(Aus dem Institut für Nutztierwissenschaften der Universität für Bodenkultur, Vorstand: o. Univ.-Prof. Dr. A. Haiger, Abt. Populationsgenetik, Leiter: a. o. Univ.-Prof. Dr. A. Eßl)

# Zuchtwertschätzung für die Honigleistung *(Apis mellifera carnica)* in Österreich

Von A. Willam und A. Essl

(Mit 1 Abbildung)


## Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit lag in der Ausarbeitung eines auf die spezifischen Verhältnisse des Institutes für Bienenkunde in Lunz am See/Österreich abgestimmten Zuchtwertschätzverfahrens für das Merkmal Honigleistung. Methodisch wurde dabei von der kombinierten Selektion mit Berücksichtigung der Individual- und Familienleistung ausgegangen. Aufgrund der aktuellen Organisation der Leistungsprüfung in Lunz liegen für einen Teil der Königinnen (Völker) wiederholte Honigleistungen vor. Um diese zusätzlichen Leistungsinformationen berücksichtigen zu können, werden als Basis für die Zuchtwertschätzung die Leistungsprüfergebnisse der letzten drei Jahre herangezogen. Zu diesem Zweck wurde die Methode der kombinierten Selektion nach Lush (1947) für die Situation wiederholter Leistungen und ungleicher Familiengrößen erweitert. Anhand einer Modellrechnung wurde die Auswirkung der Berücksichtigung wiederholter Leistungen auf den geschätzten Zuchtwert und die Zuverlässigkeit der Zuchtwertschätzung aufgezeigt. Es wird vorgeschlagen, den Zuchtwert einer Mutter, der aufgrund der Leistungen ihrer Töchter geschätzt wird, für die Auswahl der Drohnenvölker heranzuziehen.


Schlüsselworte: Honigleistung, Zuchtwertschätzung, Index, Selektion.

## Prediction of breeding values for honey yield *(Apis mellifera carnica)* in Austria


### Summary

The object of this study was to establish a useful method of predicting honey yield breeding values in reconciliation with the possibilities given at the Institute of Bee Research in Lunz am See/Austria. The method of combined selection (Lush 1947) was taken as a basis. This method is in accordance with a multiple regression including individual and family performances (Formula (1)). The organisation of performance testing in Lunz provides partly repeated measure-

ments for queens (colonies). Therefore the method of combined selection was adapted to include repeated measurements within individuals and unequal family sizes (Figure 1, Formula (2) and (3), Appendix).

The effect of including repeated measurement on the prediction of breeding values and the expected correlation between true and predicted breeding values ($r_{A\hat{A}}$) was shown (Table 1, Formula (4) to (7)). In honey bee breeding the dam of the drone-producing queens is seen as the male representative ("sire"). Therefore the breeding values of these dams (Formula (8)) predicted by the performances of their daughters can be used for selecting the drone-producing queens.

The practical carrying out of predicting breeding values takes place in two steps. First LS-Effects (Least Squares) for the environmental factors year, farm and station within farm are estimated and used to correct the honey yield. Subsequently breeding values for queens and dams ("sires") are predicted with the described methods (Formula (3) and (8)).

Key-words: honey yield, breeding value, index, selection.

## 1. Einleitung

Die Selektion in der Bienenzucht erfolgt derzeit praktisch ausschließlich aufgrund festgesetzter Mindestleistungen, wobei die Honigleistung eines Volkes in Prozent des Standmittels ausgedrückt wird (Ruttner 1972, Zander und Böttcher 1982, Tiesler 1990). Bei diesen Prozentzahlen handelt es sich nicht um geschätzte Zuchtwerte im üblichen populationsgenetischen Sinn, da sie nur Relativwerte der phänotypischen Leistungen zum Standmittel darstellen. Die Vergleichbarkeit von verschiedenen Ständen ist dabei nur bedingt gegeben, weil unterschiedliche Trachtniveaus auf den Ständen die Werte verzerren (5 kg Mehrleistung bei 15 kg Standdurchschnitt bedeuten eine Relativleistung von 133 % bei 25 kg Standmittel jedoch nur von 120 %). Rinderer (1986) schlägt deshalb vor, die Abweichung der Volksleistung vom jeweiligen Standmittel durch die Standardabweichung des Standes zu dividieren. Neben der Eigenleistung des Volkes wird für dessen Beurteilung auch der Durchschnitt bzw. die Standardabweichung der Geschwistergruppe herangezogen.

Die Auswahl der Völker in den Merkmalen Sanftmut, Wabensitz, Schwarmneigung, Winterfestigkeit, Frühjahrsentwicklung und Volksstärke wird ausschließlich aufgrund ihrer subjektiven Bewertung (Punktesystem) vorgenommen.

Werden in einem Zuchtziel mehrere Merkmale vereint, dann ist ein Selektionsindex grundsätzlich die beste Zuchtwertschätzmethode (Hazel und Lush 1943). Voraussetzung für die Effizienz eines Selektionsindexes sind gute Schätzwerte für die genetischen und ökonomischen Parameter der berücksichtigten Merkmale. Während eine ökonomische Bewertung der Honigleistung noch durchführbar wäre, ist dies für die subjektiv bewerteten Verhaltensmerkmale Ruhe (Sanftmut, Wabensitz) und Schwarmneigung praktisch kaum möglich. Außerdem sind die geschätzen Heritabilitäten dieser Merkmale aufgrund der subjektiven Beurteilung vergleichsweise gering (0,08) (Willam und Essl 1993).

Rinderer (1977) beschreibt einen Selektionsindex, der die Merkmale Sammeleifer, Nosemaresistenz und Lebensdauer berücksichtigt, gibt aber keine Angaben über die dazu benötigten Parameter. Bienefeld (1988) schlägt eine Indexvariante vor, die direkte Arbeiterinnen- und maternale Königinneneffekte für die Indexmerkmale berücksichtigt und auf Van Vleck (1970) zurückgeht. Als Merkmale kommen die Honigleistung und die Verhaltensmerkmale Aggressivität, Wabensitz und Schwarmneigung in Frage. Allerdings läßt auch er das Problem der dafür benötigten wirtschaftlichen Parameter offen. Bienefeld und Pirchner

(1991) beschreiben eine Indexvariante für die Merkmale Honigleistung und Aggressivität. Als Informationsquellen dienen die Eigenleistung eines Volkes sowie die Leistungen von Vollgeschwister- und väterlichen Halbgeschwistervölkern. Die genetischen und phänotypischen Parameter stammen aus der Untersuchung von BIENEFELD (1988), während die wirtschaftliche Gewichtung der Merkmale aufgrund einer von BIENEFELD (1987) durchgeführten Umfrage vorgenommen wurde. Die Autoren weisen allerdings auf die unsicheren Parameterschätzwerte und die schwer erfaßbaren wirtschaftlichen Gewichte, vor allem für das Merkmal Aggressivität, hin. Außerdem stellen sie auch die Richtigkeit der gleichen Gewichtung der direkten Arbeiterinnen- und maternalen Königinneneffekte in Frage.

Am Institut für Bienenkunde in Lunz am See (Österreich) wird seit etwa 40 Jahren im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten eine „ertragsstarke, sanfte, schwarmträge und rassenreine Carnica-Biene" gezüchtet (PECHHACKER 1989). Aufgrund der oben beschriebenen Schwierigkeiten bei der Konstruktion eines Selektionsindexes wurde davon ausgegangen, daß es für die praktische Zuchtarbeit zielführender ist, von einem Selektionsindex abzusehen, dafür aber für das wirtschaftlich primäre Selektionsmerkmal Honigleistung die Zuchtwerte möglichst genau zu schätzen und für die übrigen Merkmale (Sanftmut, Wabensitz, Schwarmneigung, Cubitalindex) wie bisher eine phänotypische Mindestleistungsselektion durchzuführen. Bezüglich Varroatoleranz wird vorläufig nur eine umweltkorrigierte Abweichung der einzelnen Völker vom Populationsmittel für das jeweilige Jahr berechnet. Diese Information wird bei der Selektionsentscheidung zwischen Völkern, die in der Honigleistung gleichwertig sind, berücksichtigt.

## 2. Methode

Für die Zuchtwertschätzung von diploiden Säugetieren wird heute im allgemeinen ein BLUP-Verfahren (HENDERSON 1973) auf der Basis eines sogenannten Tiermodells (QUAAS und POLLAK 1980) angewendet. Dieser Ansatz garantiert zwar bei Zutreffen bestimmter Voraussetzungen optimale Schätzeigenschaften (Erwartungstreue und Minimumvarianz), erfordert aber für eine Anwendung in der Praxis einen so hohen Programmieraufwand, daß hierfür in der Regel der Einsatz eigener Programmierteams notwendig ist. Außerdem beträgt die zu erwartende Überlegenheit von BLUP-Verfahren gegenüber dem klassischen Indexansatz nur wenige Prozent, wie in einer entsprechenden Simulationsstudie gezeigt wurde (HAGGER und DEMPFLE 1983).

Aufgrund der haploiden Drohnen bei der Honigbiene liegt für die Erstellung der für diesen Schätzansatz benötigten inversen Verwandtschaftsmatrix eine grundsätzlich andere Situation als bei diploiden Säugetieren vor. An die theoretische Lösung dieses Problems wurde erst in jüngster Zeit herangegangen (TIER und SÖLKNER 1993). Entsprechende EDV-Programme für eine praktische Anwendung fehlen jedoch noch. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit versucht, den klassischen Ansatz (LUSH 1947) zur Zuchtwertschätzung bei Vorliegen von Individual- und Familieninformationen für die in Lunz vorgegebene Situation entsprechend zu adaptieren.

Nach FALCONER (1984) stehen im Prinzip vier verschiedene Selektionsverfahren zur Verfügung.

*Individualselektion:* Selektion aufgrund der Eigenleistung (Massenselektion).

*Familienselektion:* Selektion aufgrund der Durchschnittsleistung einer Fami-

lie. Der Selektionsentscheid gilt nicht für ein Einzeltier, sondern die ganze Familie wird als Einheit selektiert.

*Intra-Familien-Selektion:* Selektion aufgrund der Abweichung der Individualleistung von seinem Familienmittel.

*Kombinierte Selektion:* Selektion aufgrund einer optimalen Linearkombination von Individual- und Familienleistung.

Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Selektionsverfahren sind bei FALCONER (1984) ausführlich beschrieben. Die kombinierte Selektion kann demnach im theoretisch zu erwartenden Selektionserfolg nie schlechter sein als eines der drei anderen Verfahren. Ihre Überlegenheit hängt von der Familiengröße (n), der phänotypischen (t) und genetischen (r) Korrelation zwischen den Familienmitgliedern ab.

Eine züchterisch bearbeitete Bienenpopulation zeigt aufgrund der hohen Nachzuchtrate eine klare Familienstruktur mit entsprechenden Familiengrößen. Weiters kann in der Bienenzucht angenommen werden, daß bei zufälliger Verteilung der Prüfvölker auf die Stände und Betriebe, wie sie für die Lunzer Situation weitgehend zutrifft, bzw. bei rechnerischer Ausschaltung der erfaßbaren Umwelteinflüsse (Jahr, Betrieb, Stand) die phänotypische Intraklasskorrelation (t) nur geringfügig höher sein wird als das Produkt $h^2r$. Geht man von den von WILLAM und ESSL (1993) für die Heritabilität der Honigleistung ($h^2 = 0{,}25$) und die durchschnittliche Verwandtschaft zwischen zwei Königinnen ($r = 0{,}38$) geschätzten Werten aus, so kann t etwa 0,15 angenommen werden. In diesem Fall ist die kombinierte Selektion bei jeder Familiengröße allen anderen Methoden überlegen. Die Frage nach der optimalen Familiengröße kann nicht exakt beantwortet werden. Berechnungen ergaben, daß der Einfluß ab etwa $n > 20$ deutlich geringer wird. Die optimale Familiengröße muß wegen der Inzuchtgefahr unter dem Gesichtspunkt der zur Verfügung stehenden Prüfplätze gesehen werden. Die in der Praxis angestrebten Familiengrößen von sechs bzw. zehn Völkern bedeuten auf jeden Fall eine Steigerung des Selektionserfolges durch die kombinierte Selektion von 8,5 bzw. 11,3 % gegenüber der Individualselektion.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Zuchtwertschätzung aufgrund einer Einzelleistung

Für die kombinierte Selektion aufgrund der Individual- und Familienleistung berechnet sich der Zuchtwert für die Honigleistung einer Königin (Volk) nach LUSH (1947) wie folgt:

$$\widehat{ZW}_K = \overline{ZW} + h^2 \cdot \left[ \frac{1-r}{1-t} \cdot (P - FD) + \frac{1+(n-1)r}{1+(n-1)t} \cdot (FD - PD) \right] \qquad (1)$$

$\widehat{ZW}_K$ = geschätzter Zuchtwert für die Honigleistung einer Königin
$\overline{ZW} = PD$ = durchschnittlicher geschätzter Zuchtwert der Population
= (Durchschnitt aller umweltkorrigierter Honigleistungen)
$h^2$ = Heritabilität der Honigleistung
P = umweltkorrigierte Honigleistung einer Königin
FD = umweltkorrigierter Familiendurchschnitt in der Honigleistung
r = mittlere genetische Korrelation zwischen den Honigleistungen von Königinnen einer Familie (Ø Verwandtschaft)
t = mittlere phänotypische Korrelation zwischen den Honigleistungen von Königinnen einer Familie
n = Familiengröße, Anzahl Königinnen pro Familie

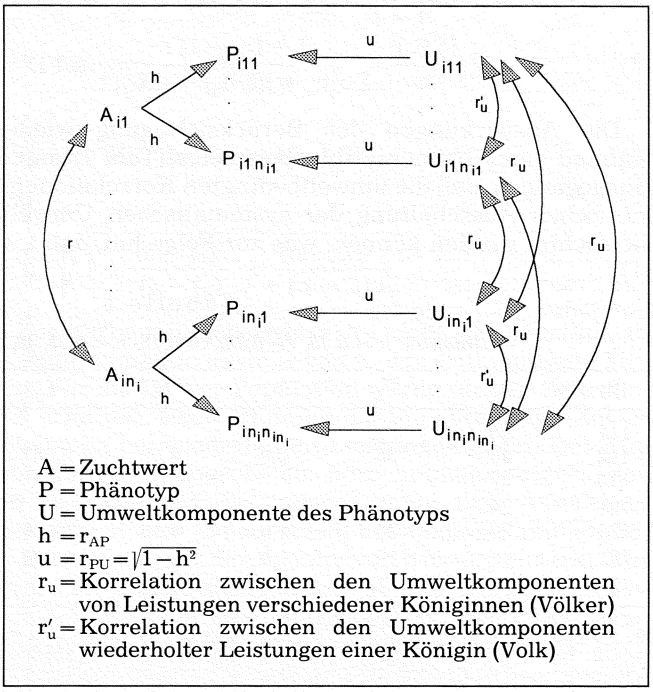
Beziehung (1) setzt voraus, daß die Familiengröße konstant ist und von jeder Königin (Volk) nur eine Leistung vorliegt. Dies entspricht theoretisch der Situa-

tion auf offiziellen Prüfständen bei einjähriger Prüfung. Da aber in Lunz die Leistungsprüfung in Zusammenarbeit mit Züchtern als Feldprüfung auf verschiedenen Ständen erfolgt, liegen für einen Teil der Königinnen (Völker) wiederholte Leistungen vor. Um diese zusätzlichen Leistungsinformationen berücksichtigen zu können, werden als Basis für die Zuchtwertschätzung die Leistungsprüfergebnisse des jeweils aktuellen Jahres und der beiden vorausgegangenen Jahre herangezogen. Aus diesem Grund muß in der Beziehung (1) die Möglichkeit von wiederholten Leistungen berücksichtigt werden. Dies trifft auch dann zu, wenn die Leistungsprüfung als zweijährige Prüfung durchgeführt werden sollte. Außerdem kann in der Bienenzucht nicht von einer konstanten Familiengröße ausgegangen werden.

### 3.2 Zuchtwertschätzung aufgrund wiederholter Leistungen und variierender Familiengröße

In Abb. 1 sind mit Hilfe der Pfadkoeffizientenmethode (Wright 1934) die Kausalbeziehungen zwischen den Königinnen (Völkern) einer Familie für das Merk-

*Abb. 1: Biometrisches Pfadkoeffizientenmodell zur Darstellung von Kausalbeziehungen zwischen den Königinnen (Völkern) einer Familie i*




mal Honigleistung dargestellt, wobei $n_i$ = Anzahl Königinnen (Völker) in Familie i und $n_{ij}$ = Anzahl Leistungen der Königin (Volk) j aus Familie i bedeuten. Bei der Definition der genetischen und phänotypischen Intraklasskorrelationen muß zwischen den Betrachtungsebenen Population und Familie unterschieden werden:

a) Population: $r\,(A_{ijk}\,A_{ijk'})\;k \neq k' = 1$
$r\,(A_{ij.}\,A_{ij'.})\;j \neq j' = r$
$r\,(P_{ijk}\,P_{ijk'})\;k \neq k' = w$ (Wiederholbarkeit)
$r\,(P_{ij.}\,P_{ij'.})\;j \neq j' = t$

b) Familie: $r(A_{ijk} A_{ijk'})\ k \neq k' = 1$
$r(A_{ij.} A_{ij'.})\ j \neq j' = 0$
$r(P_{ijk} P_{ijk'})\ k \neq k' = w_{in}$ (Wiederholbarkeit innerhalb Familie)
$r(P_{ij.} P_{ij'.})\ j \neq j' = 0$

Ausgehend von (1) gilt für die Schätzung des Zuchtwertes einer Königin (eines Volkes) mit wiederholten Leistungen:

$$\widehat{ZW}_K = \overline{ZW} + h^2_{in}(\overline{P_{ij}} - pFD_i) + h^2_{zw}(pFD_i - PD) \qquad (2)$$

$h^2_{in}$ = Heritabilität für $\overline{P_{ij}}$ innerhalb Familie
$h^2_{zw}$ = Heritabilität für $pFD_i$ zwischen Familien
$\overline{P_{ij}}$ = Arithmetisches Mittel wiederholter Leistungen einer Königin (Volk)
$pFD_i = \Sigma b_{ij}\overline{P_{ij}}/\Sigma b_{ij}$ = phänotypischer Familiendurchschnitt
$b_{ij} = n_{ij}/[1 + (n_{ij} - 1)\, w_{in}]$ = Gewichtungsfaktor

Es kann gezeigt werden (siehe Anhang), daß unter Berücksichtigung der oben festgelegten Bergriffsdefinitionen für (2) folgende Beziehung gilt:

$$\widehat{ZW}_K = \overline{ZW} + h^2 b_{ij} \frac{1-r}{1-t}(\overline{P_{ij}} - pFD_i) + $$
$$+ h^2 \frac{(\Sigma b_{ij})^2}{n_i} \frac{1 + (n_i - 1)\, r}{\Sigma b^2_{ij} c_{ij} + [(\Sigma b_{ij})^2 - \Sigma b^2_{ij}]\, t}(pFD_i - PD) \qquad (3)$$

Die Auswirkungen der Berücksichtigung wiederholter Leistungen wird anhand eines kleinen Zahlenbeispieles (Tab. 1) demonstriert. Es wurde davon ausgegangen, daß die umweltbedingten Korrelationen ($r_u$ und $r'_u$) wegen der rechnerischen Ausschaltung der systematischen Umwelteinflüsse als sehr gering betrachtet werden können, was zur Folge hat, daß t, w und $w_{in}$ in Abhängigkeit

Tabelle 1

*Beispiel: $h^2 = 0{,}25$, $r = 0{,}38$, $t = 0{,}15$, $w = 0{,}35$, $w_{in} = 0{,}25$, $PD = 20$*

| ijk | $P_{ijk}$ | $\overline{P_{ij}}$ | $b_{ij}$ | $b^2_{ij}$ | $c_{ij}$ | $b^2_{ij} c_{ij}$ | $pFD_i$ | $n_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 111 | 30 | | | | | | | |
| 112 | 40 | 35 | 2,0 | 4,00 | 0,567 | 2,268 | | |
| 113 | 35 | | | | | | | |
| 121 | 20 | | | | | | 26,09 | 3 |
| 122 | 30 | 25 | 1,6 | 2,56 | 0,675 | 1,728 | | |
| 131 | 10 | 10 | 1,0 | 1,00 | 1,000 | 1,000 | | |
| Σ | | | 4,6 | 7,56 | | 4,996 | | |

$n_{ij} = 1$: $b_{ij} = 1/[1 + (1-1)0{,}25] = 1{,}0$ bzw. $c_{ij} = [1 + (1-1)0{,}35]/1 = 1{,}000$
$n_{ij} = 2$: $b_{ij} = 2/[1 + (2-1)0{,}25] = 1{,}6$ bzw. $c_{ij} = [1 + (2-1)0{,}35]/2 = 0{,}675$
$n_{ij} = 3$: $b_{ij} = 3/[1 + (3-1)0{,}25] = 2{,}0$ bzw. $c_{ij} = [1 + (3-1)0{,}35]/3 = 0{,}567$

von $h^2$ als relativ niedrig angenommen werden können (Tab. 1). Die in Tabelle 1 zusammengefaßten Teilergebnisse führen zu folgenden Resultaten (PD = 20):

$$pFD_i = (2*35 + 1{,}6*25 + 1*10) : (4{,}6) = 26{,}09$$

$$\widehat{ZW}_{11} = 20 + 0{,}25*2\,[(1 - 0{,}38) : (1 - 0{,}15)]\,(35 - 26{,}09) +$$
$$+ 0{,}25\,(21{,}16 : 3)\,[1 + (3-1)\,0{,}38] : [4{,}996 + (21{,}16 - 7{,}56)\,0{,}15]\,(26{,}09 - 20) =$$
$$= 20 + 0{,}365\,(35 - 26{,}09) + 0{,}441\,(26{,}09 - 20) = 25{,}9$$

Würde für die Zuchtwertschätzung nur die jeweils letzte Leistung herangezogen, so wäre der Zuchtwert nach (1):

$$\widehat{ZW}_{11} = 20 + 0{,}25\,[(1-0{,}38):0{,}15)]\,(35-25) + \\ + 0{,}25\,[1+(3-1)0{,}38]:[1+(3-1)0{,}15]\,(25-20) = \\ = 20 + 0{,}182\,(35-25) + 0{,}338\,(25-20) = 23{,}5$$

Die Berücksichtigung von wiederholten Leistungen wirkt sich natürlich nicht nur auf die Punktschätzung aus, sondern auch auf die Zuverlässigkeit der Zuchtwertschätzung ($r_{A\hat{A}}$) und somit auch auf den zu erwartenden Selektionserfolg. Nach LUSH (1947) gilt für $r_{A\hat{A}}$ bei Einzelleistungen:

$$r_{A\hat{A}} = h \sqrt{1 + \frac{(r-t)^2}{(1-t)} \frac{(n_i - 1)}{1 + (n_i - 1)\,t}} \tag{4}$$

wobei $n_i$ der Familiengröße entspricht. Wenn wiederholte Leistungen berücksichtigt werden sollen, müssen $h^2$ und t modifiziert werden, da als Information nicht mehr die Einzelleistung, sondern der Durchschnitt wiederholter Leistungen zur Verfügung steht. r bleibt davon unbeeinflußt. Das Ausmaß der Modifizierung ist von der durchschnittlichen Anzahl wiederholter Leistungen und der Wiederholbarkeit (w) abhängig. Ist die Anzahl der wiederholten Leistungen bei allen Königinnen (Völkern) mit $n_{ij}$ konstant, dann gilt für

$$WK = \frac{n_{ij}}{1 + (n_{ij} - 1)\,w} \tag{5}$$

und

$$h^2 \rightarrow h_w^2 = h^2 \cdot WK \quad \text{bzw.} \quad t \rightarrow t_w = t \cdot WK \tag{6}$$

Mit (5) und (6) wird (4) zu

$${}_w r_{A\hat{A}} = h_w \sqrt{1 + \frac{(r-t_w)^2}{(1-t_w)} \frac{(n_i - 1)}{1 + (n_i - 1)\,t_w}} \tag{7}$$

Da in der praktischen Zuchtarbeit üblicherweise $n_{ij}$ nicht als konstant zu erwarten ist, wird in (5) als Approximation anstelle von $n_{ij}$ das arithmetische Mittel aller $n_{ij}$ ($\varnothing\ n_{ij}$) eingesetzt. Für die Lunzer Population wurde für den Zeitraum 1975—1989 ein $\varnothing\ n_{ij}$ von 1,4 ermittelt. Nach (7) hängt die Steigerung der Zuverlässigkeit der Zuchtwertschätzung bei wiederholten Leistungen gegenüber Einzelleistungen auch noch von der Familiengröße ab. Berechnungen zeigten, daß die Berücksichtigung von wiederholten Leistungen unter den Annahmen ($h^2 = 0{,}25$; $r = 0{,}38$; $t = 0{,}15$; $w = 0{,}35$; $\varnothing\ n_{ij} = 1{,}4$) vor allem bei kleinen Familiengrößen eine Verbesserung der Zuverlässigkeit der Zuchtwertschätzung bewirkt. Mit steigender Familiengröße ($n_i > 15$) nimmt dieser Effekt ab und verflacht zunehmend. Für die in der Praxis angestrebten Familiengrößen von sechs bzw. zehn Völkern bedeutet die Berücksichtigung von wiederholten Leistungen eine Steigerung der Zuverlässigkeit der Zuchtwertschätzung von 8,2 bzw. 7,2 % gegenüber Einzelleistungen. Diese höhere Zuverlässigkeit der Zuchtwertschätzung entspricht allerdings nur dann auch einem höheren Selektionserfolg, wenn die wiederholten Leistungen, wie in Lunz, als „kostenlose" zusätzliche Informationen aus der Feldprüfung anfallen. Bedingen wiederholte Leistungen eine Verlängerung des Generationsintervalles, dann kann der Selektionserfolg pro Zeiteinheit durch die Berücksichtigung wiederholter Leistungen auch vermindert werden.

### 3.3 Zuchtwertschätzung für die Mütter (Drohnengroßmütter)

Aufgrund der biologisch-genetischen Besonderheiten der Bienen kommt in der Bienenzucht der gemeinsamen Mutter der Drohnenvölker (Drohnengroß-

mutter) populationsgenetisch gesehen die Rolle des „Vaters" zu. Aus diesem Grund kann der geschätzte Zuchtwert einer Mutter für die Auswahl der Drohnenvölker verwendet werden. Die Zuchtwertschätzung erfolgt aufgrund der Leistungen ihrer Töchter. Auch hier muß die Möglichkeit wiederholter Leistungen berücksichtigt werden. Liegen von Nachkommen nicht nur phänotypische Leistungen, sondern geschätzte Zuchtwerte vor, so ergibt sich der Zuchtwert für einen Elter wie folgt (Essl und Haiger 1972):

$$\widehat{ZW}_M = \overline{ZW} + \frac{2\,n_i}{1/r + (n_i - 1)\,r_T^2}\,d\widehat{ZW}_T \tag{8}$$

$\widehat{ZW}_M$ = geschätzter Zuchtwert einer Mutter (Drohnengroßmutter)
$\overline{ZW}$ = durchschnittlicher Zuchtwert der Population (Durchschnitt aller umweltkorrigierten Leistungen)
$d\widehat{ZW}_T$ = durchschnittliche geschätzte Zuchtwertabweichung aller Töchter einer Mutter
$n_i$ = Anzahl der Töchter (Königinnen) der betreffenden Drohnengroßmutter
$r$ = genetische Korrelation zwischen den Töchtern (Ø Verwandtschaft)
$r_T^2 = h_w^2 \cdot \left[1 + \frac{(r - t_w)^2}{1 - t_w} \cdot \frac{n_i}{1 + (n_i - 1)\,t_w}\right]$
$h_w^2$ = Heritabilität bei wiederholten Leistungen
$t_w$ = phänotypische Korrelation zwischen den Töchtern bei wiederholten Leistungen

In der praktischen Durchführung der Zuchtwertschätzung für die Honigleistung werden zuerst für die systematischen Umwelteinflüsse Jahr, Betrieb und Stand innerhalb Betrieb die LS-Effekte (Least Squares) geschätzt und damit die umweltbedingte Vorkorrektur der Leistungsprüfergebnisse durchgeführt. Daran anschließend werden mit den oben beschriebenen Verfahren die Zuchtwerte für die Königinnen (Völker) und die Mütter (Drohnengroßmütter) geschätzt.

## Anhang

$$\widehat{ZW}_K = \overline{ZW} + h_{in}^2\,(\overline{P_{ij}} - pFD_i) + h_{zw}^2\,(pFD_i - PD) \tag{1}$$

$h_{in}^2$ = Heritabilität für $\overline{P_{ij}}$ innerhalb Familie
$h_{zw}^2$ = Heritabilität für $pFD_i$ zwischen Familien
$\overline{P_{ij}}$ = Arithmetisches Mittel wiederholter Leistungen einer Königin (Volk)
$pFD_i = \Sigma\, b_{ij}\,\overline{P_{ij}} / \Sigma\, b_{ij}$ = phänotypischer Familiendurchschnitt gewichtet nach $b_{ij}$
$b_{ij} = n_{ij}/[1 + (n_{ij} - 1)w_{in}]$ = Gewichtungsfaktor

Für $aFD_i = \Sigma\, A_{ij} / n_i$ = additiv genetischer Familiendurchschnitt folgt aus den oben festgelegten Beziehungen:

$$h_{in}^2 = \frac{\sigma^2\,(\overline{A_{ij}})_{in}}{\sigma^2\,(\overline{P_{ij}})_{in}} = \frac{\sigma^2\,(A_{ijk})_{in}}{\sigma^2\,(P_{ijk})_{in}[1 + (n_{ij} - 1)w_{in}]/n_{ij}}$$

$$h_{in}^2 = \frac{\sigma^2\,(A)(1 - r)}{\sigma^2\,(P)(1 - t)(1/b_{ij})} = b_{ij}\,h^2\frac{1 - r}{1 - t} \tag{2}$$

da $\sigma^2(A_{ijk})_{in} = \sigma^2(A)\,(1 - r)$ und $\sigma^2(P_{ijk})_{in} = \sigma^2(P)\,(1 - t)$.

Weiters gilt

$$h_{zw}^2 = \frac{\sigma^2(aFD_i)}{\sigma^2(pFD_i)} \tag{3}$$

wobei

$$\sigma^2(aFD_i) = \sigma^2(A)\frac{1 + (n_i - 1)\,r}{n_i} \tag{4}$$

und mit $\overline{P'_{ij}} = \overline{P_{ij}} - \mu$

$$
\begin{aligned}
\sigma^2(pFD_i) &= E[pFD_i - \mu]^2 \\
&= E[(1/\Sigma b_{ij})(b_{i1}\overline{P_{i1}} + \ldots + b_{ini}\overline{P_{ini}}) - \mu]^2 \\
&= E[(1/\Sigma b_{ij})(b_{i1}\overline{P'_{i1}} + \ldots + b_{ini}\overline{P'_{ini}})]^2 \\
&= 1/(\Sigma b_{ij})^2 [b_{i1}^2 E(\overline{P'_{i1}})^2 + \ldots + b_{ini}^2 E(\overline{P'_{ini}})^2 \\
&\quad + b_{i1}(b_{i2} + \ldots + b_{ini}) E(\overline{P'_{i1}}\,\overline{P'_{ij,j \neq 1}}) + \ldots \\
&\quad + b_{ini}(b_{i1} + \ldots + b_{i(ni-1)}) E(\overline{P'_{ini}}\,\overline{P'_{ij,j \neq ni}})] \\
&= 1/(\Sigma b_{ij})^2 \{\sigma^2(P)\Sigma b_{ij}^2 c_{ij} + [(\Sigma b_{ij})^2 - \Sigma b_{ij}^2] t\sigma^2(P)\} \\
&= \sigma^2(P)\frac{\Sigma b_{ij}^2 c_{ij} + [(\Sigma b_{ij})^2 - \Sigma b_{ij}^2] t}{(\Sigma b_{ij})^2} \qquad (5)
\end{aligned}
$$

wobei

$$E(\overline{P'_{ij}})^2 = \sigma^2(\overline{P'_{ij}}) = \sigma^2(P)[1 + (n_{ij} - 1)w]/n_{ij} = \sigma^2(P)c_{ij}$$

und

$$
\begin{aligned}
E(\overline{P'_{ij.}}\,\overline{P'_{ij'.}})_{j \neq j'} &= \sigma(\overline{P'_{ij.}}\,\overline{P'_{ij'.}})_{j \neq j'} \\
&= E[(1/n_{ij})(P'_{ij1} + \ldots + P'_{ijnij}) \cdot (1/n_{ij'})(P'_{ij'1} + \ldots + P'_{ij'nij'})] \\
&= (1/n_{ij})(1/n_{ij'}) n_{ij} n_{ij'} E(P'_{ij.}\,P'_{ij'.}) \\
&= E(P'_{ij.}\,P'_{ij'.}) = t\sigma^2(P)
\end{aligned}
$$

Unter Berücksichtigung von (4) und (5) gilt für (3)

$$h_{zw}^2 = \left\{\sigma^2(A)\frac{1 + (n_i - 1)r}{n_i}\right\} : \left\{\sigma^2(P)\frac{\Sigma b_{ij}^2 c_{ij} + [(\Sigma_{ij})^2 - \Sigma b^{2ij}]t}{(\Sigma b_{ij})^2}\right\}$$

$$h_{zw}^2 = h^2 \frac{(\Sigma b_{ij})^2}{n_i} \frac{1 + (n_i - 1)r}{\Sigma b_{ij}^2 c_{ij} + [(\Sigma b_{ij})^2 - \Sigma b_{ij}^2]t} \qquad (6)$$

und mit (2) und (6) erhält man für (1)

$$
\begin{aligned}
\widehat{ZW}_K = \overline{ZW} &+ h^2 b_{ij} \frac{1 - r}{1 - t}(\overline{P_{ij}} - pFD_i) + \\
&+ h_2 \frac{(\Sigma b_{ij})^2}{n_i} \frac{1 + (n_i - 1)r}{\Sigma b_{ij}^2 c_{ij} + [(\Sigma b_{ij})^2 - \Sigma b_{ij}^2 t}(pFD_i - PD) \qquad (7)
\end{aligned}
$$


**Danksagung**

Für die fachliche Unterstütung möchten wir uns bei Herrn Univ.-Doz. Dr. Hermann Pechhacker und seinen Mitarbeitern (Institut für Bienenkunde in Lunz am See/Österreich) herzlich bedanken. Diese Arbeit wurde mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft durchgeführt.


## Literatur


Bienefeld, K., 1987: Selektionskriterien in der Bienenzucht. Allgemeine Deutsche Imkerzeitung *21*, 181—184.

Bienefeld, K., 1988: Vererbung von Leistungseigenschaften bei der Honigbiene (*Apis mellifera* L.). Dissertation, Technische Universität München-Weihenstephan.

Bienefeld, K. and F. Pirchner, 1991: Genetic correlations among several colony characters in the honey bee *(Hymenoptera: Apidae)* taking queen and worker effects into account. Ann. Entomol. Soc. Am. *84*, 324—331.

Essl, A. und A. Haiger, 1972: Ein Vorschlag für die Zuchtwertschätzung beim Rind, II. Teil. Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie *89*, 191—198.

Falconer, D. S., 1984: Einführung in die quantitative Genetik. UTB 1334, Eugen-Ulmer-Verlag, Stuttgart.

HAGGER, Ch. and L. DEMPFLE, 1983: Comparision of the efficiency of BLUP with other estimation procedures in dairy sire evaluation. II. Empirical investigations. Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie *100*, 266—270.
HAZEL, N. N. and J. L. LUSH, 1943: The efficiency of the three methods of selection. Journal of Heredity *33*, 393—399.
HENDERSON, C. R., 1973: Sire evaluation and genetic trend. Proc. Anim. Breed. Genet. Symp. in honor of J. L. LUSH, *10—41*. Champain, Illinois: ASAS and ADSA.
LUSH, J. L., 1947: Family merit and individual merit as bases of selection. American Naturalist *81*, 241—261, 362—379.
PECHHACKER, H., 1989: 40 Jahre Zuchtarbeit in Lunz — Rückblick und Aussichten. Bienenvater *5*, 175—178.
QUAAS, R. L. and E. D. POLLAK, 1980: Mixed model methodology for farm and ranch beef cattle testing programs. Journal of Dairy Science *51*, 1277—1287.
RINDERER, T. E., 1977: A new approach to honey bee breeding at the Baton Rouge USDA Laboratory. American Bee Journal *117*, 146—147.
RINDERER, T. E., 1986: Selection. In: Bee Genetics and Breeding (Editor: T. E. RINDERER), Academic Press INC, Orlando.
RUTTNER, H., 1972: Technische Empfehlungen zur Methodik der Leistungsprüfung von Bienenvölkern. In: Paarungskontrolle und Selektion bei der Honigbiene. Int. Symp. Lunz am See (Österreich), Apimondia Verlag, Bukarest, 103—107.
TIER, B. and J. SÖLKNER, 1993: Analysing gametic variation with an animal model. Theor. Appl. Genet., im Druck.
TIESLER, F. K., 1990: Empfehlungen für die Leistungsprüfung von Bienenvölkern auf Ständen der Züchter. Polykopie.
VLECK VAN, L. D., 1970: Index selection for direct and maternal genetic components of economic traits. Biometrics *26*, 477—483.
WILLAM, A. und A. ESSL, 1993: Schätzung von Populationsparametern für verschiedene Merkmale bei der Honigbiene *(Apis mellifera carnica)*. Apidologie, im Druck.
WRIGHT, S., 1934: The method of path coefficients. Ann. Math. Stat. *5*, 161—215.
ZANDER, E. und F. K. BÖTTCHER, 1982: Haltung und Zucht der Biene. 11. Auflage, Eugen-Ulmer-Verlag, Stuttgart.

(Manuskript eingelangt am 19. Februar 1993, angenommen am 21. April 1993)

Anschrift der Verfasser:

Dr. Alfons WILLAM und a. o. Univ.-Prof. Dr. Alois ESSL, Institut für Nutztierwissenschaften, Universität für Bodenkultur, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien