KSFE
2.Konferenz der SAS-Benutzer in Forschung und Entwicklung

Friedrich-Schiller-Universität JENA

26./27.Februar 1998

Tutorial

REPEATED MEASUREMENTS

Hanspeter Thöni
Erich Schumacher
Institut für Angewandte Mathematik und Statistik
Universität Hohenheim
D-70593 Stuttgart

thoeni@uni-hohenheim.de
schumach@uni-hohenheim.de

Repeated Measurement Designs.

Typische Beispiele : Wachstumskurven
Messungen in räumlichen Anordnungen

Messung der beobachteten Zielgrösse „*nicht destruktiv*" - jedes Versuchsobjekt (*Randomisations-Einheit*) kann wiederholt beobachtet werden.

Für die Zuordnung des Messzeitpunktes/räumlichen Beobachtungsortes ist *keine Randomisation* möglich.

Beispiele : Wachstumsversuche mit Teichlinse (*Lemna minor*)
Zielvariable ist die Gliederzahl von Kulturen in Glaskolben
Gezählt wird zu unterschiedlichen Zeitpunkten in denselben Kolben
Wachstumsbeobachtungen an Mastbullen
Zielvariable ist das Lebendgewicht der Tiere
Die Wägungen finden wöchentlich statt
Anbauversuche mit Mais und Zwischenkulturen
Zielvariable ist der Nitratgehalt im Boden in unterschiedlichen Distanzen von der Standreihe der Maispflanzen

Gegenbeispiele : Messung der Zielvariablen ist „*destruktiv*" - jede Versuchseinheit kann **nur einmal** beobachtet werden.
Die Auswahl der zu beobachtenden Versuchseinheit (*Randomisations-Einheit*") erfolgt zufällig, entsprechend einer geeigneten Randomisations-Struktur.

Beispiele : Wachstumsversuche mit Teichlinse (*Lemna minor*)
Zielvariable ist das Trockengewicht von Kulturen in Glaskolben
Für jede TG-Bestimmung wird eine neue Kultur gebraucht. Die Auswahl des Kolbens erfolgt *zufällig*.
Wachstumsbeobachtungen an Mastbullen
Zielvariable ist das Gewicht des Schlachtkörpers der Tiere.
Für jeden Schlachtkörper wird ein anderer Bulle benötigt.
Die Auswahl des Bullens erfolgt *zufällig*.

Gegenüberstellung ***Repeated Measurement - Spalt-Anlage (split-plot-design)*** :

Beispiel Grünland-Versuche.

Ernte 1.Schnitt / 2.Schnitt / 3.Schnitt auf **derselben** Parzelle
keine Randomisation ***repeated measurement***
Erste Ernte im Zeitpunkt 1 / Zeitpunkt 2 / Zeitpunkt 3 auf **verschiedenen** Parzellen
Randomisation der Parzellen für Zeitpunkte als Kleinparzellen innerhalb von Grossparzellen eines (mehr-)faktoriellen Versuchs ***Spalt-Anlage***

Beispiel Untersuchung des Nitrat-Stickstoffs im Boden bei Mais-Anbau mit Lupinen-Zwischensaat *(vgl. Beispiel 3)*.

Drei Faktoren (A : Lupinen-Zwischensaat, 2 Stufen, B : Mulch-Einarbeitung, 3 Stufen, C:Einarbeitungstermine, 2 Stufen) wurden als RCBD (4 Wiederholungen) **randomisiert** (12 Parzellen pro Block).
Zwei Faktoren (D : Position der Entnahmestelle für Bodenproben, 3 Stufen : in der Maisreihe, zwischen Mais- und Lupinenreihe, in der Lupinenreihe; E : Zeitpunkt der Probenahme, 4 Stufen : 30,60,90,150 Tage nach Aussaat) waren in jeder ABC-Parzelle angeordnet.
Für eine ***Spalt-Anlage*** wären dazu in jeder Grossparzelle 12 Kleinparzellen anzulegen gewesen, über welche die 12 Faktorenkomibationen DE zu randomisieren wären. Statt dessen wurden in jeder ABC-Parzelle drei Probestellen markiert, an denen die Proben zu den 4 Messzeitpunkten entnommen wurden. Eine **Randomisation innerhalb der Grossparzellen erfolgte nicht** : ***repeated measurement -Anlage*** .

Auswertung von repeated measurement designs.

1. *Elementarer Ansatz.*

Beispiel : Wachstumsversuche.
Teichlinsen-Versuche: der Logarithmus der Gliederzahl ändert sich linear mit der Zeit.
Neue Zielgrösse ist die **Steigung** der Regressionsgeraden.
Man berechnet für jede Kultur (*Randomisations-Einheit : Kulturkolben*) die Steigung und führt damit eine ANOVA durch, entsprechend der Versuchsanlage.

Bullen-Mast : Interessierende Zielgrösse ist der **Wachstumsverlauf** für verschiedene Herden.
Zielgrösse ist der **Vektor der Regressionskoeffizienten von Anpassungs-Polynomen** für jedes Individuum.
Man führt mit den Regressionskoeffizienten eine MANOVA durch.

2. *„Repeated measurement"-Ansatz.*

Voraussetzung : balancierte Daten.
Die T einem Individuum (*einer Randomisations-Einheit*) zugeordneten Beobachtungen bilden einen **T-dimensionalen Beobachtungsvektor**. Man führt mit diesen Beobachtungen eine MANOVA durch entsprechend der Prüfglied- und Randomisations-Struktur (***between individuals***), der Zeit-Effekt wird **innerhalb** der Beobachtungs-Vektoren untersucht (***within individuals***).
Hierfür bieten die Prozeduren **PROC ANOVA** und **PROC GLM** die Möglichkeit an, die within individuals Kontraste zu modellieren, bzw. für bestimmte Formen dieser Kontraste in der ***REPEATED***-Option vorgefertigte Funktionen zu verwenden.

AUSWERTUNG von LONGITUDINALEN DATEN : *MULTIVARIATER ANSATZ*.

Modell für *balancierte* Daten

$\underset{Tx1}{y_{ij}} = \underset{Txh}{X} \underset{hx1}{\beta_{ij}} + \underset{Tx1}{e_{ij}}$ lineares Regressionsmodell für das ij-te Individuum , $i=1,...,k'$, $j=1,...,n_i$

$\mathbf{b}_{ij} = (X'X)^{-1}X'\mathbf{y}_{ij} = M'\mathbf{y}_{ij}$ Vektor der h Regressionskoeffizienten für das ij-te „Individuum“
hx1 hxT Tx1

$\underset{N\times T}{Y}$ *N* Zeilenvektoren der Beobachtungen an *T* Zeitpunkten.

$\underset{N\times k'}{A}$ „Design-Matrix“ des Randomisationsplanes mit Spaltenrang $k \le k'$

$\underset{N\times T}{Y} = \underset{N\times k'}{A}\;\underset{k'\times T}{\Theta} + \underset{N\times T}{R}$ MANOVA-Modell entsprechend der Prüfglied- und Randomisationsstruktur

$\underset{N\times T}{R}$ Matrix der Residuen-Vektoren mit Kovarianzmatrix $\mathcal{E}\{\underset{T\times 1}{\mathbf{r}_{ij}}\underset{1\times T}{\mathbf{r}_{ij}'}\} = \underset{T\times T}{\Sigma}$

$\underset{k'\times T}{\Theta} = (A'A)^{-}A'Y$ k'xT - Matrix der Mittelwert-Vektoren der Prüfglieder an *T* Zeitpunkten

$\underset{N\times h}{B} = \underset{N\times T}{Y}\;\underset{T\times h}{M}$ Matrix der *N* h-dimensionalen Vektoren der Regressionskoeffizienten $\mathbf{b}_{ij}'$

$YM = A\Theta M + RM$ ***REPEATED MEASUREMENT*** - Modell

Hypothesen der allgemeinen Form

$$H_0 : L\Theta M = 0$$

L	Hypothesen-Matrix „zwischen Individuen“	Rang(L) = q ≤ k
M	Hypothesen-Matrix „innerhalb Individuen“	Rang(M) = p ≤ h ≤ T

$$\underset{h\times h}{H} = M'\Theta'L'(L(A'A)^{-}L')^{-1}L\Theta M = M'Y'A(A'A)^{-}L'(L(A'A)^{-}L')^{-1}L(A'A)^{-}A'YM$$

$$\underset{h\times h}{E} = M'[Y'(I - A(A'A)^{-}A')Y]M$$

Prüfgrössen

	Eigenwerte von	HE^{-1}	λ_l	$l = 1,\ldots,s$
	Eigenwerte von	$H(H + E)^{-1}$	ϑ_l	

Parameter der Prüfgrössen

$s = \min(p,q)$ $m = 0.5(|p-q| - 1)$ $n = 0.5(\nu_e - p - 1)$

$$\nu_e = N - k = N - \mathrm{Rang}(A)$$

---

3. *„Mixed-Model“-Ansatz.*

Eine Erweiterung des „Elementaren“ Ansatzes stellt die Zusammenfassung der individuellen Regressionsansätze zu einem *Gemischten Linearen Modell* dar, in welchem die individuel-

len Abweichungen der individuellen Modellparameter vom Mittelwert (Erwartungswert) der jeweiligen Prüfgliedgruppe als Zufallsvariable modelliert werden.
Die **PROC MIXED** bietet hierzu eine Fülle von Modellierungsmöglichkeiten an, sowohl was die Zufallseffekte betrifft, als auch die Form der Kovarianzstruktur der Residuen.

Beispiel 1 : Wachstum von Wasserlinsen *(Lemna minor)*
Programm

```
options nodate pagesize=60 linesize=80;
data lemna__0;
title1 'LONGITUDINALE DATEN';
title2 'Wachstum von Lemna minor (LOG10 Gliederzahl pro Kultur)';
footnote1 'H.THÖNI, Schweiz.landwirtsch.Forschung 9, 54-67 (1970)';
footnote2 'Daten : K.H.ERISMANN, Pflanzenphysiologisches Institut, Bern.';
do grp=1 to 5 ; do j=1 to 6; ind=10*grp+j;
input n1 n2 n3 @@; y1=log10(n1); y2=log10(n2); y3=log10(n3);
output; end; end; cards;
26 53 71  29 59 92  24 55 89  24 52 83  28 57 93  20 40 62
25 48 66  28 51 69  27 51 68  25 44 64  21 39 58  27 47 64
23 44 70  22 42 60  25 48 71  22 40 64  21 40 58  21 44 61
19 45 66  20 57 74  26 47 80  22 47 74  19 48 63  23 48 71
23 50 88  19 46 75  30 57 105 21 54 81  23 56 88  25 59 87
run;
proc sort;  by grp ind; run;
/*-----------LINEARE REGRESSION für jedes Individuum------------------------*/
data lemnareg; set lemna__0;
time0=1;
     y=y1; time1=1; output;
     y=y2; time1=5; output;
     y=y3; time1=7; output;
run;

PROC REG DATA=LEMNAREG NOPRINT OUTEST=REGKOEFF;
MODEL Y=TIME1;
BY GRP IND;
RUN;QUIT;

data lemna_cf; merge lemna__0 regkoeff;
RES_ERR = (_RMSE_)**2;
run;

proc print data=lemna_cf;
id grp; var ind n1 n2 n3 y1 y2 y3 intercep time1 res_err;
run;
quit;

/*-----------ANOVA mit individuellen Regressionskoeffizienten---------------*/

PROC GLM DATA=LEMNA_CF ;
CLASS         GRP       ;
MODEL TIME1 = GRP / SS1 ;
  MEANS GRP             ;
LSMEANS GRP / STDERR    ;
QUIT
```

Beispiel 1 : Wachstum von Wasserlinsen *(Lemna minor)*

```
                              LONGITUDINALE DATEN
            Wachstum von Lemna minor (LOG10 Gliederzahl pro Kultur)
```

GRP	IND	N1	N2	N3	Y1	Y2	Y3	INTERCEP	TIME1	RES_ERR
1	11	26	53	71	1.41497	1.72428	1.85126	1.34555	0.073373	.0002187
1	12	29	59	92	1.46240	1.77085	1.96379	1.37422	0.082643	.0004281
1	13	24	55	89	1.38021	1.74036	1.94939	1.28190	0.094174	.0002395
1	14	24	52	83	1.38021	1.71600	1.91908	1.28621	0.088974	.0003536
1	15	28	57	93	1.44716	1.75587	1.96848	1.35334	0.085501	.0009694
1	16	20	40	62	1.30103	1.60206	1.79239	1.21440	0.080946	.0004530
2	21	25	48	66	1.39794	1.68124	1.81954	1.32807	0.070347	.0000032
2	22	28	51	69	1.44716	1.70757	1.83885	1.38175	0.065256	.0000003
2	23	27	51	68	1.43136	1.70757	1.83251	1.36607	0.067171	.0000495
2	24	25	44	64	1.39794	1.64345	1.80618	1.32514	0.067088	.0004565
2	25	21	39	58	1.32222	1.59106	1.76343	1.24417	0.072631	.0004113
2	26	27	47	64	1.43136	1.67210	1.80618	1.36726	0.062143	.0000537
3	31	23	44	70	1.36173	1.64345	1.84510	1.27393	0.079114	.0010556
3	32	22	42	60	1.34242	1.62325	1.77815	1.26808	0.072276	.0000600
3	33	25	48	71	1.39794	1.68124	1.85126	1.31901	0.074878	.0002299
3	34	22	40	64	1.34242	1.60206	1.80618	1.25628	0.075524	.0015773
3	35	21	40	58	1.32222	1.60206	1.76343	1.24613	0.073024	.0001314
3	36	21	44	61	1.32222	1.64345	1.78533	1.24727	0.077631	.0001003
4	41	19	45	66	1.27875	1.65321	1.81954	1.19111	0.090629	.0001248
4	42	20	57	74	1.30103	1.75587	1.86923	1.21991	0.097416	.0037174
4	43	26	47	80	1.41497	1.67210	1.90309	1.32143	0.078914	.0029977
4	44	22	47	74	1.34242	1.67210	1.86923	1.25078	0.087033	.0002980
4	45	19	48	63	1.27875	1.68124	1.79934	1.20189	0.088744	.0019751
4	46	23	48	71	1.36173	1.68124	1.85126	1.27892	0.081344	.0000301
5	51	23	50	88	1.36173	1.69897	1.94448	1.25545	0.095295	.0016892
5	52	19	46	75	1.27875	1.66276	1.87506	1.17695	0.098901	.0001178
5	53	30	57	105	1.47712	1.75587	2.02119	1.37145	0.087679	.0045315
5	54	21	54	81	1.32222	1.73239	1.90849	1.22796	0.098401	.0002402
5	55	23	56	88	1.36173	1.74819	1.94448	1.26424	0.097053	.0000027
5	56	25	59	87	1.39794	1.77085	1.93952	1.30979	0.090687	.0000904

```
                         General Linear Models Procedure
                             Class Level Information

                           Class    Levels    Values
                           GRP           5    1 2 3 4 5
                     Number of observations in data set = 30

Dependent Variable: TIME1
Source                 DF          Sum of Squares           Mean Square   F Value     Pr > F

Model                   4              0.00269736            0.00067434     24.75     0.0001
Error                  25              0.00068105            0.00002724
Corrected Total        29              0.00337841

                         Level of       ------------TIME1------------
                         GRP        N       Mean              SD

                         1          6     0.08426830       0.00712975
                         2          6     0.06743948       0.00369937
                         3          6     0.07540797       0.00262545
                         4          6     0.08734670       0.00665376
                         5          6     0.09466945       0.00453053
```

Beispiel 1 : Wachstum von Wasserlinsen *(Lemna minor) (Forts.)*

```
/*-----------REPEATED MEASUREMENT ANALYSE mit M=XC--------------------------*/
```

```
PROC ANOVA DATA=LEMNA_CF    ;
CLASS            GRP       ;
MODEL Y1 Y2 Y3 = GRP / NOUNI;
MANOVA H=GRP M= (-0.178571  0.0357143  0.1428571 ) prefix=slope    / printh printe;
REPEATED TIME 3 (1 5 7) POLYNOMIAL / PRINTM SUMMARY;
QUIT;
```

```
                                  LONGITUDINALE DATEN
            Wachstum von Lemna minor (LOG10 Gliederzahl pro Kultur)

                        Analysis of Variance Procedure
                           Class Level Information
                         Class    Levels    Values
                         GRP           5    1 2 3 4 5
                   Number of observations in data set = 30

                    Multivariate Analysis of Variance
                  M Matrix Describing Transformed Variables
                              Y1                Y2                Y3
          SLOPE1         -0.178571         0.0357143         0.1428571

                            E = Error SS&CP Matrix
                                          SLOPE1
                           SLOPE1      0.0006810457

                        H = Anova SS&CP Matrix for GRP
                                          SLOPE1
                           SLOPE1       0.002697359

           Characteristic Roots and Vectors of: E Inverse * H, where
            H = Anova SS&CP Matrix for GRP   E = Error SS&CP Matrix
                Variables have been transformed by the M Matrix
         Characteristic   Percent        Characteristic Vector  V'EV=1
              Root
                                                 SLOPE1
             3.96061376    100.00           38.31879766

                Manova Test Criteria and Exact F Statistics for
                    the Hypothesis of no Overall GRP Effect
            on the variables defined by the M Matrix Transformation
            H = Anova SS&CP Matrix for GRP   E = Error SS&CP Matrix
                              S=1    M=1    N=11.5
  Statistic                     Value          F      Num DF    Den DF  Pr > F

  Wilks' Lambda              0.20158796    24.7538     4          25   0.0001
  Pillai's Trace             0.79841204    24.7538     4          25   0.0001
  Hotelling-Lawley Trace     3.96061376    24.7538     4          25   0.0001
  Roy's Greatest Root        3.96061376    24.7538     4          25   0.0001
```

```
                                  LONGITUDINALE DATEN
                    Wachstum von Lemna minor (LOG10 Gliederzahl pro Kultur)

                                Analysis of Variance Procedure
                                   Class Level Information
                          Class    Levels    Values
                          GRP           5    1 2 3 4 5
                            Number of observations in data set = 30


                              Repeated Measures Level Information

                Dependent Variable         Y1        Y2        Y3
                     Level of TIME          1         5         7

         TIME.N represents the nth degree polynomial contrast for TIME

                   M Matrix Describing Transformed Variables
                                Y1                Y2                Y3
                      TIME.1      -.7715167498      0.1543033500      0.6172133998
                      TIME.2      0.2672612419      -.8017837257      0.5345224838

                   Analysis of Variance of Contrast Variables

         TIME.N represents the nth degree polynomial contrast for TIME

Contrast Variable: TIME.1

Source                  DF         Anova SS     Mean Square   F Value     Pr > F

MEAN                     1       3.74951160      3.74951160   7373.43     0.0001
GRP                      4       0.05035077      0.01258769     24.75     0.0001
Error                   25       0.01271291      0.00050852

Contrast Variable: TIME.2

Source                  DF         Anova SS     Mean Square   F Value     Pr > F

MEAN                     1       0.00273983      0.00273983      3.90     0.0594
GRP                      4       0.00230702      0.00057675      0.82     0.5240
Error                   25       0.01755951      0.00070238
```

H.THÖNI, Schweiz.landwirtsch.Forschung 9, 54-67 (1970)
Daten : K.H.ERISMANN, Pflanzenphysiologisches Institut, Universität Bern.

Beispiel 2 : Wachstum von Stierkälbern

Programm

```
options nodate pagesize=63 linesize=80;
proc format;
        value herde 1='WITZWIL    '
                    2='BELLECHASSE';
data bulldat0;
```

```
title1 'LONGITUDINALE DATEN';
title2 'Gewichte von Stierkälbern von zwei Herden in kg';
footnote 'H.THÖNI, Schweiz.landwirtsch.Forschung 10, 374-391 (1971)';
input grp   n ; format grp herde. ;
  do ind = 1 to n;
input  y1 y2 y3 y4 y5 y6;
output;end;
cards;
1 12
  47  78 173 237 330 424
  39  95 180 285 333 517
  48  86 140 240 328 394
  45 104 180 319 427 499
  47  94 177 283 385 495
  38  83 155 230 350 423
  44  78 142 236 333 423
  46  80 153 256 354 446
  45  84 153 273 365 477
  48  75 118 200 323 449
  49  98 187 283 379 471
  51 101 183 297 370 463
2 15
  40  96 170 273 354 479
  45 108 154 168 255 356
  38  98 177 251 320 425
  44  95 147 220 291 413
  53  99 166 225 316 433
  39 108 181 290 355 452
  48 127 220 308 403 500
  52  93 165 260 307 465
  38 100 175 260 367 427
  43  94 170 293 371 460
  49 105 166 229 325 481
  40  96 163 239 323 477
  40 100 190 261 351 448
  42 127 186 265 373 443
  50 109 176 278 362 459
run;
 /*------------------Regression (Polynom 3.Grades) für jedes Individuum------*/
data bulldat1; set bulldat0;
     y=y1; age0=1; age1=0; age2=age1**2; age3=age1**3; output;
     y=y2; age0=1; age1=1; age2=age1**2; age3=age1**3; output;
     y=y3; age0=1; age1=2; age2=age1**2; age3=age1**3; output;
     y=y4; age0=1; age1=3; age2=age1**2; age3=age1**3; output;
     y=y5; age0=1; age1=4; age2=age1**2; age3=age1**3; output;
     y=y6; age0=1; age1=5; age2=age1**2; age3=age1**3; output;
run;
      PROC reg DATA=BULLDAT1 noprint outest=regout_1;
      MODEL Y = age1 age2 age3 ;
      by grp ind;
      QUIT;
data bullcf; merge bulldat0 regout_1;
proc print;
id grp; var ind y1 y2 y3 y4 y5 y6 intercep age1 age2 age3 ;
run;
```

Beispiel 2 : Wachstum von Stierkälbern.

```
                              LONGITUDINALE DATEN
                    Gewichte von Stierkälbern von zwei Herden in kg
```

GRP	IND	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	INTERCEP	AGE1	AGE2	AGE3
WITZWIL	1	47	78	173	237	330	424	43.6429	32.7500	14.8571	-1.25000
WITZWIL	2	39	95	180	285	333	517	33.1270	86.3201	-12.3254	2.81481
WITZWIL	3	48	86	140	240	328	394	49.9683	2.2116	30.2063	-3.37037
WITZWIL	4	45	104	180	319	427	499	47.7302	9.8942	41.4325	-5.06481
WITZWIL	5	47	94	177	283	385	495	46.3175	29.0265	22.3294	-2.04630
WITZWIL	6	38	83	155	230	350	423	39.6349	19.4339	22.8730	-2.25926
WITZWIL	7	44	78	142	236	333	423	44.5317	8.1574	25.8294	-2.46296
WITZWIL	8	46	80	153	256	354	446	45.9524	6.8889	29.8810	-3.05556
WITZWIL	9	45	84	153	273	365	477	44.9365	12.0185	28.0913	-2.65741
WITZWIL	10	48	75	118	200	323	449	50.1032	0.6336	18.6508	-0.54630
WITZWIL	11	49	98	187	283	379	471	47.8730	34.8466	21.0754	-2.23148
WITZWIL	12	51	101	183	297	370	463	49.6429	33.7976	22.5714	-2.58333
BELLECHASSE	1	40	96	170	273	354	479	38.7460	51.5503	8.2579	-0.21296
BELLECHASSE	2	45	108	154	168	255	356	45.4444	85.4418	-26.3175	4.35185
BELLECHASSE	3	38	98	177	251	320	425	35.7460	70.6931	-2.5992	0.78704
BELLECHASSE	4	44	95	147	220	291	413	43.2937	56.0780	-4.8730	1.67593
BELLECHASSE	5	53	99	166	225	316	433	51.7222	52.6971	-2.0159	1.34259
BELLECHASSE	6	39	108	181	290	355	452	38.4921	60.9577	8.8730	-0.92593
BELLECHASSE	7	48	127	220	308	403	500	47.3095	78.9484	3.4167	-0.22222
BELLECHASSE	8	52	93	165	260	307	465	47.1984	60.4749	-4.3254	1.73148
BELLECHASSE	9	38	100	175	260	367	427	39.9762	36.8611	20.4405	-2.44444
BELLECHASSE	10	43	94	170	293	371	460	42.8254	25.2593	27.5635	-3.20370
BELLECHASSE	11	49	105	166	229	325	481	47.7778	71.9101	-14.1270	3.40741
BELLECHASSE	12	40	96	163	239	323	477	37.9603	71.2765	-10.3135	2.70370
BELLECHASSE	13	40	100	190	261	351	448	38.1349	65.1839	3.3730	-0.00926
BELLECHASSE	14	42	127	186	265	373	443	45.8810	65.6389	4.4524	-0.30556
BELLECHASSE	15	50	109	176	278	362	459	50.5079	42.9947	13.9127	-1.24074

```
/*--------MANOVA mit den Regressionskoeffizienten der Polynome 3.Grades------*/

title3 'MANOVA mit Regressionskoeffizienten der individuellen Polynome 3.Grades';
      dm  "zoom off; pgm; log; output" output;
      PROC ANOVA DATA=BULLCF ORDER=DATA;
      CLASS GRP;
      MODEL INTERCEP AGE1 AGE2 AGE3  = GRP / NOUNI;
         MEANS GRP ;
         MANOVA H=GRP    / PRINTH PRINTE ;
      QUIT;

      PROC ANOVA DATA=BULLCF ORDER=DATA;
      CLASS GRP;
      MODEL          AGE1 AGE2 AGE3  = GRP / NOUNI;
         MANOVA H=GRP    / PRINTH PRINTE ;
      QUIT;
```

Beispiel 2 : Wachstum von Stierkälbern.

```
                              LONGITUDINALE DATEN
               Gewichte von Stierkälbern von zwei Herden in kg
    MANOVA mit Regressionskoeffizienten der individuellen Polynome 3.Grades
```

```
                       Analysis of Variance Procedure
                          Class Level Information

                   Class    Levels    Values
                   GRP           2    WITZWIL BELLECHASSE
                  Number of observations in data set = 27


                MANOVA mit allen vier Koeffizienten des Polynoms 3.Grades

              Manova Test Criteria and Exact F Statistics for
                  the Hypothesis of no Overall GRP Effect
          H = Anova SS&CP Matrix for GRP   E = Error SS&CP Matrix

                             S=1    M=1    N=10

  Statistic                    Value          F      Num DF    Den DF  Pr > F

  Wilks' Lambda             0.46354351     6.3651         4        22  0.0015
  Pillai's Trace            0.53645649     6.3651         4        22  0.0015
  Hotelling-Lawley Trace    1.15729481     6.3651         4        22  0.0015
  Roy's Greatest Root       1.15729481     6.3651         4        22  0.0015

      MANOVA mit den Koeffizienten des linearen, quadratischen und kubischen Glieds

              Manova Test Criteria and Exact F Statistics for
                  the Hypothesis of no Overall GRP Effect
          H = Anova SS&CP Matrix for GRP   E = Error SS&CP Matrix

                           S=1    M=0.5    N=10.5

  Statistic                    Value          F      Num DF    Den DF  Pr > F

  Wilks' Lambda             0.46975985     8.6537         3        23  0.0005
  Pillai's Trace            0.53024015     8.6537         3        23  0.0005
  Hotelling-Lawley Trace    1.12874727     8.6537         3        23  0.0005
  Roy's Greatest Root       1.12874727     8.6537         3        23  0.0005
```

Beispiel 2 : Wachstum von Stierkälbern.

```
/*--------MANOVA mit den M-transformierten Beobachtungen--------------------*/

title3 'MANOVA mit M-transformierten Beobachtungen';
      PROC ANOVA DATA=BULLDATO ORDER=DATA;
```

```
CLASS GRP;
MODEL Y1-Y6 = GRP / NOUNI;
   MANOVA H=GRP    M= (
          0.9603175 0.1269841 -0.111111  -0.031746  0.0873016 -0.031746 ,
         -1.223545  0.8915344  0.8359788 -0.121693 -0.712963   0.3306878,
          0.4365079 -0.503968 -0.349206   0.2063492 0.468254  -0.257937 ,
         -0.046296  0.0648148  0.037037  -0.037037 -0.064815   0.0462963)
         mnames=constant linear quadrat cubic ;
   MANOVA H=GRP    M= (
         -1.223545  0.8915344  0.8359788 -0.121693 -0.712963   0.3306878,
          0.4365079 -0.503968 -0.349206   0.2063492 0.468254  -0.257937 ,
         -0.046296  0.0648148  0.037037  -0.037037 -0.064815   0.0462963)
         mnames=         linear quadrat cubic ;
QUIT;
```

```
                              LONGITUDINALE DATEN
                Gewichte von Stierkälbern von zwei Herden in kg
                   MANOVA mit M-transformierten Beobachtungen

                         Analysis of Variance Procedure
                            Class Level Information
                     Class    Levels    Values
                     GRP           2    WITZWIL BELLECHASSE
                    Number of observations in data set = 27

                   M Matrix Describing Transformed Variables

                  Y1          Y2          Y3          Y4          Y5          Y6

CONSTANT   0.9603175   0.1269841   -0.111111   -0.031746   0.0873016   -0.031746
LINEAR     -1.223545   0.8915344   0.8359788   -0.121693   -0.712963   0.3306878
QUADRAT    0.4365079   -0.503968   -0.349206   0.2063492    0.468254   -0.257937
CUBIC      -0.046296   0.0648148    0.037037   -0.037037   -0.064815   0.0462963

                Manova Test Criteria and Exact F Statistics for
                    the Hypothesis of no Overall GRP Effect
            on the variables defined by the M Matrix Transformation
            H = Anova SS&CP Matrix for GRP   E = Error SS&CP Matrix

                               S=1    M=1    N=10

  Statistic                      Value          F      Num DF    Den DF  Pr > F

  Wilks' Lambda              0.46354319     6.3651         4        22  0.0015
  Pillai's Trace             0.53645681     6.3651         4        22  0.0015
  Hotelling-Lawley Trace     1.15729627     6.3651         4        22  0.0015
  Roy's Greatest Root        1.15729627     6.3651         4        22  0.0015
```

Beispiel 2 : Wachstum von Stierkälbern.

```
                   M Matrix Describing Transformed Variables

                 Y1          Y2          Y3          Y4          Y5          Y6
```

LINEAR	-1.223545	0.8915344	0.8359788	-0.121693	-0.712963	0.3306878
QUADRAT	0.4365079	-0.503968	-0.349206	0.2063492	0.468254	-0.257937
CUBIC	-0.046296	0.0648148	0.037037	-0.037037	-0.064815	0.0462963

Manova Test Criteria and Exact F Statistics for
the Hypothesis of no Overall GRP Effect
on the variables defined by the M Matrix Transformation
H = Anova SS&CP Matrix for GRP   E = Error SS&CP Matrix

S=1   M=0.5   N=10.5

Statistic	Value	F	Num DF	Den DF	Pr > F
Wilks' Lambda	0.46975955	8.6537	3	23	0.0005
Pillai's Trace	0.53024045	8.6537	3	23	0.0005
Hotelling-Lawley Trace	1.12874865	8.6537	3	23	0.0005
Roy's Greatest Root	1.12874865	8.6537	3	23	0.0005

H.THÖNI, Schweiz.landwirtsch.Forschung 10, 374-391 (1971)

Beispiel 3 : Fünf-faktorielle Versuchanlage mit zwei Faktoren als räumlich-zeitliche ‘repeated measurements’.

NITRAT-STICKSTOFF im BODEN bei MAIS-ANBAU mit LUPINEN-ZWISCHENSAAT

Prüfglieder : "*zwischen* den Parzellen"   abc = 12

```
         A zwei Bestandesdichten der Lupinen-Einsaat    a = 2
         B drei Stufen der Mulch-Einarbeitung           b = 3
         C zwei Einarbeitungstermine                    c = 2

         "innerhalb der Parzellen"                      de  = 12

         D drei Positionen der Mess-Stellen             d = 3
         E vier Zeitpunkte der Messung                  e = 4

Anlage der ABC-Parzellen als RCBD in vier Wiederholungen      r = 4
```

```
Title 'NITRAT-STICKSTOFF im BODEN bei MAIS-ANBAU mit LUPINEN-ZWISCHENSAAT';
footnote1 'Daten: Dr.Ernani Luiz AGNES, Inst.Pflanzenbau -340- 1989';
footnote2 'Dissertation Universität Hohenheim 1995';
options nodate pagesize=63 linesize=78;
data REP_RCBD;
INPUT a 1 b 2 c 3 rep 4 Y1-Y12;
cards;
1311 1.21 0.31 0.14 0.15 2.22 0.11 0.23 0.14 1.44 0.37 0.14 0.22
1312 1.55 0.17 0.17 0.18 2.21 0.18 0.21 0.13 1.30 0.41 0.29 0.19
1313 1.04 0.10 0.15 0.17 1.38 0.10 0.13 0.17 1.16 0.14 0.15 0.19
1314 0.95 0.14 0.22 0.14 1.52 0.15 0.20 0.14 1.05 0.39 0.28 0.16
1321 1.70 0.16 0.10 0.19 2.36 0.18 0.17 0.42 1.25 0.39 1.19 0.37
1322 1.59 0.16 0.17 0.16 2.08 0.16 0.20 0.36 1.36 0.44 1.14 0.68
1323 0.98 0.17 0.15 0.23 1.23 0.12 0.20 0.39 1.27 0.20 0.93 0.99
1324 1.88 0.14 0.29 0.13 2.82 0.17 0.31 0.34 2.74 0.75 0.87 1.29
::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::
2311 1.18 0.21 0.14 0.05 1.27 0.23 0.19 0.04 0.72 0.58 0.27 0.10
2312 1.17 0.28 0.17 0.10 1.72 0.14 0.16 0.15 1.48 0.67 0.31 0.30
2313 2.03 0.14 0.17 0.19 2.58 0.14 0.21 0.19 1.06 0.42 0.24 0.23
2314 1.53 0.16 0.26 0.14 2.50 0.13 0.24 0.18 1.12 0.57 0.29 0.22
2321 1.09 0.14 0.11 0.26 1.97 0.11 0.22 0.70 0.64 0.22 0.98 0.75
2322 0.81 0.18 0.15 0.17 1.94 0.20 0.16 0.47 1.28 0.34 0.10 0.80
2323 1.22 0.11 0.17 0.12 1.47 0.13 0.19 0.36 1.17 1.22 1.20 0.57
2324 1.36 0.11 0.22 0.12 2.15 0.11 0.47 0.21 1.63 0.26 1.11 1.12
::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::
2111 1.23 0.17 0.09 0.15 1.70 0.11 0.16 0.21 1.89 0.37 0.15 0.22
2112 1.76 0.21 0.20 0.16 2.45 0.23 0.20 0.13 1.30 0.46 0.21 0.16
2113 0.65 0.17 0.17 0.21 2.11 0.18 0.16 0.22 1.41 0.31 0.27 0.23
2114 1.45 0.38 0.27 0.11 2.04 0.15 0.24 0.17 1.56 0.58 0.24 0.12
2121 1.29 0.19 0.22 0.09 1.22 0.18 0.19 0.11 0.69 0.25 0.39 0.11
2122 1.47 0.12 0.17 0.31 2.93 0.14 0.19 0.34 1.07 0.69 0.31 0.23
2123 1.27 0.20 0.22 0.12 1.60 0.19 0.19 0.22 0.93 0.35 0.33 0.28
2124 1.01 0.08 0.27 0.09 1.62 0.10 0.30 0.18 1.31 0.31 0.45 0.21
RUN;

PROC GLM;
class rep a b c;
model Y1-Y12 = rep A|B|C / nouni;
REPEATED POS 3 contrast(2), ZEIT 4 profile
   /  NOU SUMMARY printm;
QUIT;
```

Beispiel 3 : Fünf-faktorielle Versuchanlage mit zwei Faktoren als räumlich-zeitliche 'repeated measurements'.

NITRAT-STICKSTOFF im BODEN bei MAIS-ANBAU mit LUPINEN-ZWISCHENSAAT

L- und **M**'-Matrizen für die "between"- und "within"-Kontraste.

Haupt- und Wechselwirkungen "*zwischen* den Parzellen" : L-Matrix

Mittelwerte der Faktor-Kombinationen	y_{111}	y_{112}	y_{121}	y_{122}	y_{131}	y_{132}	y_{211}	y_{212}	y_{221}	y_{222}	y_{231}	y_{232}
A:Bestandesdichte			1						2			
B:Stufen der Mulcheinarbeitung	1		2		3		1		2		3	
C:Einarbeitungstermine	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Mittel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hauptwirkung A	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Hauptwirkung B	1	1	-1	-1	0	0	1	1	-1	-1	0	0
	1	1	0	0	-1	-1	1	1	0	0	-1	-1
Wechselwirkung A*B	1	1	-1	-1	0	0	-1	-1	1	1	0	0
	1	1	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1
Hauptwirkung C	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
Wechselwirkung A*C	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1
Wechselwirkung B*C	1	-1	-1	1	0	0	1	-1	-1	1	0	0
	1	-1	0	0	-1	1	1	-1	0	0	-1	1
Wechselwirkung A*B*C	1	-1	-1	1	0	0	-1	1	1	-1	0	0
	1	-1	0	0	-1	1	-1	1	0	0	1	-1

Haupt- und Wechselwirkungen "*innerhalb* der Parzellen" : M-Matrix

Beobachtungsvektor innerhalb der Faktor-Kombinationen	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_{11}	y_{12}
D:Positionen		1				2				3		
E:Zeitpunkt der Messung	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Mittel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hauptwirkung Position	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0
	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
Hauptwirkung Zeit	1	-1	0	0	1	-1	0	0	1	-1	0	0
	0	1	-1	0	0	1	-1	0	0	1	-1	0
	0	0	1	-1	0	0	1	-1	0	0	1	-1
Wechselwirkung Pos*Zeit	1	-1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
	0	1	-1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
	0	0	1	-1	0	0	-1	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	-1	1	0	0	1	-1	0	0
	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	1	-1	0
	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	1	-1

Beispiel 3 : Fünf-faktorielle Versuchanlage mit zwei Faktoren als räumlich-zeitliche 'repeated measurements'.

NITRAT-STICKSTOFF im BODEN bei MAIS-ANBAU mit LUPINEN-ZWISCHENSAAT

Prüfgrössen der multivariaten Tests zu LΘM

L	M	q	p	s	m	n	ν_1	ν_2	F	Q(F)
Hauptwirkungen und Wechselwirkungen für die Faktoren A,B,C										
A	(1)	1	1	1	-0.5	15.5	1	33	0.27	0.6042
B	(1)	2	1	1	0	15.5	2	33	4.54	0.0181
A*B	(1)	2	1	1	0	15.5	2	33	0.07	0.9337
C	(1)	1	1	1	-0.5	15.5	1	33	6.42	0.0162
A*C	(1)	1	1	1	-0.5	15.5	1	33	1.81	0.1878
B*C	(1)	2	1	1	0	15.5	2	33	3.72	0.0349
A*B*C	(1)	2	1	1	0	15.5	2	33	2.23	0.1235
Haupt- und Wechselwirkungen der Faktoren *Position* und *Zeit* und deren Wechselwirkungen mit den Faktoren A,B und C										
(1)	POS	1	2	1	0	15	2	32	108.42	0.0001
A	POS	1	2	1	0	15	2	32	1.24	0.3015
B	POS	2	2	2	-0.5	15	4	64	4.35	0.0036 [1)]
A*B	POS	2	2	2	-0.5	15	4	64	0.72	0.5838 [1)]
C	POS	1	2	1	0	15	2	32	9.87	0.0005
A*C	POS	1	2	1	0	15	2	32	0.77	0.4767
B*C	POS	2	2	2	-0.5	15	4	64	5.05	0.0013 [1)]
A*B*C	POS	2	2	2	-0.5	15	4	64	1.47	0.2233 [1)]
(1)	ZEIT	1	3	1	0.5	14.5	3	31	359.77	0.0001
A	ZEIT	1	3	1	0.5	14.5	3	31	0.89	0.4151
B	ZEIT	2	3	2	0	14.5	6	62	2.05	0.0718 [1)]
A*B	ZEIT	2	3	2	0	14.5	6	62	0.61	0.7222 [1)]
C	ZEIT	1	3	1	0.5	14.5	3	31	11.32	0.0001
A*C	ZEIT	1	3	1	0.5	14.5	3	31	0.83	0.4884
B*C	ZEIT	2	3	2	0	14.5	6	62	1.84	0.1056 [1)]
A*B*C	ZEIT	2	3	2	0	14.5	6	62	0.96	0.4569 [1)]
(1)	POS*ZEIT	1	6	1	2	13	6	28	27.23	0.0001
A	POS*ZEIT	1	6	1	2	13	6	28	1.25	0.3113
B	POS*ZEIT	2	6	2	1.5	13	12	56	1.11	0.3710 [1)]
A*B	POS*ZEIT	2	6	2	1.5	13	12	56	0.73	0.7201 [1)]
C	POS*ZEIT	1	6	1	2	13	6	28	6.65	0.0002
A*C	POS*ZEIT	1	6	1	2	13	6	28	0.44	0.8428
B*C	POS*ZEIT	2	6	2	1.5	13	12	56	1.95	0.0477 [1)]
A*B*C	POS*ZEIT	2	6	2	1.5	13	12	56	0.96	0.4976 [1)]

[1)] s = 2 : exakt für *WILK's* Λ

Quelle : Ernani Luiz AGNES, Dissertation Universität Hohenheim 1995