q0= 612168 KJ



STEP 408  
TIME 12960 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 18.14 GRAD  
QL= 648232 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3585789 KJ

T(UN)= 10 GRAD  
QR=-44 KJ  
RP=-.025 KW  
QI-Q0= 648169 KJ



STEP 432  
TIME 13680 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 18.38 GRAD  
QL= 684234 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3621769 KJ

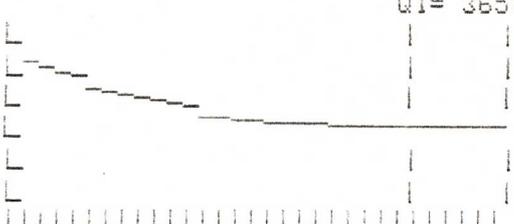
T(UN)= 10 GRAD  
QR=-66 KJ  
RP=-.035 KW  
QI-Q0= 684169 KJ



STEP 456  
TIME 14400 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 18.61 GRAD  
QL= 720286 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3657792 KJ

T(UN)= 10 GRAD  
QR=-95 KJ  
RP=-.046 KW  
QI-Q0= 720192 KJ



STEP 480  
TIME 15120 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 18.83 GRAD  
QL= 756327 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3693795 KJ

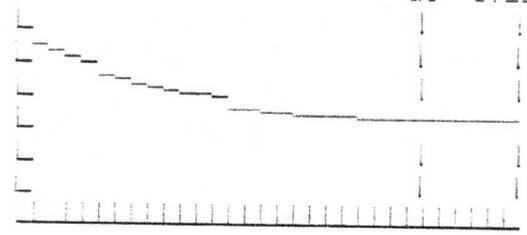
T(UN)= 10 GRAD  
QR=-133 KJ  
RP=-.06 KW  
QI-Q0= 756195 KJ



LP= 50 KW

LP= 50 KW  
QI= 3729736 KJ

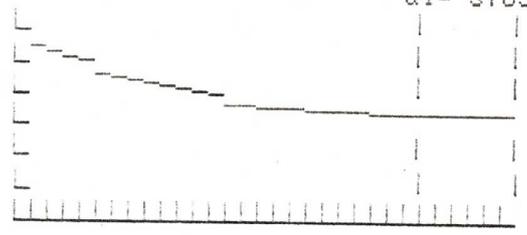
RP=-.075 KW  
QI-Q0= 792136 KJ



STEP 552  
TIME 16500 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 19.26 GRAD  
QL= 828328 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3765686 KJ

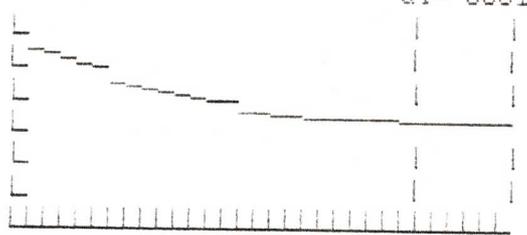
T(UN)= 10 GRAD  
QR=-240 KJ  
RP=-.094 KW  
QI-Q0= 828086 KJ



2M NEUSTEP 576  
TIME 17200 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 19.47 GRAD  
QL= 864293 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3801576 KJ

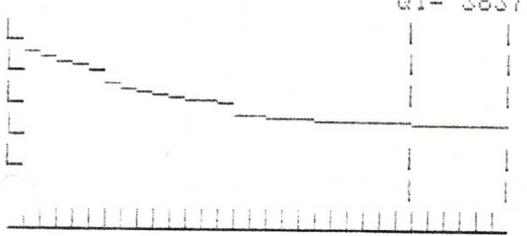
T(UN)= 10 GRAD  
QR=-318 KJ  
RP=-.115 KW  
QI-Q0= 863976 KJ



2M NEUSTEP 600  
TIME 18000 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 19.68 GRAD  
QL= 900277 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3837469 KJ

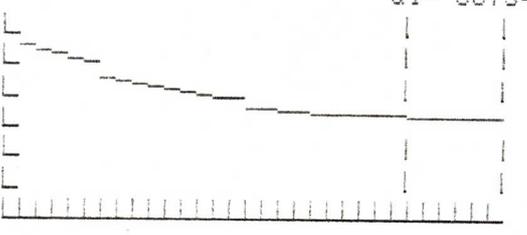
T(UN)= 10 GRAD  
QR=-409 KJ  
RP=-.138 KW  
QI-Q0= 899869 KJ



STEP 624  
TIME 18700 SEK  
T MAX 20 GRAD

T(0)= 19.86 GRAD  
QL= 936317 KJ  
LP= 50 KW  
QI= 3873401 KJ

T(UN)= 10 GRAD  
QR=-518 KJ  
RP=-.164 KW  
QI-Q0= 935801 KJ



BREAK IN 1610  
READY.

BEISPIEL 11

ES WIRD DIE WAERMELEITUNG UNTER FOLGENDEN BEDINGUNGEN BETRACHTET.

LAENGE= .3 METER

FLAECHE= 1998 QUADRATMETER

UNTERTEILUNG 29

ZEITSCHRITT 30 SEK

MIND.GEHAUEIGKEIT .2

ANFANGSTEMPERATUR IM INNEREN 10 GRAD

LINKS WERDEN 50000 WATT WAERMELEISTUNG ZUGEFUEHRT.

WK,DE,WL BIS ZUM 5 -TEN SEG. 2400 J/(KG\*K)

200 KG/M<sup>3</sup>

.047 W/(M\*K)

WK,DE,WL BIS ZUM 29 -TEN SEG. 920 J/(KG\*K)

1200 KG/M<sup>3</sup>

.52 W/(M\*K)

STEP 0

T(0)= 10 GRAD

T(UN)= 10 GRAD

TIME 0 SEK

QL= 0 KJ

QR= 0 KJ

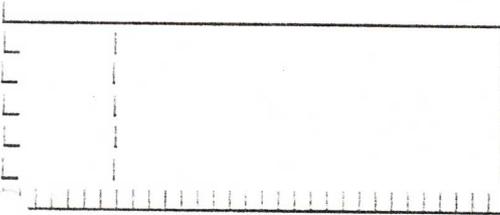
T MAX 10 GRAD

LP= 0 KW

RP= 0 KW

QI= 2937600 KJ

QI-Q0= 0 KJ



STEP 24

T(0)= 15.79 GRAD

T(UN)= 10 GRAD

TIME 720 SEK

QL= 35999 KJ

QR= 0 KJ

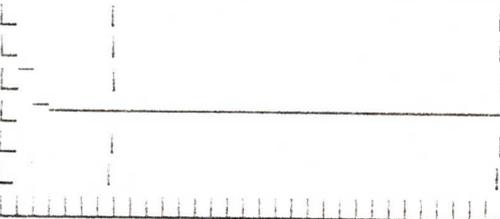
T MAX 20 GRAD

LP= 50 KW

RP= 0 KW

QI= 2973600 KJ

QI-Q0= 36000 KJ



STEP 48

T(0)= 19.71 GRAD

T(UN)= 10 GRAD

TIME 1440 SEK

QL= 72022 KJ

QR= 0 KJ

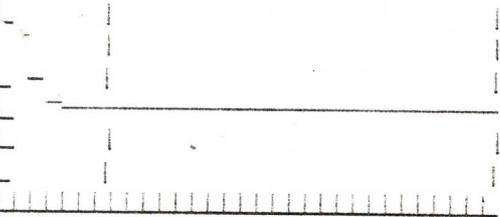
T MAX 20 GRAD

LP= 50 KW

RP= 0 KW

QI= 3009623 KJ

QI-Q0= 72023 KJ



STEP 72

T(0)= 22.83 GRAD

T(UN)= 10 GRAD

TIME 2160 SEK

QL= 106006 KJ

QR= 0 KJ

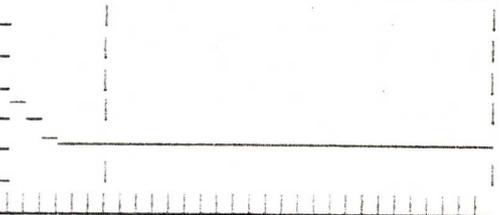
T MAX 40 GRAD

LP= 50 KW

RP= 0 KW

QI= 3045609 KJ

QI-Q0= 106009 KJ



STEP 96

T(0)= 25.5 GRAD

T(UN)= 10 GRAD

TIME 2880 SEK

QL= 143991 KJ

QR= 0 KJ

T MAX 40 GRAD

LP= 50 KW

RP= 0 KW

QI= 3081591 KJ

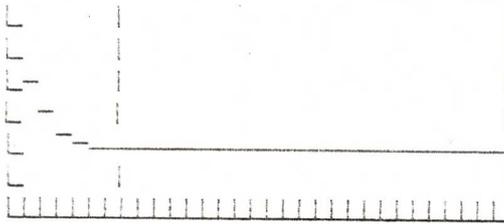
QI-Q0= 143991 KJ



STEP 120  
TIME 3680 SEK  
T MAX 40 GRAD

T(0) = 27.67 GRAD  
QL = 179995 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3117596 KJ

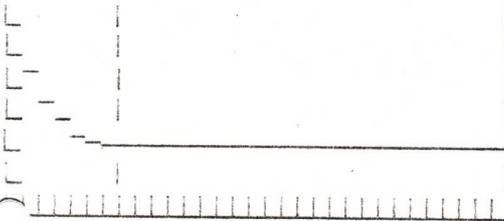
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -1 KJ  
RP = 0 KW  
QI-Q0 = 179996 KJ



STEP 144  
TIME 4320 SEK  
T MAX 40 GRAD

T(0) = 30.02 GRAD  
QL = 216015 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3153615 KJ

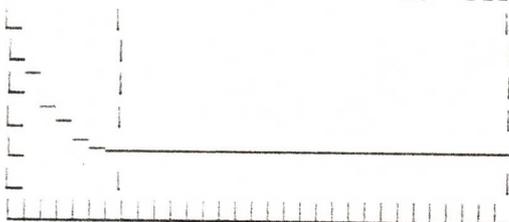
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -1 KJ  
RP = 0 KW  
QI-Q0 = 216015 KJ



STEP 168  
TIME 5040 SEK  
T MAX 40 GRAD

T(0) = 31.99 GRAD  
QL = 252039 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3189639 KJ

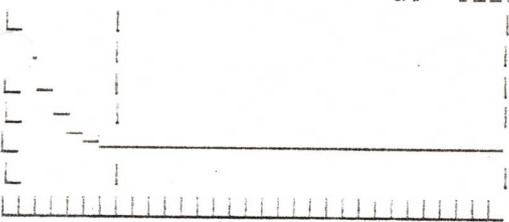
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -1 KJ  
RP = 0 KW  
QI-Q0 = 252039 KJ



STEP 192  
TIME 5760 SEK  
T MAX 40 GRAD

T(0) = 33.83 GRAD  
QL = 288018 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3225619 KJ

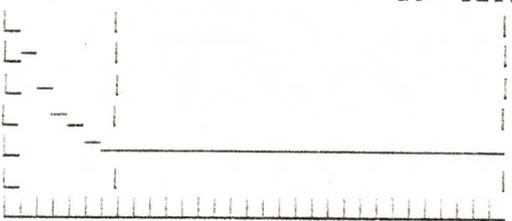
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -1 KJ  
RP = 0 KW  
QI-Q0 = 288019 KJ



STEP 216  
TIME 6480 SEK  
T MAX 40 GRAD

T(0) = 35.55 GRAD  
QL = 324020 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3261620 KJ

T(UN) = 10 GRAD  
QR = -1 KJ  
RP = -1E-03 KW  
QI-Q0 = 324020 KJ



STEP 240  
TIME 7200 SEK  
T MAX 40 GRAD

T(0) = 37.17 GRAD  
QL = 360007 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3297606 KJ

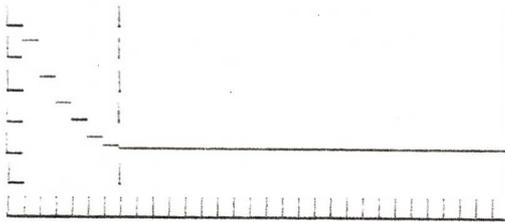
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -2 KJ  
RP = -2E-03 KW  
QI-Q0 = 360006 KJ



STEP 264  
TIME 7920 SEK  
T MAX 40 GRAD

T(0) = 38.7 GRAD  
QL = 395991 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3333587 KJ

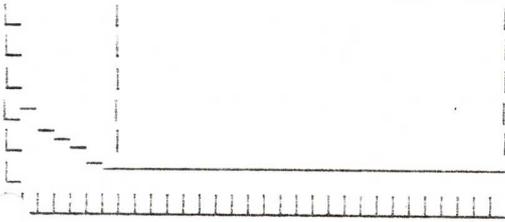
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -5 KJ  
RP = -6E-03 KW  
QI-Q0 = 395987 KJ



STEP 280  
TIME 8640 SEK  
T MAX 60 GRAD

T(0) = 40.16 GRAD  
QL = 431968 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3369558 KJ

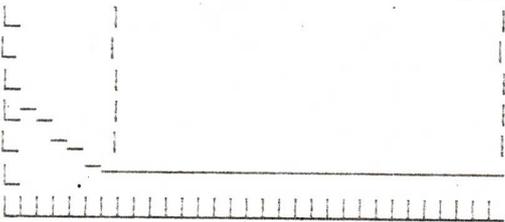
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -11 KJ  
RP = -.012 KW  
QI-Q0 = 431958 KJ



STEP 312  
TIME 9360 SEK  
T MAX 80 GRAD

T(0) = 41.54 GRAD  
QL = 467988 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3485566 KJ

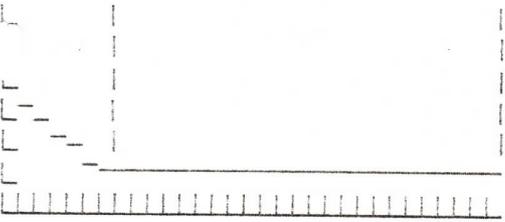
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -23 KJ  
RP = -.022 KW  
QI-Q0 = 467966 KJ



STEP 336  
TIME 10080 SEK  
T MAX 80 GRAD

T(0) = 42.85 GRAD  
QL = 503991 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3441547 KJ

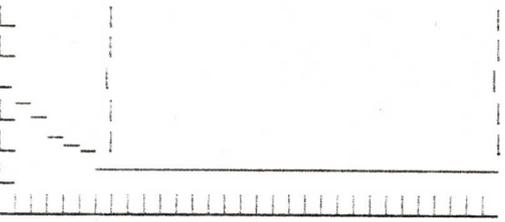
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -44 KJ  
RP = -.037 KW  
QI-Q0 = 503947 KJ



STEP 360  
TIME 10800 SEK  
T MAX 80 GRAD

T(0) = 44.1 GRAD  
QL = 539977 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3477588 KJ

T(UN) = 10 GRAD  
QR = -79 KJ  
RP = -.053 KW  
QI-Q0 = 539988 KJ



STEP 384  
TIME 11520 SEK  
T MAX 80 GRAD

T(0) = 45.29 GRAD  
QL = 575969 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3513437 KJ

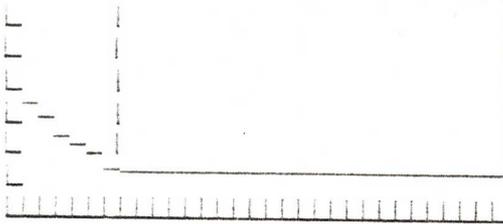
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -132 KJ  
RP = -.09 KW  
QI-Q0 = 575837 KJ



STEP 408  
TIME 12240 SEK  
T MAX 80 GRAD

T(0) = 46.43 GRAD  
QL = 611949 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3549339 KJ

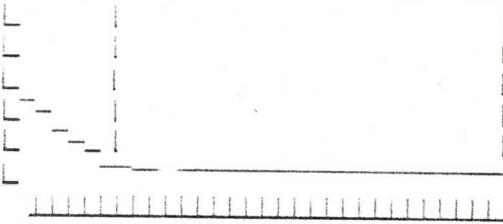
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -211 KJ  
RP = -.129 KW  
QI-Q0 = 611739 KJ



STEP 432  
TIME 12960 SEK  
T MAX 80 GRAD

T(0) = 47.52 GRAD  
QL = 647944 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3585223 KJ

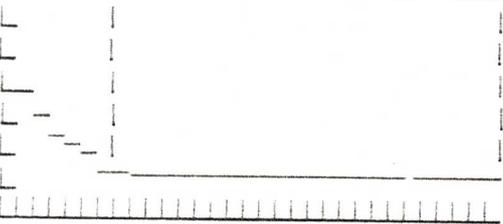
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -322 KJ  
RP = -.18 KW  
QI-Q0 = 647623 KJ



ZM NEUSTEP 456  
TIME 13680 SEK  
T MAX 80 GRAD

T(0) = 48.56 GRAD  
QL = 683946 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3621873 KJ

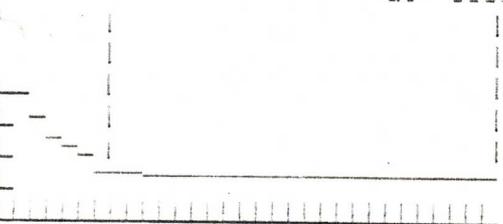
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -474 KJ  
RP = -.242 KW  
QI-Q0 = 683473 KJ



STEP 480  
TIME 14400 SEK  
T MAX 80 GRAD

T(0) = 49.56 GRAD  
QL = 719941 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3656866 KJ

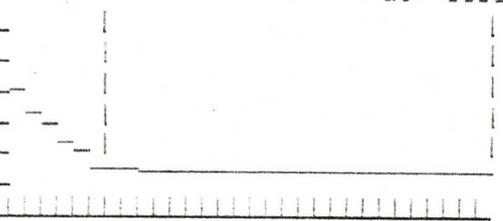
T(UN) = 10 GRAD  
QR = -676 KJ  
RP = -.317 KW  
QI-Q0 = 719266 KJ



STEP 504  
TIME 15120 SEK  
T MAX 80 GRAD

T(0) = 50.51 GRAD  
QL = 755956 KJ  
LP = 50 KW  
QI = 3692621 KJ

T(UN) = 10 GRAD  
QR = -936 KJ  
RP = -.485 KW  
QI-Q0 = 755021 KJ



### Beispiel III

Das dritte Beispiel vermag den anderen Arbeitsmodus des Programmes zu veranschaulichen. Im Gegensatz zu den Beispielen I u. II wird hier nicht von einer konstanten Wärmeleistung an den Körpergrenzen ausgegangen. Hier wird vorausgesetzt, daß die Randtemperaturen konstant sind. Konkret entspricht das Beispiel III in etwa der Aufheizung der Außenwand eines Hauses durch starke Sonneneinstrahlung. Es wird angenommen, daß die Sonne die Außenwand auf 65 Grad erwärmt. Die Wand habe zu Beginn (TIME 0 SEK) eine durchgehende Temperatur von 20 Grad. Wie unter II 5) dargelegt wurde, stellt sich bei gegebenen Randtemperaturen nach sehr langer Zeit ein definierter Endzustand ein. Man erkennt an der zweiten Graphik eindeutig, daß im "Endzustand" an den beiden Isolierschichten ein viel größer Teil des Temperaturunterschiedes abfällt, als am relativ gut leitenden Mauerwerk. Weiterhin kann man feststellen, daß nach über einer Stunde noch fast keine Erwärmung des eigentlichen Mauerwerkes zu verzeichnen ist. Um Risse zu verhindern, kann es also z.B. von Vorteil sein, eine Außenisolierung zu verwenden. Aus diesem Beispiel kann man weiterhin ablesen, daß eine auch erhebliche Schwankung der Außentemperatur nach über einer Stunde noch fast keinen Einfluß auf den Wärmemengenhaushalt im Inneren des Hauses hat ( $Q_L = -1 \text{ kJ}$ ). Die ganze, von außen aufgenommene Wärmeenergie wird während des Berechnungszeitraumes fast ausschließlich zu Erwärmung der Wand verbraucht, was man daran erkennt, daß  $Q_I - Q_O = Q_R$  gilt.

BEISPIEL III

ES WIRD DIE WAERMELEITUNG UNTER FOLGENDEN BEDINGUNGEN BETRACHTET.

LAENGE= .3 METER

FLAECHE= 1000 QUADRATMETER

UNTERTEILUNG 35

ZEITSCHRITT 30 SEK

MIND.GENAUIGKEIT .2

ANFANGSTEMPERATUR IM INNEREN 20 GRAD

DIE RANDTEMPERATUREN WERDEN KONSTANT GEHALTEN.

WK,DE,WL BIS ZUM 5 -TEN SEG. 2400 J/(KG\*K)

200 KG/M<sup>3</sup>

.047 W/(M\*K)

WK,DE,WL BIS ZUM 29 -TEN SEG. 920 J/(KG\*K)

1200 KG/M<sup>3</sup>

.52 W/(M\*K)

WK,DE,WL BIS ZUM 35 -TEN SEG. 2400 J/(KG\*K)

200 KG/M<sup>3</sup>

.047 W/(M\*K)

STEP 0

T(0)= 20 GRAD

T(UN)= 65 GRAD

TIME 0 SEK

QL= 0 KJ

QR= 0 KJ

T MAX 65 GRAD

LP= 0 KW

RP= 246.75 KW

QI= 5556000 KJ

QI-Q0= 0 KJ



ENDZUSTAND

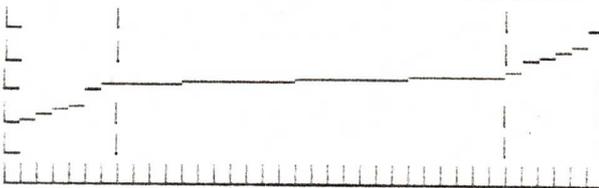
T MAX 65 GRAD

LP=-18.737 KW

RP= 18.737 KW

QI= 11080854 KJ

QI-Q0= 5524854 KJ



STEP 24

T(0)= 20 GRAD

T(UN)= 65 GRAD

TIME 720 SEK

QL= 0 KJ

QR= 125904 KJ

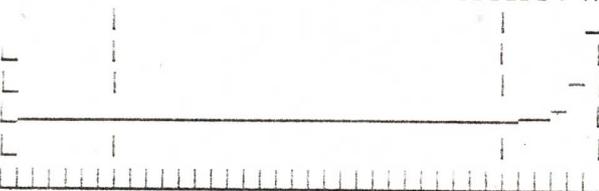
T MAX 65 GRAD

LP= 0 KW

RP= 130.908 KW

QI= 5681984 KJ

QI-Q0= 125904 KJ



STEP 48

T(0)= 20 GRAD

T(UN)= 65 GRAD

TIME 1440 SEK

QL= 0 KJ

QR= 205228 KJ

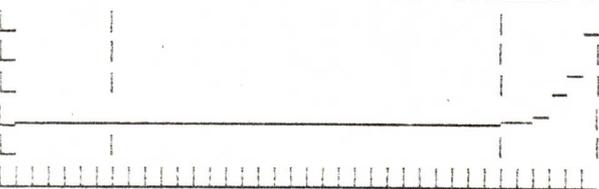
T MAX 65 GRAD

LP= 0 KW

RP= 96.056 KW

QI= 5761228 KJ

QI-Q0= 205228 KJ



STEP 72

T(0)= 20 GRAD

T(UN)= 65 GRAD

TIME 2160 SEK

QL= 0 KJ

QR= 267528 KJ

T MAX 65 GRAD

LP= 0 KW

RP= 79.289 KW

QI= 5823528 KJ

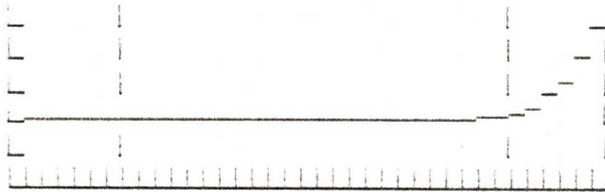
QI-Q0= 267528 KJ



STEP 96  
TIME 2800 SEK  
T MAX 65 GRAD

T(0) = 20 GRAD  
QL = 0 KJ  
LP = 0 KW  
QI = 5876520 KJ

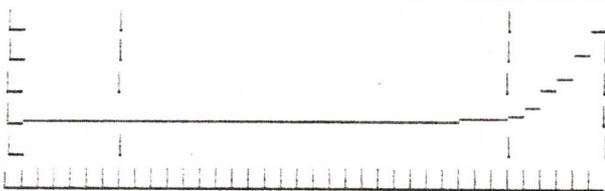
T(UN) = 65 GRAD  
QR = 320515 KJ  
RP = 65.049 KW  
QI-Q0 = 320520 KJ



STEP 120  
TIME 3600 SEK  
T MAX 65 GRAD

T(0) = 20 GRAD  
QL = 0 KJ  
LP = 0 KW  
QI = 5923459 KJ

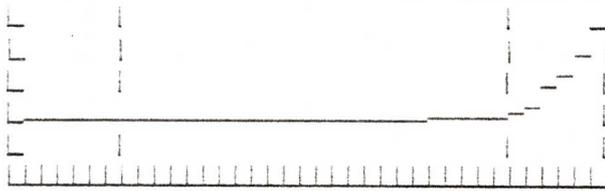
T(UN) = 65 GRAD  
QR = 367458 KJ  
RP = 62.025 KW  
QI-Q0 = 367455 KJ



STEP 144  
TIME 4320 SEK  
T MAX 65 GRAD

T(0) = 20 GRAD  
QL = -1 KJ  
LP = 0 KW  
QI = 5966103 KJ

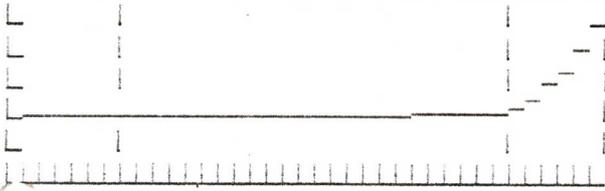
T(UN) = 65 GRAD  
QR = 410103 KJ  
RP = 56.895 KW  
QI-Q0 = 410103 KJ



STEP 168  
TIME 5040 SEK  
T MAX 65 GRAD

T(0) = 20 GRAD  
QL = -1 KJ  
LP = 0 KW  
QI = 6005549 KJ

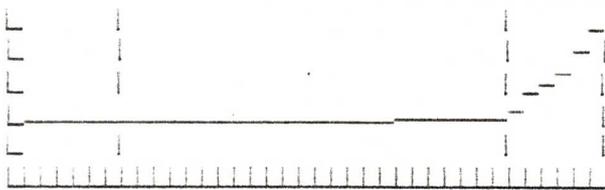
T(UN) = 65 GRAD  
QR = 449549 KJ  
RP = 53.01 KW  
QI-Q0 = 449549 KJ



STEP 192  
TIME 5760 SEK  
T MAX 65 GRAD

T(0) = 20 GRAD  
QL = -1 KJ  
LP = 0 KW  
QI = 6042545 KJ

T(UN) = 65 GRAD  
QR = 486544 KJ  
RP = 50.004 KW  
QI-Q0 = 486545 KJ



BREAK IN 1610  
READY.

#### Beispiel IV und V

Bei diesen beiden Beispielen liegt das Augenmerk auf dem Endzustand. Beide sollen den Temperaturverlauf in der Wand berechnen, wie er bei extremen Temperaturen im Sommer auftreten kann. In der Praxis, kann es von Bedeutung sein, verschiedene Wandkonstruktionen auf ihre Sommer- und Wintertauglichkeit hin zu untersuchen. So kann es sich als notwendig erweisen, festzustellen, welche Lage der Isolierung die günstigste ist, dazu wiederum ist eine genaue Kenntnis des zu erwartenden Temperaturverlaufes nötig; worüber die "Endzustände" Aufschluß geben. Um die Genauigkeit des Ausdruckes zu erhöhen, wurde bei diesen beiden Beispielen die "Koordinatenhöhe" 10 bzw. 15 gewählt. Bei diesen Beispielen ist wieder eindeutig zu erkennen, daß der größte Teil der Temperaturdifferenz an den Isolierschichten abfällt.

Bsp. V würde in etwa einem Mauerwerk mit Außenisolierung und davor angebrachtem Sichtmauerwerk entsprechen.

BEISPIEL IV

ES WIRD DIE WAERMELEITUNG UNTER FOLGENDEN BEDINGUNGEN BETRACHTET.

LAENGE= .3 METER

FLAECHE= 1800 QUADRATMETER

UNTERTEILUNG 45

ZEITSCHRITT 15 SEK

MIND.GEHAUIGKEIT .2

ANFANGSTEMPERATUR IM INNEREN 20 GRAD

DIE RANDTEMPERATUREN WERDEN KONSTANT GEHALTEN.

WK,DE,WL BIS ZUM 8 -TEN SEG. 2400 J/(KG\*K)

WK,DE,WL BIS ZUM 35 -TEN SEG. 920 J/(KG\*K)

WK,DE,WL BIS ZUM 45 -TEN SEG. 2400 J/(KG\*K)

200 KG/M<sup>3</sup>

1200 KG/M<sup>3</sup>

200 KG/M<sup>3</sup>

.047 W/(M\*K)

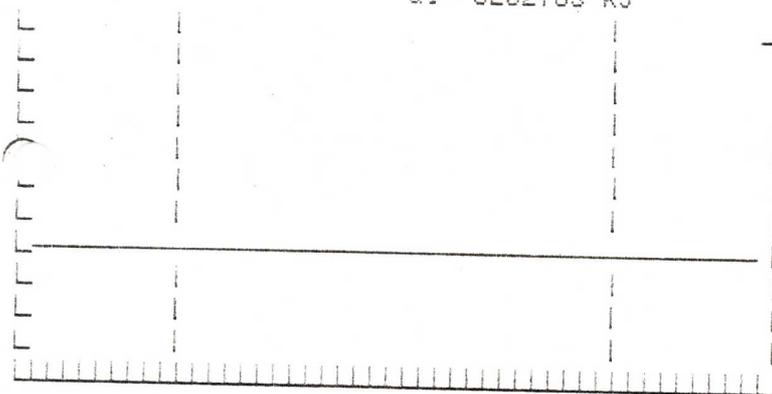
.52 W/(M\*K)

.047 W/(M\*K)

STEP 0  
TIME 0 SEK  
T MAX 60 GRAD

T(0)= 20 GRAD  
QL= 0 KJ  
LP= 0 KW  
QI= 5202783 KJ

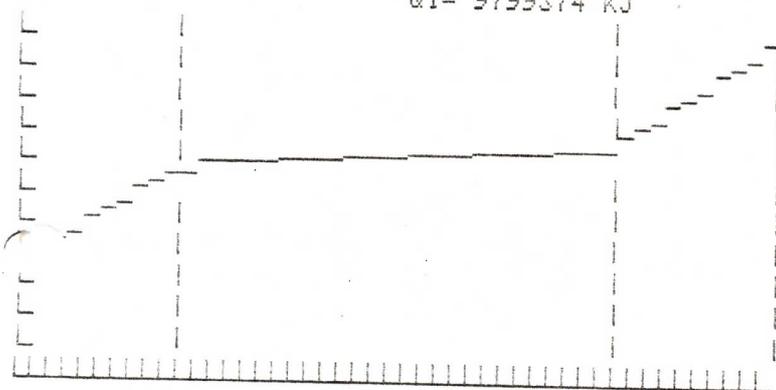
T(UN)= 60 GRAD  
QR= 0 KJ  
RP= 282 KW  
QI-Q0= 0 KJ



ENDZUSTAND  
T MAX 60 GRAD

LP=-13.796 KW  
QI= 9799374 KJ

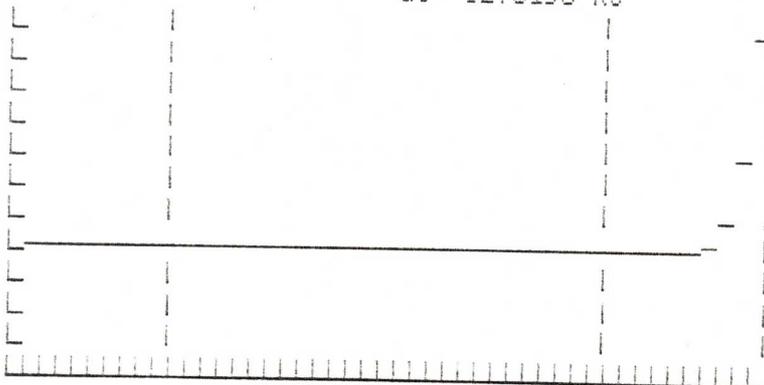
RP= 13.796 KW  
QI-Q0= 4596592 KJ



STEP 24  
TIME 360 SEK  
T MAX 60 GRAD

T(0)= 20 GRAD  
QL= 0 KJ  
LP= 0 KW  
QI= 5278198 KJ

T(UN)= 60 GRAD  
QR= 75415 KJ  
RP= 161.807 KW  
QI-Q0= 75415 KJ



BEISPIEL V

ES WIRD DIE WÄRMELEITUNG UNTER FOLGENDEN BEDINGUNGEN BETRACHTET.

LÄNGE= .3 METER

FLÄCHE= 500 QUADRATMETER

UNTERTEILUNG 60

ZEITSCHRITT 10 SEK

MIND.GENAUIGKEIT .2

ANFANGSTEMPERATUR IM INNEREN 15 GRAD

DIE RANDTEMPERATUREN WERDEN KONSTANT GEHALTEN.

WK,DE,WL BIS ZUM 45 -TEN SEG. 920 J/(KG\*K)

WK,DE,WL BIS ZUM 55 -TEN SEG. 2400 J/(KG\*K)

WK,DE,WL BIS ZUM 60 -TEN SEG. 920 J/(KG\*K)

1000 KG/M<sup>3</sup>

200 KG/M<sup>3</sup>

1200 KG/M<sup>3</sup>

.8 W/(M\*K)

.03 W/(M\*K)

.54 W/(M\*K)

STEP 0

TIME 0 SEK

T MAX 65 GRAD

T(0)= 20 GRAD

QL= 0 KJ

LP= 400 KW

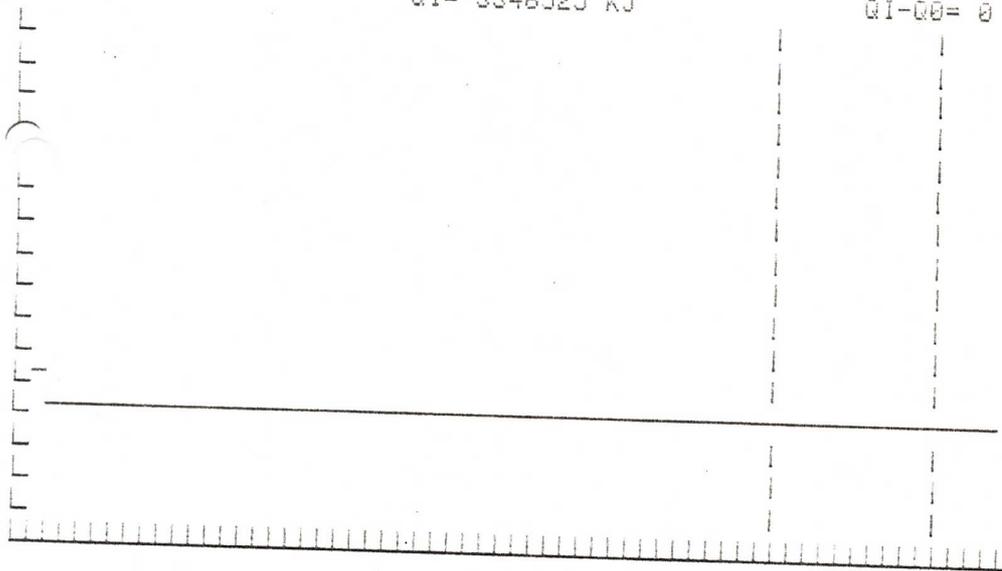
QI= 3346525 KJ

T(UN)= 65 GRAD

QR= 0 KJ

RP= 2700 KW

QI-Q0= 0 KJ



ENDZUSTAND

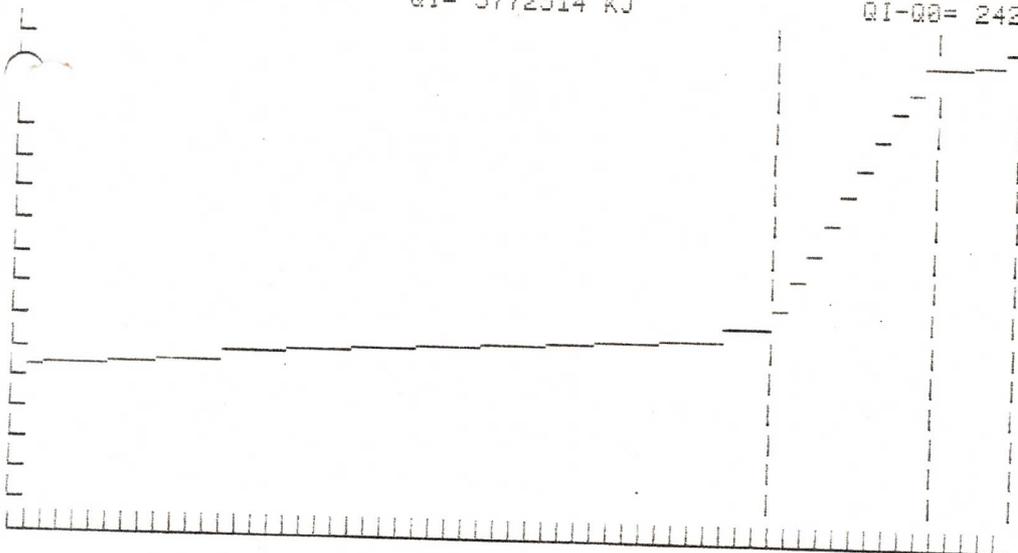
T MAX 65 GRAD

LP=-11.283 KW

QI= 5772514 KJ

RP= 11.283 KW

QI-Q0= 2425989 KJ



BREAK IN 1530  
READY.

Verwendete Hilfsmittel

1) Kleincomputer: "PET 2001"

einschl. : Dazugehörigen Drucker u. Bedienungs-  
handbuch

2) Literatur:

Horst Kuchling, Physik Formeln und Gesetze  
Leipzig 1977 <sup>14</sup>, VEB Fachbuchverlag Leipzig

Ich versichere, daß ich diese Arbeit selbständig  
gefertigt habe; die verwendete Literatur habe ich  
vollständig angegeben.

*Richard Schubert*

(Richard Schubert)