

Aufgabe: Berechnen Sie die Phänotypenverteilung für ein Gen mit 2 Allelen bis zur vierten Generation und zeigen Sie, daß die Entropie sowohl bei der intermediären als auch bei der dominant-rezessiven Vererbung zunimmt. Interpretieren Sie das Ergebnis.

Lösung: In der F0-Generation entfallen auf ein Elternpaar mit 2 verschiedenen Allelen 16 Elementarereignisse (siehe Tabelle 2). Jedes Elternpaar kann pro Elementarereignis maximal 4 verschiedene Genotypen hervorbringen. Diese 4 Genotypen können 6 verschiedene Paarungen bilden, von denen jede wiederum 4 Genotypen hervorbringen kann. Das ergibt in der F2-Generation 24 verschiedene Genotypen. Allgemein haben wir

$$z_n = 4p_{n-1} \quad \text{Genotypen bei} \quad p_n = \sum_{i=1}^{z_n-1} i = \frac{z_n(z_n-1)}{2} = \frac{z_n!}{2!(z_n-2)!}$$

Paarungen ohne Wiederholung in der nächsten Generation. Für $z_2 = 24$ ergeben sich in der F2-Generation 276 mögliche Paarungen mit je 4 Genotypen, also in der F3-Generation 1104 Phänotypen. Das sind 608856 mögliche Paarungen in der F3-Generation mit 2435424 Genotypen in der F4-Generation. In der Elterngeneration liegen mit einer Paarung $p_0 = 1$ insgesamt $z_0 = 2$ Genotypen vor. Zusammenfassend siehe Tabelle 1

n	z_n	p_n
0	2	1
1	4	6
2	24	276
3	1104	608856
4	2435424	2965643812176

Tabelle 1. Zahl der Genotypen und Kombinationen ohne Wiederholung für die ersten vier Generationen

Zur Grundgesamtheit siehe <http://www.manfredhiebl.de/Anthropologie/Grundgesamtheit.pdf> bzw. Tabelle 2

Nr.	e_{ijkl}		Nr.	e_{ijkl}
1	e_{1111}	$s \ s \ s \ s$	9	e_{2112}
2	e_{1112}	$s \ s \ s \ w$	10	e_{2121}
3	e_{1121}	$s \ s \ w \ s$	11	e_{2211}
4	e_{1211}	$s \ w \ s \ s$	12	e_{1222}
5	e_{2111}	$w \ s \ s \ s$	13	e_{2122}
6	e_{1122}	$s \ s \ w \ w$	14	e_{2212}
7	e_{1212}	$s \ w \ s \ w$	15	e_{2221}
8	e_{1221}	$s \ w \ w \ s$	16	e_{2222}

Tabelle 2. Verteilung der beiden Allele auf die Grundgesamtheit

Für ein System mit drei Ausprägungen, dem reinerbigen Zustand 1 mit zwei s -Allelen, dem mischerbigen Zustand 2 mit je einem s - und einem w -Allel und dem reinerbigen Zustand 3 mit zwei w -Allelen, lautet die Mischungsentropie

$$\Delta S = -k_B (x_1 \ln x_1 + x_2 \ln x_2 + x_3 \ln x_3),$$

wobei

$$x_1 = \frac{N_1}{N}, \quad x_2 = \frac{N_2}{N} \quad \text{und} \quad x_3 = \frac{N_3}{N}$$

die relativen Häufigkeiten sind und

$$N = \sum_{i=1}^3 N_i$$

die Summe der absoluten Häufigkeiten N_1 , N_2 und N_3 ist. Nach den Mendelschen Vererbungsregeln gibt es bezüglich der Gesamtzahl der Nachkommen in der F1-Generation pro Gen maximal 4 Möglichkeiten, so daß kein Elementarereignis öfter als viermal den gleichen Phänotyp aufweisen kann und die Summe der Phänotypen sich stets auf 4 beläuft, also

$$N = N_1 + N_2 + N_3 = 4.$$

Damit müssen sich die relativen Häufigkeiten zu Eins ergänzen, d.h.

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1.$$

In der n ten Generation ist

$$N = \sum_{i=1}^n N_i = z_n.$$

Sei $\Delta S_{i,j}$ die Mischungsentropie des j ten Elementarereignisses in der i ten Generation. Dann ergeben sich die Mittelwerte der Mischungsentropie durch Summation und Normierung über alle 16 Elementarereignisse:

$$\overline{\Delta S_i} = \frac{1}{16} \sum_{j=1}^{16} \Delta S_{i,j}.$$

Beim dominant-rezessiven Erbgang, der nur zwei Zustände kennt, dominant (1) und rezessiv (2), verhält es sich nicht anders. Tritt ein Gen in heterozygoter Form auf, so liegt es wegen des Übergewichts des Allels 1 in der Genkombination „dominant“ vor. Wegen $N_1 + N_2 = 4$ berechnen sich die relativen Nachkommenshäufigkeiten zu

$$x_1 = \frac{N_1}{4} \quad \text{und} \quad x_2 = 1 - \frac{N_1}{4},$$

wobei wieder $x_1 + x_2 = 1$ gilt. Die Mischungsentropie errechnet sich diesmal einfacher:

$$\Delta S = -k_B [x_1 \ln x_1 + (1 - x_1) \ln(1 - x_1)],$$

die Zahl der möglichen Elementarereignisse bleibt unverändert.

Die Verteilung der Phänotypen für die Generationen F0 bis F4 ist in den Tabellen 3-7 im Anhang für beide Vererbungsarten angegeben. Der Verlauf der Mischungsentropie ist für die beiden Vererbungsarten in Abbildung 1 dargestellt.

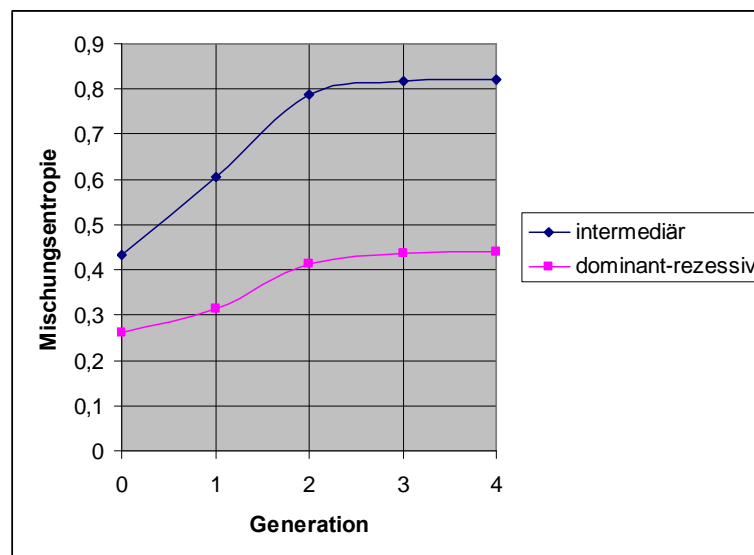


Abbildung 1. Zunahme der Mischungsentropie über 4 Generationen für den intermediären und den dominant-rezessiven Erbgang

Unabhängig von der Art der Vererbung nimmt die Entropie von Generation zu Generation zu. Nach etwa 4 Generationen hat die Entropie ihr Maximum nahezu erreicht. Der Verlauf der Entropie über alle Generationen und Elementarereignisse ist für die intermediäre Vererbung in Abbildung 2 und für die dominant-rezessive in Abbildung 3 dargestellt. Man erkennt als klaren Vorteil der dominant-rezessiven gegenüber der intermediären Vererbung das deutlich geringere Anwachsen der Entropie unter den Nachkommen. Dies wird an dem asymmetrischen Flächenverlauf sichtbar, der im Mittel zu dem qualitativ zwar recht ähnlichen, aber im Absolutbetrag doch deutlich niedrigeren Sättigungswert der mittleren Entropie in Abbildung 1 führt.

Eine Zunahme der Entropie mit jeder weiteren Generation bedeutet Entartung bzw. Degeneration, weil jede nachfolgende Kindgeneration stärker streut als die vorausgehende Elterngeneration. Sofern das betreffende Gen nicht zugleich selektiv wirksam ist, bedeutet das, daß es bei beiden Arten der Vererbung keine Evolution geben kann. Treffen also in einer Gründerpopulation zwei verschiedene Allele in annähernd gleichen Frequenzen aufeinander, stellt sich ein Mischungsverhältnis ein, bei dem am Ende jeder mögliche Phänotyp gleich stark vertreten ist. Das Allelverhältnis als solches wird durch die Vermischung nicht tangiert, es werden lediglich die Verhältnisse der Genotypen neu geordnet, wobei zuletzt ein etwa gleiches Verhältnis aus allen dreien resultiert.

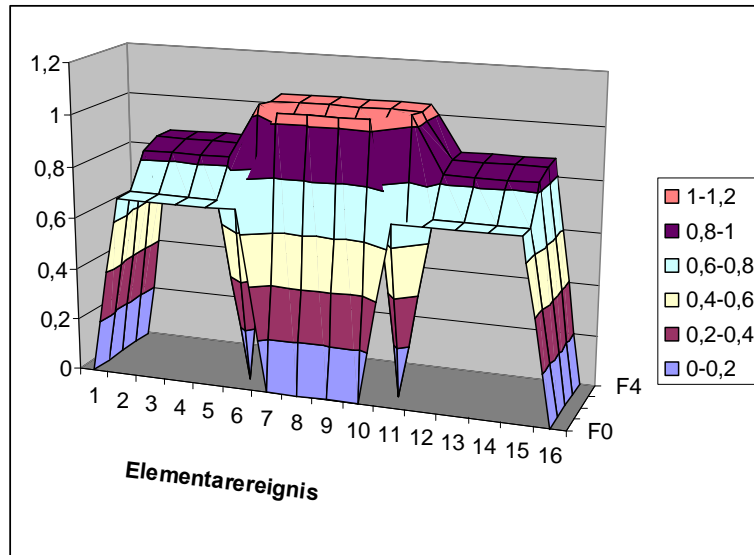


Abbildung 2. Entropieverteilung nach Elementarereignissen für die ersten 5 Generationen im Falle der intermediären Vererbung

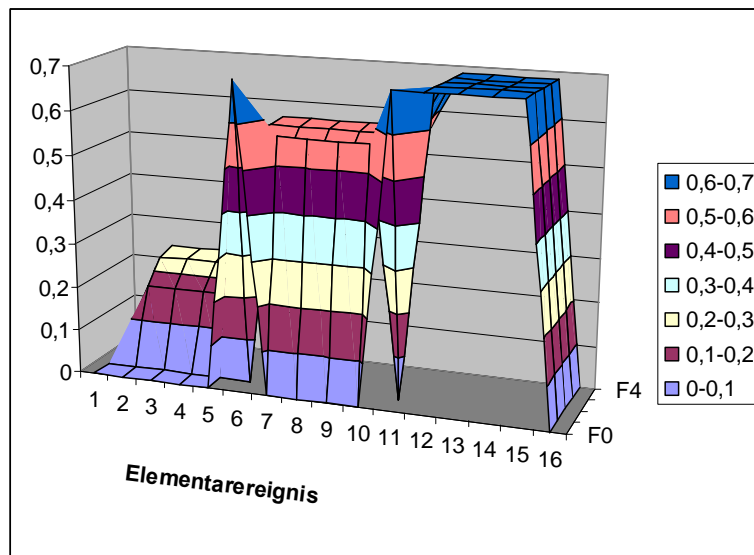


Abbildung 3. Entropieverteilung nach Elementarereignissen für die ersten 5 Generationen im Falle der dominant-rezessiven Vererbung

Anhang 1

e_{ijkl}	N_1	N_2	N_3	x_1	x_2	x_3	$\Delta S_{0,j}$
1	2	0	0	1	0	0	0
2	1	1	0	0,5	0,5	0	0,693
3	1	1	0	0,5	0,5	0	0,693
4	1	1	0	0,5	0,5	0	0,693
5	1	1	0	0,5	0,5	0	0,693
6	1	0	1	0,5	0	0,5	0,693
7	0	2	0	0	1	0	0
8	0	2	0	0	1	0	0
9	0	2	0	0	1	0	0
10	0	2	0	0	1	0	0
11	1	0	1	0,5	0	0,5	0,693
12	0	1	1	0	0,5	0,5	0,693
13	0	1	1	0	0,5	0,5	0,693
14	0	1	1	0	0,5	0,5	0,693
15	0	1	1	0	0,5	0,5	0,693
16	0	0	2	0	0	1	0
	0,5	1	0,5				0,433

e_{ijkl}	N_1	N_2	x_1	x_2	$\Delta S_{0,j}$
1	2	0	1	0	0
2	2	0	1	0	0
3	2	0	1	0	0
4	2	0	1	0	0
5	2	0	1	0	0
6	1	1	0,5	0,5	0,693
7	2	0	1	0	0
8	2	0	1	0	0
9	2	0	1	0	0
10	2	0	1	0	0
11	1	1	0,5	0,5	0,693
12	1	1	0,5	0,5	0,693
13	1	1	0,5	0,5	0,693
14	1	1	0,5	0,5	0,693
15	1	1	0,5	0,5	0,693
16	0	2	0	1	0
	1,5	0,5			0,260

Tabelle 3. Phänotypenverteilung und Entropie in der F0-Generation bei intermediärer und dominant-rezessiver Vererbung

e_{ijkl}	N_1	N_2	N_3	x_1	x_2	x_3	$\Delta S_{1,j}$	e_{ijkl}	N_1	N_2	x_1	x_2	$\Delta S_{1,j}$
1	4	0	0	1	0	0	0	1	4	0	1	0	0
2	2	2	0	0,5	0,5	0	0,693	2	4	0	1	0	0
3	2	2	0	0,5	0,5	0	0,693	3	4	0	1	0	0
4	2	2	0	0,5	0,5	0	0,693	4	4	0	1	0	0
5	2	2	0	0,5	0,5	0	0,693	5	4	0	1	0	0
6	0	4	0	0	1	0	0	6	4	0	1	0	0
7	1	2	1	0,25	0,5	0,25	1,040	7	3	1	0,75	0,25	0,562
8	1	2	1	0,25	0,5	0,25	1,040	8	3	1	0,75	0,25	0,562
9	1	2	1	0,25	0,5	0,25	1,040	9	3	1	0,75	0,25	0,562
10	1	2	1	0,25	0,5	0,25	1,040	10	3	1	0,75	0,25	0,562
11	0	4	0	0	1	0	0	11	4	0	1	0	0
12	0	2	2	0	0,5	0,5	0,693	12	2	2	0,5	0,5	0,693
13	0	2	2	0	0,5	0,5	0,693	13	2	2	0,5	0,5	0,693
14	0	2	2	0	0,5	0,5	0,693	14	2	2	0,5	0,5	0,693
15	0	2	2	0	0,5	0,5	0,693	15	2	2	0,5	0,5	0,693
16	0	0	4	0	0	1	0	16	0	4	0	1	0
	1	2	1				0,607		3	1			0,314

Tabelle 4. Phänotypenverteilung und Entropie in der F1-Generation bei intermediärer und dominant-rezessiver Vererbung

e_{ijkl}	N_1	N_2	N_3	x_1	x_2	x_3	$\Delta S_{2,j}$	e_{ijkl}	N_1	N_2	x_1	x_2	$\Delta S_{2,j}$
1	24	0	0	1	0	0	0	1	24	0	1	0	0
2	13	10	1	0,542	0,417	0,042	0,829	2	23	1	0,958	0,042	0,173
3	13	10	1	0,542	0,417	0,042	0,829	3	23	1	0,958	0,042	0,173
4	13	10	1	0,542	0,417	0,042	0,829	4	23	1	0,958	0,042	0,173
5	13	10	1	0,542	0,417	0,042	0,829	5	23	1	0,958	0,042	0,173
6	6	12	6	0,25	0,5	0,25	1,040	6	18	6	0,75	0,25	0,562
7	5	14	5	0,208	0,583	0,208	0,968	7	19	5	0,792	0,208	0,512
8	5	14	5	0,208	0,583	0,208	0,968	8	19	5	0,792	0,208	0,512
9	5	14	5	0,208	0,583	0,208	0,968	9	19	5	0,792	0,208	0,512
10	5	14	5	0,208	0,583	0,208	0,968	10	19	5	0,792	0,208	0,512
11	6	12	6	0,25	0,5	0,25	1,040	11	18	6	0,75	0,25	0,562
12	1	10	13	0,042	0,417	0,542	0,829	12	11	13	0,458	0,542	0,690
13	1	10	13	0,042	0,417	0,542	0,829	13	11	13	0,458	0,542	0,690
14	1	10	13	0,042	0,417	0,542	0,829	14	11	13	0,458	0,542	0,690
15	1	10	13	0,042	0,417	0,542	0,829	15	11	13	0,458	0,542	0,690
16	0	0	24	0	0	1	0	16	0	24	0	1	0
	7	10	7				0,787		17	7			0,414

Tabelle 5. Phänotypenverteilung und Entropie in der F2-Generation bei intermediärer und dominant-rezessiver Vererbung

e_{ijkl}	N_1	N_2	N_3	x_1	x_2	x_3	$\Delta S_{3,j}$	e_{ijkl}	N_1	N_2	x_1	x_2	$\Delta S_{3,j}$
1	1104	0	0	1	0	0	0	1	1104	0	1	0	0
2	617	422	65	0,559	0,382	0,059	0,860	2	1039	65	0,941	0,059	0,224
3	617	422	65	0,559	0,382	0,059	0,860	3	1039	65	0,941	0,059	0,224
4	617	422	65	0,559	0,382	0,059	0,860	4	1039	65	0,941	0,059	0,224
5	617	422	65	0,559	0,382	0,059	0,860	5	1039	65	0,941	0,059	0,224
6	270	564	270	0,245	0,511	0,245	1,040	6	834	270	0,755	0,245	0,556
7	271	562	271	0,245	0,509	0,245	1,033	7	833	271	0,755	0,245	0,557
8	271	562	271	0,245	0,509	0,245	1,033	8	833	271	0,755	0,245	0,557
9	271	562	271	0,245	0,509	0,245	1,033	9	833	271	0,755	0,245	0,557
10	271	562	271	0,245	0,509	0,245	1,033	10	833	271	0,755	0,245	0,557
11	270	564	270	0,245	0,511	0,245	1,040	11	834	270	0,755	0,245	0,556
12	65	422	617	0,059	0,382	0,559	0,860	12	487	617	0,441	0,559	0,686
13	65	422	617	0,059	0,382	0,559	0,860	13	487	617	0,441	0,559	0,686
14	65	422	617	0,059	0,382	0,559	0,860	14	487	617	0,441	0,559	0,686
15	65	422	617	0,059	0,382	0,559	0,860	15	487	617	0,441	0,559	0,686
16	0	0	1104	0	0	1	0	16	0	1104	0	1	0
	341	422	341				0,817		763	341			0,436

Tabelle 6. Phänotypenverteilung und Entropie in der F3-Generation bei intermediärer und dominant-rezessiver Vererbung

e_{ijkl}	N_1	N_2	N_3	x_1	x_2	x_3	$\Delta S_{4,j}$	e_{ijkl}	N_1	N_2	x_1	x_2	$\Delta S_{4,j}$
1	2435424	0	0	1	0	0	0	1	2435424	0	1	0	0
2	1369723	913690	152011	0,562	0,375	0,062	0,865	2	2283413	152011	0,938	0,062	0,234
3	1369723	913690	152011	0,562	0,375	0,062	0,865	3	2283413	152011	0,938	0,062	0,234
4	1369723	913690	152011	0,562	0,375	0,062	0,865	4	2283413	152011	0,938	0,062	0,234
5	1369723	913690	152011	0,562	0,375	0,062	0,865	5	2283413	152011	0,938	0,062	0,234
6	608586	1218252	608586	0,25	0,5	0,25	1,040	6	1826838	608586	0,75	0,25	0,562
7	608585	1218254	608585	0,25	0,5	0,25	1,040	7	1826839	608585	0,75	0,25	0,562
8	608585	1218254	608585	0,25	0,5	0,25	1,040	8	1826839	608585	0,75	0,25	0,562
9	608585	1218254	608585	0,25	0,5	0,25	1,040	9	1826839	608585	0,75	0,25	0,562
10	608585	1218254	608585	0,25	0,5	0,25	1,040	10	1826839	608585	0,75	0,25	0,562
11	608586	1218252	608586	0,25	0,5	0,25	1,040	11	1826838	608586	0,75	0,25	0,562
12	152011	913690	1369723	0,062	0,375	0,562	0,865	12	1065701	1369723	0,438	0,562	0,685
13	152011	913690	1369723	0,062	0,375	0,562	0,865	13	1065701	1369723	0,438	0,562	0,685
14	152011	913690	1369723	0,062	0,375	0,562	0,865	14	1065701	1369723	0,438	0,562	0,685
15	152011	913690	1369723	0,062	0,375	0,562	0,865	15	1065701	1369723	0,438	0,562	0,685
16	0	0	2435424	0	0	1	0	16	0	2435424	0	1	0
	760867	913690	760867				0,822		1674557	760867			0,441

Tabelle 7. Phänotypenverteilung und Entropie in der F4-Generation bei intermediärer und dominant-rezessiver Vererbung

Anhang 2

```
% F3-Generation
clear all
% Nullte Generation
p0 = 1;
% Erste Generation
z1 = 4*p0
p1 = z1/2*(z1-1)
% Zweite Generation
z2 = 4*p1
p2 = z2/2*(z2-1)
% Dritte Generation
z3 = 4*p2
p3 = z3/2*(z3-1)
% Vierte Generation
z4 = 4*p3
p4 = z4/2*(z4-1);

e = 2;

for i=1:p0
    if e == 1
        g(4*i-3) = 1;
        g(4*i-2) = 1;
        g(4*i-1) = 1;
        g(4*i) = 1;
    end
    if e == 2
        g(4*i-3) = 1;
        g(4*i-2) = 3;
        g(4*i-1) = 1;
        g(4*i) = 2;
    end
    if e == 3
        g(4*i-3) = 2;
        g(4*i-2) = 1;
        g(4*i-1) = 3;
        g(4*i) = 1;
    end
    if e == 4
        g(4*i-3) = 1;
        g(4*i-2) = 1;
        g(4*i-1) = 2;
        g(4*i) = 3;
    end
    if e == 5
        g(4*i-3) = 3;
        g(4*i-2) = 2;
```

```

    g(4*i-1) = 1;
    g(4*i) = 1;
end
if e(i) == 6
    g(4*i-3) = 2;
    g(4*i-2) = 3;
    g(4*i-1) = 3;
    g(4*i) = 2;
end
if e == 7
    g(4*i-3) = 1;
    g(4*i-2) = 3;
    g(4*i-1) = 2;
    g(4*i) = 4;
end
if e == 8
    g(4*i-3) = 2;
    g(4*i-2) = 1;
    g(4*i-1) = 4;
    g(4*i) = 3;
end
if e == 9
    g(4*i-3) = 3;
    g(4*i-2) = 4;
    g(4*i-1) = 1;
    g(4*i) = 2;
end
if e == 10
    g(4*i-3) = 4;
    g(4*i-2) = 2;
    g(4*i-1) = 3;
    g(4*i) = 1;
end
if e == 11
    g(4*i-3) = 3;
    g(4*i-2) = 2;
    g(4*i-1) = 2;
    g(4*i) = 3;
end
if e == 12
    g(4*i-3) = 2;
    g(4*i-2) = 3;
    g(4*i-1) = 4;
    g(4*i) = 4;
end
if e == 13
    g(4*i-3) = 4;
    g(4*i-2) = 4;
    g(4*i-1) = 3;
    g(4*i) = 2;

```

```

end
if e == 14
    g(4*i-3) = 3;
    g(4*i-2) = 4;
    g(4*i-1) = 2;
    g(4*i) = 4;
end
if e == 15
    g(4*i-3) = 4;
    g(4*i-2) = 2;
    g(4*i-1) = 4;
    g(4*i) = 3;
end
if e == 16
    g(4*i-3) = 4;
    g(4*i-2) = 4;
    g(4*i-1) = 4;
    g(4*i) = 4;
end
end
end

k = 1;
for i=1:z1-1
    for j = i+1:z1
        if (g(i) == 1) & (g(j) == 1)
            e(k) = 1;
        end
        if (g(i) == 1) & (g(j) == 2)
            e(k) = 2;
        end
        if (g(i) == 1) & (g(j) == 3)
            e(k) = 3;
        end
        if (g(i) == 1) & (g(j) == 4)
            e(k) = 6;
        end
        if (g(i) == 2) & (g(j) == 1)
            e(k) = 4;
        end
        if (g(i) == 2) & (g(j) == 2)
            e(k) = 7;
        end
        if (g(i) == 2) & (g(j) == 3)
            e(k) = 8;
        end
        if (g(i) == 2) & (g(j) == 4)
            e(k) = 12;
        end
        if (g(i) == 3) & (g(j) == 1)
            e(k) = 5;
        end
    end
end

```

```

end
if (g(i) == 3) & (g(j) == 2)
    e(k) = 9;
end
if (g(i) == 3) & (g(j) == 3)
    e(k) = 10;
end
if (g(i) == 3) & (g(j) == 4)
    e(k) = 13;
end
if (g(i) == 4) & (g(j) == 1)
    e(k) = 11;
end
if (g(i) == 4) & (g(j) == 2)
    e(k) = 14;
end
if (g(i) == 4) & (g(j) == 3)
    e(k) = 15;
end
if (g(i) == 4) & (g(j) == 4)
    e(k) = 16;
end
k = k + 1;
end
end

```

```

for i=1:p1
    if e(i) == 1
        g(4*i-3) = 1;
        g(4*i-2) = 1;
        g(4*i-1) = 1;
        g(4*i) = 1;
    end
    if e(i) == 2
        g(4*i-3) = 1;
        g(4*i-2) = 3;
        g(4*i-1) = 1;
        g(4*i) = 2;
    end
    if e(i) == 3
        g(4*i-3) = 2;
        g(4*i-2) = 1;
        g(4*i-1) = 3;
        g(4*i) = 1;
    end
    if e(i) == 4
        g(4*i-3) = 1;
        g(4*i-2) = 1;
        g(4*i-1) = 2;
        g(4*i) = 3;
    end
end

```

```

end
if e(i) == 5
    g(4*i-3) = 3;
    g(4*i-2) = 2;
    g(4*i-1) = 1;
    g(4*i) = 1;
end
if e(i) == 6
    g(4*i-3) = 2;
    g(4*i-2) = 3;
    g(4*i-1) = 3;
    g(4*i) = 2;
end
if e(i) == 7
    g(4*i-3) = 1;
    g(4*i-2) = 3;
    g(4*i-1) = 2;
    g(4*i) = 4;
end
if e(i) == 8
    g(4*i-3) = 2;
    g(4*i-2) = 1;
    g(4*i-1) = 4;
    g(4*i) = 3;
end
if e(i) == 9
    g(4*i-3) = 3;
    g(4*i-2) = 4;
    g(4*i-1) = 1;
    g(4*i) = 2;
end
if e(i) == 10
    g(4*i-3) = 4;
    g(4*i-2) = 2;
    g(4*i-1) = 3;
    g(4*i) = 1;
end
if e(i) == 11
    g(4*i-3) = 3;
    g(4*i-2) = 2;
    g(4*i-1) = 2;
    g(4*i) = 3;
end
if e(i) == 12
    g(4*i-3) = 2;
    g(4*i-2) = 3;
    g(4*i-1) = 4;
    g(4*i) = 4;
end
if e(i) == 13

```

```

    g(4*i-3) = 4;
    g(4*i-2) = 4;
    g(4*i-1) = 3;
    g(4*i) = 2;
end
if e(i) == 14
    g(4*i-3) = 3;
    g(4*i-2) = 4;
    g(4*i-1) = 2;
    g(4*i) = 4;
end
if e(i) == 15
    g(4*i-3) = 4;
    g(4*i-2) = 2;
    g(4*i-1) = 4;
    g(4*i) = 3;
end
if e(i) == 16
    g(4*i-3) = 4;
    g(4*i-2) = 4;
    g(4*i-1) = 4;
    g(4*i) = 4;
end
end
end

k = 1;
for i=1:z2-1
    for j = i+1:z2
        if (g(i) == 1) & (g(j) == 1)
            e(k) = 1;
        end
        if (g(i) == 1) & (g(j) == 2)
            e(k) = 2;
        end
        if (g(i) == 1) & (g(j) == 3)
            e(k) = 3;
        end
        if (g(i) == 1) & (g(j) == 4)
            e(k) = 6;
        end
        if (g(i) == 2) & (g(j) == 1)
            e(k) = 4;
        end
        if (g(i) == 2) & (g(j) == 2)
            e(k) = 7;
        end
        if (g(i) == 2) & (g(j) == 3)
            e(k) = 8;
        end
        if (g(i) == 2) & (g(j) == 4)

```

```

    e(k) = 12;
end
if (g(i) == 3) & (g(j) == 1)
    e(k) = 5;
end
if (g(i) == 3) & (g(j) == 2)
    e(k) = 9;
end
if (g(i) == 3) & (g(j) == 3)
    e(k) = 10;
end
if (g(i) == 3) & (g(j) == 4)
    e(k) = 13;
end
if (g(i) == 4) & (g(j) == 1)
    e(k) = 11;
end
if (g(i) == 4) & (g(j) == 2)
    e(k) = 14;
end
if (g(i) == 4) & (g(j) == 3)
    e(k) = 15;
end
if (g(i) == 4) & (g(j) == 4)
    e(k) = 16;
end
k = k + 1;
end
end

```

```

for i=1:p2
    if e(i) == 1
        g(4*i-3) = 1;
        g(4*i-2) = 1;
        g(4*i-1) = 1;
        g(4*i) = 1;
    end
    if e(i) == 2
        g(4*i-3) = 1;
        g(4*i-2) = 3;
        g(4*i-1) = 1;
        g(4*i) = 2;
    end
    if e(i) == 3
        g(4*i-3) = 2;
        g(4*i-2) = 1;
        g(4*i-1) = 3;
        g(4*i) = 1;
    end
    if e(i) == 4

```



```

    g(4*i-3) = 1;
    g(4*i-2) = 1;
    g(4*i-1) = 2;
    g(4*i) = 3;
end
if e(i) == 5
    g(4*i-3) = 3;
    g(4*i-2) = 2;
    g(4*i-1) = 1;
    g(4*i) = 1;
end
if e(i) == 6
    g(4*i-3) = 2;
    g(4*i-2) = 3;
    g(4*i-1) = 3;
    g(4*i) = 2;
end
if e(i) == 7
    g(4*i-3) = 1;
    g(4*i-2) = 3;
    g(4*i-1) = 2;
    g(4*i) = 4;
end
if e(i) == 8
    g(4*i-3) = 2;
    g(4*i-2) = 1;
    g(4*i-1) = 4;
    g(4*i) = 3;
end
if e(i) == 9
    g(4*i-3) = 3;
    g(4*i-2) = 4;
    g(4*i-1) = 1;
    g(4*i) = 2;
end
if e(i) == 10
    g(4*i-3) = 4;
    g(4*i-2) = 2;
    g(4*i-1) = 3;
    g(4*i) = 1;
end
if e(i) == 11
    g(4*i-3) = 3;
    g(4*i-2) = 2;
    g(4*i-1) = 2;
    g(4*i) = 3;
end
if e(i) == 12
    g(4*i-3) = 2;
    g(4*i-2) = 3;

```

```

    g(4*i-1) = 4;
    g(4*i) = 4;
end
if e(i) == 13
    g(4*i-3) = 4;
    g(4*i-2) = 4;
    g(4*i-1) = 3;
    g(4*i) = 2;
end
if e(i) == 14
    g(4*i-3) = 3;
    g(4*i-2) = 4;
    g(4*i-1) = 2;
    g(4*i) = 4;
end
if e(i) == 15
    g(4*i-3) = 4;
    g(4*i-2) = 2;
    g(4*i-1) = 4;
    g(4*i) = 3;
end
if e(i) == 16
    g(4*i-3) = 4;
    g(4*i-2) = 4;
    g(4*i-1) = 4;
    g(4*i) = 4;
end
end

phaenotyp1 = 0;
phaenotyp2 = 0;
phaenotyp3 = 0;
phaenotyp4 = 0;

for i=1:z3
    if g(i) == 1
        phaenotyp1 = phaenotyp1 + 1;
    end
    if g(i) == 2
        phaenotyp2 = phaenotyp2 + 1;
    end
    if g(i) == 3
        phaenotyp3 = phaenotyp3 + 1;
    end
    if g(i) == 4
        phaenotyp4 = phaenotyp4 + 1;
    end
end

P1 = phaenotyp1;

```

P2 = phaenotyp2;
P3 = phaenotyp3;
P4 = phaenotyp4;

G1 = P1
G2 = P2 + P3
G3 = P4

G = G1 + G2 + G3