

Haas, G., W. Friedt 1990: **Ziele und Möglichkeiten der Züchtung nährstoffeffizienter Nutzpflanzen.** Arbeitstagung der "Arbeitsgemeinschaft der Saatzuchtler" innerhalb der Vereinigung österr. Pflanzenzüchter, 20. - 22.11.1990, Bundesanstalt für alpenländ. Landwirtschaft Gumpenstein, Irnding, Österreich, 21 - 37.

Ziele und Möglichkeiten der Züchtung nährstoffeffizienter Nutzpflanzen

Guido Haas & Wolfgang Friedt

Die Leistungsfähigkeit einer wissenschaftlichen Disziplin ist durch die Leistungsfähigkeit der von ihr gebrauchten Begriffe begrenzt. (Hans Mohr 1978)

Einleitung

Schon seit den 30er Jahren gibt es einzelne wissenschaftliche Veröffentlichungen zur Nährstoffeffizienz von Kulturpflanzen. Das wissenschaftliche Interesse an diesem Themengebiet hat aber erst mit Beginn der 80er Jahre deutlich zugenommen. Dies zeigt sich in der wachsenden Zahl von wissenschaftlichen Publikationen (SARIC und LOUGHMAN 1983; GABELMAN und LOUGHMAN 1987; EL-BASSAM et al. 1990; frühere Einzelveröffentlichungen sind in diesen 3 Bänden mehrfach zitiert).

Auf der einen Seite werden vielschichtige Interessen an die Pflanzenzüchtung herangetragen, andererseits liegt heute ein weites Spektrum wissenschaftlicher Arbeiten vor. So decken Fragestellung, Methodik und Diskussion neuerer Veröffentlichungen aus den verschiedensten Fachgebieten ein sehr weites Feld anatomischer, morphologischer, physiologischer und genetischer Aspekte ab. Dies reicht von Messungen nährstoffphysiologischer Prozesse einer Zelle im Laufe von 10 Minuten bis zu 20jährigen Zuchtprogrammen nährstoffeffizienter Sorten. Nährstoffeffizienz scheint daher eher für ein Sammelsurium verschiedenster Interessen und wissenschaftlicher Untersuchungen in bezug auf Ertrag und Ernährung der Pflanze zu stehen.

Vor diesem Hintergrund liegt das Ziel dieses Beitrages in einer Begriffsbestimmung sowie einer Einordnung und Verknüpfung der vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnisse, um konkrete züchterische Ansatzpunkte hieraus ableiten zu können.

Begriffsbestimmung: Low-Input Sorten

Mit dem Begriff "Low-Input Sorte" ist das diesjährige Tagungsthema und zahlreiche Vorträge überschrieben. Hiermit wird eine mögliche pflanzenzüchterische Antwort auf die aktuelle Umweltdiskussion umschrieben. Zumindest für die Pflanzenzüchtung im deutschsprachigen Raum birgt diese Begriffsbildung drei Schwierigkeiten.

Zum einen drückt sich hier die vage Vorstellung eines Sortentyps aus, der mit einem geringen Aufwand an Produktionsmitteln ein gleichbleibend hohes Ertragsniveau erzielen läßt. Aktuell stehen die negativen Auswirkungen hoher Stickstoffgaben und Pflanzenbehandlungsmittel zur Diskussion. Gesetzliche Reglementierungen sind zu erwarten. Die Antwort der Pflanzenzüchtung hierauf könnten im ersten Fall Sorten sein, die eine effizientere Stickstoffnutzung aufweisen. Dieses konkrete Ziel wäre im Sinne einer eindeutigen Zuchtziel-Formulierung durch den Begriff Nährstoffeffizienz zu umschreiben.

Ein zweiter Aspekt stellt die Betrachtung des genotypischen Ertragspotentials hinsichtlich der realisierten Ertragshöhe dar. Neben der Differenzierung der natürlichen Standortleistung nehmen die steuerbaren Einflußgrößen (Input), der spezifische Einsatz von Betriebsmitteln und die jeweilige Produktionstechnik, einen entscheidenden Anteil bei der Realisierung des Ertragspotentials ein. Alle Einflußgrößen zusammen bilden die standorttypische, physiologische Grenze der Ertragsleistung (DAMBROTH 1979). Der maßgebliche Inputfaktor Stickstoff dürfte bei einer Reduzierung der Aufwandmenge kaum einen Sortentyp charakterisieren, der mit dem Begriff "Low-Input Sorte" zutreffend beschrieben ist. Denn neben der Frage nach der Relation ("How low is low?"), erfordert die natürliche Standortdifferenzierung bis heute keine gesonderte Sortentyp-Charakterisierung. Dem entspricht auch die hohe erzielbare Ertragsleistung moderner Sorten unter den reglementierten Anbaubedingungen (Verbot mineralischer Stickstoffdüngung) des Ökologischen Landbaus (POMMER 1985a/b und 1988; STÖPPLER 1988; WEIß et al. o.J.; KÖPKE 1990).

Die natürlichen Produktionsbedingungen weltweit führen in großen Regionen der Erde bei fehlenden Ressourcen, oder einem ökonomisch nicht vertretbaren intensiven Betriebsmitteleinsatz (Input), zu einem niedrigen Aufwand an Energie, Rohstoffen und Kapital (SANCHEZ und SALINAS 1981; STINNER und HOUSE 1989). In diesen Low-Input Agrarsystemen wäre der adäquate Sortentyp die "Low-Input Sorte" (ROHRMOSER 1979). Diese Eignung muß nicht zwangsläufig auf eine höhere Nährstoffeffizienz zurückzuführen sein. Außer Nährstoffmangel-Standorten sind weltweit Strebumwelten aufgrund von Trockenheit, Versalzung, zu saurer oder alkalischer Bodenreaktion oder Aluminium- und Mangantoxizitäten Zielumwelten einer Züchtung von Low-Input Sorten. In einem Low-Input Agrarsystem resultiert entsprechend auch ein Low-Output Niveau (Abb.1).

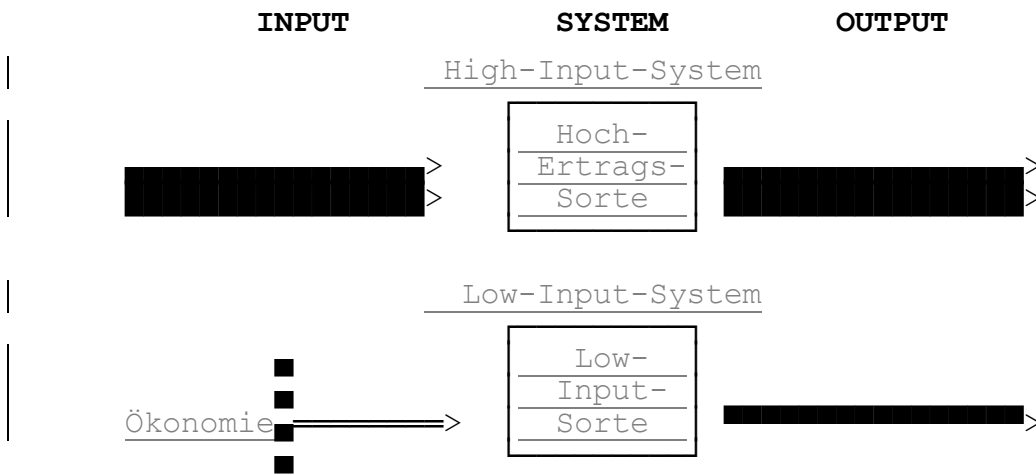


Abb. 1: Definition des Sortentyps durch das Anbausystem

In den begünstigten Breiten Nord-West-Europas ist selbst bei einer Reduzierung der N-Düngemenge kein Low-Input System vorzufinden. Der hiesige Landbau wird auch bei einer reduzierten N-Düngung weiterhin mit Hochertragsorten relativ (weltweit betrachtet) hohe Erträge erzielen. Auf der anderen Seite sind auch für Agrarsysteme mit intensivem Betriebsmitteleinsatz nährstoffeffiziente Sorten wünschenswert. Aus diesen Gründen ist der Begriff "Low-Input Sorte" für pflanzenzüchterische Bemühungen in hiesigen Regionen irreführend und abzulehnen, zumal eine konkretere Zielformulierung möglich ist.

Begriffsbestimmung: Nährstoffeffizienz

Definition I: Weite Verbreitung hat die Beurteilung und Definition von nährstoffeffizienten Pflanzen anhand einer Verhältniszahl gefunden, die nachfolgend als "Effizienzindex" bezeichnet wird (ASANA et al. 1968; CHAPIN III 1987; GABELMAN und GERLOFF 1983; LONERAGAN und ASHER 1967; PETTERSON und JENSEN 1983; VOSE 1987):

Ein Genotyp ist nach der Relation der produzierten Trockenmasse zum Nährstoffgehalt der Gesamtpflanze zu qualifizieren.

In der konkreten Anwendung sind vier Einschränkungen nötig:

1. Die Messungen beziehen sich in der Regel nur auf den **Sproß**.
2. Falls nicht die gesamte oberirdische Biomasse das gewünschte Ernteprodukt darstellt, ist von der produzierten **Trockenmasse des Zielproduktes** beispielsweise des Kornertrages, auszugehen.
3. Untersuchungen zur Nährstoffeffizienz beschränken sich auf **einen Nährstoff**.
4. Wichtige Nebenbedingung sollte der **Qualitätsaspekt** in Form von Inhaltsstoffen darstellen.

Beispielsweise im Fall von Weizen und Stickstoff ergibt sich folgende Formulierung:

Nach der Trockenmasse des Kornertrags in Gramm je Milligramm Stickstoff der oberirdischen Pflanzenmasse ist eine Weizensorte zu beurteilen; mit der Nebenbedingung, Sorten der gleichen Kornproteingehalte oder Backqualitätsstufen miteinander zu vergleichen. Ohne Berücksichtigung dieser Nebenbedingung könnte ein im Ertrag überlegener C-Weizen ohne weiteres N-effizienter als ein A-Weizen sein.

Definition II: MOLL et al. (1982) nahmen anhand einer Relation die Untergliederung der Nährstoffeffizienz in zwei Bereiche vor. Diese Beziehung ist hier nur vereinfacht wiedergegeben:

$$\text{a) Aufnahmeeffizienz} = \frac{\text{Nährstoffgehalt}}{\text{Nährstoffangebot}}$$

$$\text{b) Verwertungseffizienz} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Nährstoffgehalt}}$$

$$\text{Nährstoffeffizienz} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Nährstoffangebot}}$$

Der eingangs definierte Effizienzindex spiegelt nur das mit Verwertungseffizienz bezeichnete Verhältnis wider. Das Aufnahmevermögen wird durch den Effizienzindex nicht erfaßt.

Kritisch zu beurteilen ist die Formulierung der Aufnahmeeffizienz, denn das Nährstoffangebot unter Feldbedingungen stellt eine kaum exakt zu quantifizierende Größe dar. In dem von MOLL et al. (1982) durchgeführten Sortenvergleich bei Mais lieferte die Mineralisation des Bodens 50% des aufgenommenen Stickstoffs. Dieses Problem haben GOODROAD und JELLUM (1988) umgangen, indem sie nur die aufgewendete Düngermenge berücksichtigten. Im Grunde haben sie allerdings nur die Düngeeffizienz des Standortes gemessen. Die Bestimmung der Aneignungseffizienz gestaltet sich äußerst schwierig. Deshalb ist diese Relation in der oben dargestellten Form, außer in Gefäßversuchen kaum aufrechtzuerhalten, obwohl eine Trennung in die Teilbereiche Aneignung und Verwertung sinnvoll ist (s.u.).

Definition III: Ausgehend von einem bestimmten Nährstoffniveau des Standortes sind Pflanzen aber auch genauso gut nach ihrer Ertragsleistung zu beurteilen. Diesen Aspekt formuliert eine Neuseeländische Arbeitsgruppe, die trotz langjähriger Arbeit lediglich diese qualitative Umschreibung der Nährstoffeffizienz abgeben will (DUNLOP et al. 1988):

Eine Pflanze ist dann effizient, wenn sie weniger Nährstoffe für die gleiche Ertragsleistung benötigt als andere Sorten.

Oder

eine effiziente Pflanze zeigt bei gleichem Nährstoffniveau eine vergleichsweise überlegene Ertragsproduktion.

Im Gegensatz zu den vorher zitierten Definitionen, die von bestimmten Eigenschaften bzw. Indizes der Pflanze ausgehen, ist hier der Ertrag als Resultat der pflanzlichen Entwicklung und des Wachstums angesprochen, ohne die einzelnen, den Ertrag bestimmenden Eigenschaften zu kennen. Diese gegensätzlichen Betrachtungsweisen führen zu unterschiedlichen Selektionsalternativen (s.u.). Die verschiedenen Versuche einer Begriffsbestimmung deuten darauf hin, daß die Eigenschaft Nährstoffeffizienz bisher nur ungenügend begrifflich erfaßt ist.

Begriffsbestimmung: Verwertungseffizienz

Unter Verwertungseffizienz werden solche pflanzlichen Prozesse zusammengefaßt, die nach erfolgter Nährstoffaufnahme stattfinden. Ein höheres Verwertungsvermögen führt zu einer höheren Ertragsleistung je aufgenommener Nährstoffeinheit (LONERAGAN und ASHER 1967). Es ist nur ansatzweise möglich, den Faktorenkomplex Verwertungseffizienz anhand einzelner Eigenschaften der Pflanze zu diskutieren. Bei grundsätzlicher Betrachtung physiologischer Prozesse sind drei Bereiche anzusprechen, die eine Adaptation der Pflanze an Nährstoff-Streßumwelten ermöglichen (vgl. HAAS 1989).

1. Wachstumsrate: CHAPIN III (1982, 1983, 1987) verglich an nährstoffarme Standorte adaptierte Wildarten mit ihren verwandten Kulturarten, die an nährstoffreiche Umwelten angepaßt sind. Wildarten zeichnen sich durch eine geringe Wachstumsrate aus. Ihr Nährstoffbedarf pro Zeiteinheit ist aus diesem Grund gering. An nährstoffreiche Standorte angepaßte Kulturarten sind in der Lage, aufgrund ihrer hohen Wachstumsrate bei entsprechend großem Nährstoffangebot, hohe Biomassenerträge zu erzeugen (CHAPIN III 1982 und 1987). Die Anpassung der Wildarten an extreme Nährstoffdefizite hat demgegenüber eine vergleichsweise minimale Ertragsleistung zur Folge (Low-Input Sortentyp).

2. Nährstoffkonzentration: Der Effizienzindex drückt die Relation zwischen produziertem Ernteertrag zum Nährstoffgehalt der Gesamtpflanze aus. Diese Aussage birgt die Problematik in sich, Nährstoffkonzentrationen der Pflanze sicher beurteilen zu können. Wildpflanzen und deren verwandte Kulturarten können in ihren Nährstoffgehalten gravierende Unterschiede zeigen (CHAPIN III 1987). Wildarten mit einem niedrigen Nährstoffbedarf erreichen bei niedriger Wachstumsrate sehr früh den Luxuskonsumbereich. Dennoch besteht die Überlegenheit der Wildarten darin, daß sie bei Nährstoffgehalten im Boden, die für Kultursorten noch Mangelbereiche darstellen, bereits Nährstoffe speichern können. Mit den zeitweise über den Bedarf aufgenommenen Nährstoffen können solche Pflanzen Mangelperioden aus ihrem eigenen Speichervorrat überbrücken (CHAPIN III 1987). Nach dem Effizienzindex sind solche Pflanzen bei ausreichendem Angebot ineffizient, obwohl gerade sie bei einem extrem niedrigen Nährstoffangebot noch Erträge produzieren können (Low-Input Sortentyp).

3. Morphologische Reduktionsprozesse: Stadienabhängig werden bei Nährstoffmangel, insbesondere bei Stickstoffmangel, die einzelnen Ertragskomponenten der Getreidepflanze reduziert. Desweiteren führt Stickstoffmangel zu früherer Reife, verkürzter Lebensdauer der Blätter und insgesamt verkürzten Wachstumsphasen (MENGEL und

KIRKBY 1987; BERGMANN 1986). Die Reduktion einzelner Ertragskomponenten ist sortenabhängig unterschiedlich (PERBY und JENSEN 1987). Im Prinzip verringert die Pflanze ihre "sink"-Kapazität. Eine spezifische Nährstoffkonzentration kann aufrechterhalten werden. Außer den rein physiologischen Aspekten in Form von Gehaltsanalysen sind somit auch morphologische Faktoren zu berücksichtigen, zumal sich diese kompensatorisch auswirken können.

Am Beispiel der Wildarteneigenschaften bleibt festzuhalten, daß mit dem Effizienzindex keine Aussage über eine Adaptation an Standortbedingungen getroffen werden kann. Den Ertrag im Rahmen des Effizienzindex auf den Nährstoffgehalt zu beziehen, ist mit Problemen hinsichtlich der Interpretation des Nährstoffgehaltes behaftet. Der Effizienzindex kann trotz unterschiedlicher Erträge gleich sein; auch kann eine kümmerpflanze danach hoch effizient sein.

Ernteindex und Stickstoff(N)-Ernteindex

Mit Hilfe von Indizes ist eine Quantifizierung komplexer Merkmalsbeziehungen möglich. Der Ernte- und N-Ernteindex geben Auskunft über den Samenanteil der Gesamtpflanze in bezug auf die Trockenmasse bzw. den Stickstoffgehalt zum Zeitpunkt der Ernte (Abb.2). Können diese beiden Indizes auch zur Quantifizierung der Verwertungseffizienz herangezogen werden?

Der Ertragszuwachs neuer ertragreicher Getreidesorten ist weniger auf ein gestiegenes Ertragspotential, sondern auf eine höhere Standfestigkeit zurückzuführen (AUFHAMMER und FISCHBECK 1964 und 1970; AUSTIN et al. 1980; FEIL 1987; HESSELBACH 1985; LAWES 1977; RIGGS et al. 1981; SCHEFFER et al. 1985/1986; TAMM und OTTERMANN 1964). Die Ertragsleistung alter Sorten konnte durch Pflanzenschutz und mechanischen Lager-schutz (Drahtgeflechte) fast auf das Niveau der neuen Sorten gehoben werden. Erst eine gesteigerte Standfestigkeit ermöglichte die Umsetzung hoher Düngergaben in hohe Ertragsleistungen. Insbesondere bei Weizen und Gerste konnte eine verbesserte Standfestigkeit durch einen stabilen kürzeren Halm erreicht werden (vgl. HOFFMANN et al. 1985). Der kürzere Halm und eine insgesamt geringere vegetative Organausbildung werden bei gleichzeitig hohem Kornertrag in einem hohen **Ernteindex** ausgewiesen.

Der Ertragszuwachs ging einher mit morphologischen Änderungen des Verhältnisses einzelner Pflanzenteile zueinander. Der Ernteindex als Maß dieser Änderung kann als Anzeiger für die Effizienz morphologischer und physiologischer Abläufe gesehen werden. Er zeigt die Translokationseffizienz von Assimilaten zum Korn an (vgl. Abb.2). Da in den Effizienzindex der Getreidepflanze die produzierte Trockenmasse im Korn eingeht, spiegelt der Ernteindex somit auch einen Teilaspekt der Verwertungseffizienz wider. Insofern ist der theoretischen Überlegung von MENGEL (1983) zuzustimmen, daß neuere Sorten mit einem höheren Ernteindex nährstoffeffizienter sind, da sie weniger Nährstoffe zur Ausbildung der vegetativen Organe benötigen. Deutlich wird an dieser Stelle die enge Verknüpfung zwischen einer Verbesserung der Nährstoffeffizienz und der reinen Ertragszüchtung.

$$\text{Effizienz-Index} = \frac{C}{N} = \frac{\text{Kornertrag}}{\text{Nährstoffgehalt-Biomasse}}$$

$$\text{Ernte-Index} = \frac{C}{C} = \frac{\text{Kornertrag}}{\text{Biomasse}}$$

$$\text{Nährstoff-Ernte-Index} = \frac{N}{N} = \frac{\text{Nährstoffgehalt-Korn}}{\text{Nährstoffgehalt-Biomasse}}$$

Abb.2: Vergleich der Indizes zur Nährstoffeffizienz (C=Kohlenstoff; N=Nährstoff, z.B. Stickstoff)

In verschiedenen Untersuchungen wurde als Maß der Stickstoff(N)-Ökonomie der Pflanze der N-Ernteindex angewendet (AUSTIN et al. 1977; DESAI und BHATIA 1978; PACCAUD et al. 1985; FEIL 1987; YAU und THURLING 1987; KULLMANN 1989; CZAUDERNA 1990; BÄNZIGER et al. 1990). Da der Proteinertrag von Backweizen ein wesentliches Kriterium darstellt, kann dieser Index zusätzliche Informationen zur N-Effizienz der Weizenpflanze liefern, denn in den Effizienzindex für Stickstoff, als ein Maß der Verwertungseffizienz, geht nur der Trockenmasseertrag ein (Abb.2). Allerdings ist die Korrelation zwischen dem Ernte- und dem N-Ernteindex bei Weizen sehr gering (AUSTIN et al. 1977; FEIL 1987). Zurückzuführen ist dies auf die negative Beziehung zwischen dem Trockenmasseertrag und dem N-Ertrag. Eine hohe Einlagerung von Assimilaten (C) hat eine "Verdünnung" der N-Konzentration zur Folge (PACCAUD et al. 1985; FEIL 1987). Für andere Kulturen mit den Zielprodukten Öl-, Stärke- oder Zuckerertrag dürfte ein N-Ernteindex keine wichtige Information liefern. Ebenso wäre ein Phosphor- oder Kalium-Ernteindex kaum sinnvoll.

Zusammenfassend stellt jede Züchtung auf Ertragssteigerung auch eine Züchtung auf eine verbesserte Nährstoffnutzung der Pflanze dar. Deshalb kann mit Hilfe des Ernteindex auch ein Teilaspekt der Verwertungseffizienz ausgedrückt werden, während dies für einen Nährstoff-Ernteindex nur in Sonderfällen (Stickstoffeffizienz - Protein-ertrag) zutrifft. Angesichts komplexer Nährstoff-, Wirkstoff- und Speicherfunktionen von Stickstoff sind im Gegensatz zu anderen Nährstoffen hier ungleich schwieriger Erfolge zu erzielen.

Begriffsbestimmung: Aneignungseffizienz

Unter Aneignungseffizienz sind die Prozesse der Nährstoffaufnahme im wesentlichen durch die Wurzel zu verstehen. Pflanzen, welche bei gleichem Nährstoffangebot vergleichsweise mehr Nährstoffe zu absorbieren in der Lage sind, weisen ein höheres Aneignungsvermögen auf (CLARK und BROWN 1974).

Die Aufnahme von Nährstoffen ist von deren Verfügbarkeit für die Pflanze abhängig. Einerseits wird die Nährstoffverfügbarkeit von bodenphysikalischen und chemischen Faktoren beeinflusst. Andererseits stellen die biologischen Umsetzungsprozesse im Boden und die Einflußnahme durch die Pflanze selbst wichtige Bestimmungsgrößen der Nährstoffverfügbarkeit dar. Die Kenntnis dieser Faktoren ist in ihrer Wirkung und Wechselwirkung weitgehend unbekannt (MENGEL 1982a). Dies zeigt beispielsweise die kontroverse Diskussion um den Aussagewert von Boden- und Pflanzenanalysen (MENGEL 1982b).

Ausgehend von der Berechnung, daß nur ein Bruchteil des Bodenraumes durchwurzelt ist - nach MENGEL (1982a) werden 20 - 30% erschlossen - könnte eine Vergrößerung des Wurzelsystems eine verbesserte Aufnahme an Nährstoffen zur Folge haben. Die standortabhängige Durchwurzelbarkeit des Unterbodens kann bei höheren Wurzel-Längen-Dichten (Wurzellänge bezogen auf Bodenvolumen) im Unterboden zu höheren Erträgen aufgrund einer gestiegenen Wasser- und Nährstoffaufnahme führen (REX und HARRACH 1983). Aus Tabelle 1 kann bei vorsichtiger Interpretation die Bedeutung der Wurzellänge in Relation zu den aufgenommenen Nährstoffen abgeleitet werden (vgl. auch MENGEL 1984). Erst bei hohen Wurzel-Längen-Dichten ist das relativ immobile Phosphat ausreichend verfügbar. Mit Abstrichen gilt dies ebenso für das Kaliumion.

Tab. 1: Nährstoffentzug und Gesamtwurzellänge bei Winterweizen unter Feldbedingungen

(nach HARRACH und REX 1983)

Aufgenommener Nährstoff	Vorhandene Wurzellänge
1 g N	690 - 1 900 m
1 g K	700 - 3 100 m
1 g P	3 700 - 8 400 m

Der Ertrag wird entscheidend durch die Dichte und Tiefe des Wurzelsystems determiniert. Ohne deren züchterische Verbesserung sind nach Ansicht von TANDON und SAINI (1978) weniger hohe Ertragssteigerungen als bisher zu erwarten. Diese zugespitzte Aussage wirft zwei grundsätzliche Fragen auf:

1. Welche Auswirkung hatte die Züchtung auf die Ausbildung von Wurzelmerkmalen heutiger Hohertragssorten bei Getreide?
2. Besteht in der Ausbildung von ober- und unterirdischen Pflanzenorganen eine genetische Kopplung oder kausale Verknüpfung?

Bis heute wird darüber diskutiert, ob neuere kurze Sorten mit ihrem intensiven Düngbedarf im Vergleich zu den ursprünglich an nährstoffarme Standorte angepaßten Landsorten eine Rückbildung ihres Wurzelsystems aufweisen. Aus dem Vergleich alter und neuer Sorten kann allerdings keine eindeutige Tendenz abgeleitet werden (RUCKENBAUER 1969; MAC KEY 1973; MURPHY et al. 1982; POMMER 1983; FEIL 1987; STÖPPLER 1988). Trotz kritischer Würdigung der Methodik und des Stichprobenumfangs lassen sich insgesamt keine Nachteile in der Wurzelbildung neuer Sorten im Vergleich zu alten Sorten feststellen (vgl. HAAS 1989).

Falls eine enge genetische Kopplung in der Ausbildung von Wurzel und Sproß besteht, müßte sich dies auch im Vergleich der Wurzelbildung von Kurz- zu Langstrohsorten zeigen. In der zu diesem Thema verfügbaren Literatur wird zwar eine positive Beziehung zwischen der Ausbildung von oberirdischen und unterirdischen Pflanzenorganen bestätigt, aber die These einer engen Kopplung zwischen Halmlänge und Wurzelbildung konnte im Vergleich von Lang- und Kurzstrohsorten nicht bestätigt werden (CHOLICK et al. 1977; IRVINE et al. 1980; KÖPKE et al. 1982; LUPTON et al. 1974; PEPE und WELSH 1979; RUCKENBAUER 1966; SADHU und BHADURI (1984); TANDON und SAINI 1978). Es ist festzuhalten, daß die Wurzel-Sproß Beziehung innerhalb der untersuchten Getreidearten relativ unabhängig ist: es treten bei langen und kurzen Getreidesorten ausgeprägte

und reduzierte Wurzelausbildungen auf. Eine züchterische Änderung der morphologischen Wurzeleigenschaften wäre ohne Beeinflussung des oberirdischen Pflanzenteils möglich. Eine genetische Kopplung der Wurzel-Sproß-Ausbildung ist bei einer züchterischen Beeinflussung der morphologischen Wurzelmerkmale zu berücksichtigen; diese Kopplung ist aber überwindbar (vgl. MONYO und WHITTINGTON 1970).

Erfolgreiche Züchtungen auf Trockenresistenz bei Reis, Weizen und Luzerne konnten über eine gezielte Beeinflussung von einzelnen Wurzelmerkmalen insbesondere über die Wurzeltiefe erreicht werden (vgl. O'TOOLE und BLAND 1987). Welche wurzelmorphologischen Merkmale gezielt im Sinne eines effizienteren Aneignungsvermögens für Nährstoffe zu bearbeiten wären, kann zur Zeit nicht beantwortet werden. Ob ein größeres Wurzelsystem eine höhere Aneignungseffizienz verspricht, muß noch dahingestellt bleiben. Eine rein statische Betrachtung des Wurzelumfangs wird den komplexen ökologischen Beziehungen nicht gerecht.

Eine wichtige **physiologische Eigenschaft** der Aneignungseffizienz stellt die Aufnahme- und Abgaberate bei Mangel an Wasser und Nährstoffen dar. Bei einem Vergleich wiesen sechs Maissorten eine bis zu dreifach unterschiedliche Aufnahmekapazität für Phosphat auf. Trotzdem lagen im Sproß aller Sorten annähernd gleiche Phosphorkonzentrationen vor (LOUGHMAN et al. 1983). Versuche von PETERSON und JENSEN (1983) mit mehreren Gerstensorten zur Kaliumeffizienz zeigen, daß sich genotypische Unterschiede in der Kalium-Aufnahmerate durch sortenspezifische Kalium-Abgaberraten an die Bodenlösung bei den untersuchten Sorten ausgleichen. Die Autoren kommen zu der Feststellung, daß die Trockenmasseproduktion pro Kaliumeinheit keinen Bezug zur Kaliumaufnahme aufweist. Somit können aneignungseffiziente Pflanzen nach dem Effizienzindex (Verwertungseffizienz) ineffizient sein.

Tab. 2: Faktoren des Aneignungsvermögens (geändert nach: CARADUS und SNAYDON 1986; CLARK 1983; GERLOFF 1987; O'TOOLE und BLAND 1987; SAUERBECK und HELAL 1988; MANSKE 1988)

W U R Z E L	
<u>MORPHOLOGIE</u>	<u>PHYSIOLOGIE</u>
Wurzel-gewicht -länge -Längen-Dichte -durchmesser -oberfläche Wurzelhaar-länge -dichte -lebensdauer	Wasseraufnahmerate (Influx) Nährstoffaufnahme Nährstoffabgaberrate (Efflux) Absorptionsvermögen Maximale Aufnahme Notwendige minim. Nährstoff- konzentration in der Boden- lösung
Durchwurzelungstiefe Wachstumsrate Lebensdauer Verzweigungsintensität Wurzel-Sproß-Verhältnis	<u>VA-MYKORRHIZA</u> Symbiose-Effizienz
Anzahl -Wurzeln -Wurzelspitzen -Nodalwurzeln -Seminalwurzeln	<u>RHIZOSPHERE</u> Acidifikation Abgabe von - Mucigel - Exudaten - Geweberesten - Extrazellulären Enzymen
Verhältnis Seminal-zu Nodalwurzeln	

Wurzelphysiologische Eigenschaften entziehen sich trotz einer vorhandenen intraspezifischen Variabilität einem züchterischen Zugriff. Da kompensatorische Merkmalsbeziehungen zu wurzelmorphologischen Eigenschaften auftreten, sind wurzelphysiologische Faktoren bei der Interpretation und Beeinflussung wurzelmorphologischer Eigenschaften zu berücksichtigen.

Die meisten Pflanzenarten befinden sich in enger Assoziation mit **VA-Mykorrhiza Pilzen**, vor allem bei niedrigem Nährstoffniveau im Boden (MANSKE 1988; MOSSE 1986). Die Nährstoffaneignung von der in Symbiose lebenden Pflanze wird dadurch enorm gefördert. Das erschlossene Bodenvolumen ist wesentlich größer und die

Lebensdauer einzelner Wurzelorgane ist höher. Außerdem wird ein größeres Aufschlußvermögen für Bodenphosphate vermutet (MENGEL und KIRKBY 1987; MOSSE 1986).

SCHWAB (1987) stellt heraus, daß eine Symbiose mit VA-Mykorrhiza Pilzen wesentlich effektiver als ein größeres Wurzelsystem sein kann, bezogen auf den Verbrauch von Assimilaten. Statt auf extensive Wurzelsysteme zu züchten, spricht er sich für eine züchterische Bevorzugung von Wurzeln mit hohem Exudatfluß zur Ernährung der Mykorrhiza aus. Leguminosen können ihren hohen Phosphatbedarf insbesondere auf nährstoffarmen Böden nur mittels dieser Symbiose ausreichend decken (MOSSE 1986). Ob für Leguminosen ein größeres Wurzelsystem in bezug auf die P-Versorgung überhaupt angestrebt werden sollte, ist aus diesen Gründen zu bezweifeln. Demgegenüber profitieren Gramineen mit ihrem charakteristisch ausgeprägten und fein verzweigten Wurzelsystem nur bei sehr niedrigen P-Gehalten im Boden von einer VA-Mykorrhiza Infektion (MANSKE 1988; MOSSE 1986). Eine differenzierte Betrachtung der Wurzeleigenschaften von ein- und zweikeimblättrigen Pflanzen ist notwendig, insbesondere von Getreide im Unterschied zu Leguminosen.

Im Gegensatz zur Verwertungseffizienz sind eine Vielzahl aneignungseffizienter Eigenschaften mit beschriebener genetischer Variabilität bekannt (Tab. 2), aber die möglichen Wechselwirkungen erschweren eine Auswahl bestimmter Merkmale. Zur Methodenwahl (vgl. HAAS 1989) von Gefäßversuchen ist kritisch anzumerken, daß die homogenen Umweltbedingungen bei Gefäßversuchen gerade bei den Merkmalen der Aneignungseffizienz kaum den ökologischen Bedingungen entsprechen. Zwar können genotypische Unterschiede aufgedeckt werden, aber die erhaltenen Ergebnisse sind häufig kaum auf Freilandbedingungen übertragbar. Dieser Aspekt gilt insbesondere für Wurzeleigenschaften (vgl. BÖHM 1979), da die partiell oft extremen Unterschiede im Bodenraum ein hohes Maß an Flexibilität und die Fähigkeit zur Adaptation innerhalb weniger Zentimeter von der Wurzel erfordern (O'TOOLE und BLAND 1987). Aus diesem Grund sind Gefäßversuche zu Wurzeleigenschaften, zumal oft auf kurze Vegetationsabschnitte beschränkt und mit einer geringen Zahl an Genotypen, äußerst vorsichtig zu interpretieren. Konkrete Erfolge bei der Selektion aneignungseffizienter Linien unter Feldbedingungen stehen trotz teilweise langjähriger Untersuchungen noch aus.

Nutzung genetischer Ressourcen

Wichtiger Ausgangspunkt jeglicher Pflanzenzüchtung stellt das Ausmaß vorhandener Variabilität der gewünschten Eigenschaften dar. Die eventuelle Nutzung von nicht im Anbau befindlichen Linien und Populationen kann unter bestimmten Voraussetzungen erfolgreich zur Erweiterung der Variabilität beitragen. Das Ausgangsmaterial für eine Züchtung nährstoffeffizienter Eigenschaften läßt sich in vier Typen einteilen (Tab. 3).

Tab. 3: Probleme und Möglichkeiten der Nutzung genetischer Ressourcen für die Züchtung nährstoffeffizienter Sorten (HAAS 1989; nach GABELMAN 1987; geändert)

Genetische Ressourcen	Umwelt-adaption	Probleme der Einkreuzung	Möglichkeiten und Eignung
verwandte Wildarten	zum Teil Extrem-Umwelten	-äußerst schwierig infolge Blühsynchronisation, Sterilität und Kreuzungsbarrieren -niedriges Ertragspotential	-qualitative Eigenschaften (monogenisch) -Low-Input-Sorte
Landsorten	Marginalumwelten (ohne Mineraldünger)	- Ertragsniveau niedrig (Standfestigkeit mangelhaft) - Grad der Heterozygotie und Heterogenität	genetische Ressourcen für Nährstoff-Streßumwelten
alte Zuchtsorten (Langstroh)	Übergangsteigende Intensität		?
neue Hochertragsorten	Intensive Bestandesführung	geringe Variabilität (?)	?

Für extreme Streßumwelten kann ein Verzicht auf ein hohes Ertragspotential zugunsten sicherer Erträge sinnvoll sein. Diesem Aspekt wird beispielsweise in Züchtungsprogrammen des ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Syrien) Rechnung getragen. Wildarten von Weizen und Gerste werden in die entsprechenden Kulturformen eingekreuzt (DAMANIA und SRIVASTAVA 1988).

Im Gegensatz dazu ermöglichen die begünstigten Regionen Westeuropas mit einer intensiven Landwirtschaft eine höchstmögliche Ausschöpfung eines hohen Ertragspotentials. Ertragseinbußen müßten bei Einkreuzung einzelner positiver Eigenschaften von Wildarten und alten Zucht- und Landsorten durch aufwendige Rückkreuzungsprogramme ausgeglichen werden. Die genetische Distanz ist heute schon zu groß. Der "point of no return" scheint in der Regel schon überschritten (RÖBBELEN 1979). Die erfolgreiche Nutzung genetischer Ressourcen im Rahmen der analytischen Sorten-Charakterisierung (s.u.) hängt, außer von den generellen Problemen der Einkreuzung, hauptsächlich von den methodischen und erkenntnismäßigen Fortschritten hinsichtlich der Bestimmung nährstoffeffizienter Eigenschaften ab.

Selektion und Züchtung nährstoffeffizienter Sorten

Nährstoffeffizienz kann für die Züchtung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen nur dann von Interesse sein, wenn diese Eigenschaft ertragswirksam ist. Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten auf den Ertrag zu selektieren:

- **Indirekte Selektion:** Der Ertrag stellt eine komplexe Eigenschaft dar, die von einer Vielzahl sekundärer Eigenschaften bestimmt wird. Eine gezielte Selektion dieser sekundären Eigenschaften könnte einen höheren Ertrag zur Folge haben.
- **Direkte Selektion:** Der Ertrag selbst stellt das Selektionskriterium dar. Die Selektion muß weitgehend unter den Nährstoffbedingungen der Zielumwelt stattfinden.

Diesen beiden Möglichkeiten der Selektion von Genotypen werden nachfolgend zwei Formen der Charakterisierung nährstoffeffizienter Sorten zugeordnet (Abb. 3).

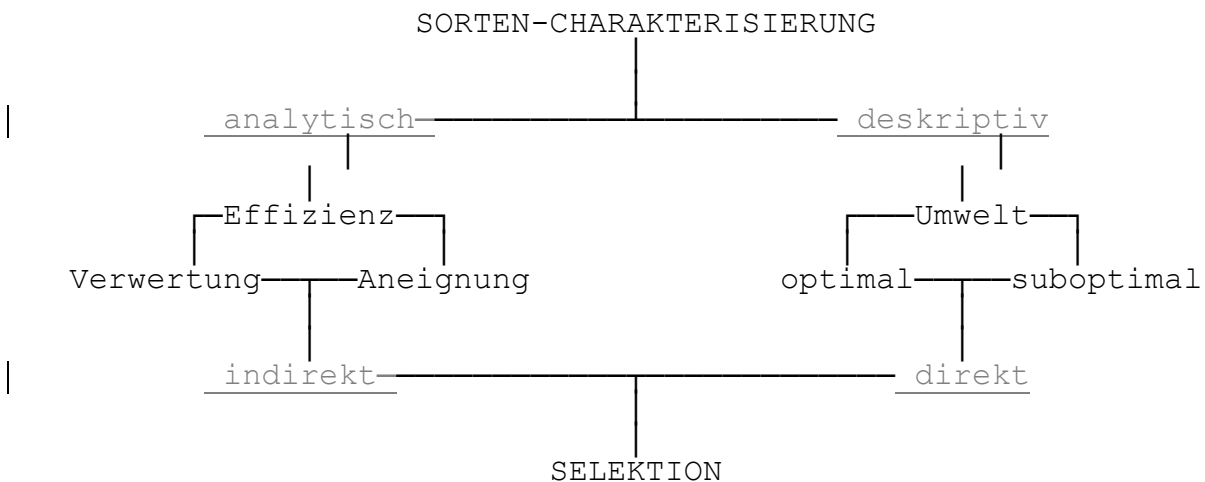


Abb. 3: Selektionstyp in Abhängigkeit von der Sorten-Charakterisierung

Analytische Charakterisierung - indirekte Selektion

Indirekte Selektionskriterien können aus der Kenntnis einzelner ertragswirksamer Eigenschaften der Pflanze abgeleitet werden. Hierfür ist die Analyse der morphologischen, anatomischen, physiologischen und genetischen Faktoren des Gesamtkomplexes Nährstoffeffizienz notwendig. Die vorgenommenen Ausführungen zur Verwertungs- und Aneignungseffizienz sind Teil der analytischen Sorten-Charakterisierung. In Abb. 3 ist dieser Gesamtzusammenhang graphisch dargestellt.

Dieser analytischen Art der Sorten-Charakterisierung wird die indirekte Form der Selektion zugeordnet. Für eine indirekte Selektion gelten allgemein folgende Voraussetzungen (GALLAIS 1984):

Haas, G., W. Friedt 1990: **Ziele und Möglichkeiten der Züchtung nährstoffeffizienter Nutzpflanzen.**

1. Die Heritabilität sekundärer Merkmale muß größer als die des primären Merkmals sein.
2. Zwischen primären und sekundären Merkmalen muß eine hohe Korrelation bestehen.

In Anwendung auf die Merkmale der Nährstoffeffizienz stellt die indirekte Selektion eine Selektion auf Nährstoffeffizienz bedingende Eigenschaften als sekundäre Merkmale auf das primäre Merkmal Ertrag dar.

Deskriptive Charakterisierung - direkte Selektion

Die deskriptive Form der Sorten-Charakterisierung beurteilt einzelne Genotypen nach ihrer Ertragsleistung in bestimmten Nährstoff-Umwelten ohne Berücksichtigung der einzelnen nährstoffeffizienten Eigenschaften. WHITE-AKER et al. (1976) teilte die untersuchten Linien in zwei qualitative Kategorien ein:

- a) auf Düngung ansprechende Genotypen (*responder*)
- b) auf Düngung nicht ansprechende Genotypen (*non-responder*)

Anhand der Regressionsanalyse als einem der gängigsten Verfahren zur Erfassung der Ertragsstabilität kann aber eine Sorte quantitativ anhand von zwei Größen charakterisiert werden (BECKER 1983; BECKER und LEON 1988):

- a) Steigung der Regressionsgeraden (b) = Sensitivitätsparameter (engl. *response parameter*),
- b) Varianz der Abweichungen von der Regressionsgeraden = Stabilitätsparameter **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Die erzielte durchschnittliche Ertragsleistung aller Sorten stellt den Umweltwert als Produktivität des Standortes dar. Für jede einzelne Sorte läßt sich ein Regressionskoeffizient errechnen und in Beziehung zum Sortenmittel setzen. Durch eine variierte Düngung sind verschiedene "Umweltwerte" zu gestalten, um die Sorten in ihrer Nährstoffreaktion nach dem Ertrag beurteilen zu können. Anhand des Regressionsmodells läßt sich durch den Regressionskoeffizienten (b) der Ertrags-Leistungsanstieg bzw. -abfall einzelner Sorten in Abhängigkeit zur Umwelt sowie zur Nährstoffversorgung darstellen (vgl. HAAS 1989). Eine hohe Heritabilität für die den Regressionskoeffizienten bestimmenden Eigenschaften scheint gegeben zu sein (BAINS 1976 nach BECKER 1983). Kreuzungen aus entsprechend selektierten Eltern lassen demnach erfolversprechende Nachkommen erwarten.

Grafik ist nicht mehr digital vorhanden, nur noch im Druck bzw. in Originalquelle.

Ertrag

Umweltwert

Erklärung:

0 = Durchschnittsertrag aller Sorten in der jeweiligen Umwelt ($b=1$)

1 (a,b) = Sorten, die bei gleichem Regressionskoeffizient ($b=1$) einen durchgehend höheren bzw. niedrigeren Ertrag, bezogen auf das Sortenmittel aufweisen.

2 (a,b) = Sorten, die einen steileren ($b>1$) bzw. flacheren ($b<1$) Anstieg der Regressionsgeraden resp. Ertragszuwachs zeigen.

Diese Grafik wurde aus GEISLER (1988, S.77) entnommen. Sie wurde hier allerdings zur Definition der Ertragssicherheit verwendet.

Abb. 4: Einteilung der Sortenreaktion anhand des Regressionsmodells

Allgemein formuliert müßte demnach eine Universalsorte eine Ertragsleistung über dem Sortenmittel in allen Umwelten aufweisen; dies entspräche dem Sortentyp 1a in Abb.4. Problematisch ist die Bildung mehrerer Umweltwerte, die neben einer variierten Düngung, zusätzlich Standorte und Versuchsjahre mit einbezieht. Hier ist keine Trennung nährstoffeffizienter Eigenschaften von allgemein positiven Eigenschaften möglich. Bei einer reinen Beschränkung auf Düngungsvarianten eines Nährstoffes sind auf der anderen Seite nur eine geringe Anzahl Umwelten gegeben. Aus diesen Gründen besitzt das Regressionsmodell nur eine eingeschränkte Aussagekraft.

Umsetzung des deskriptiven - direkten Ansatzes

Ausgangspunkt der direkten Selektion auf den Ertrag ist die Frage nach der Selektionsumwelt. Die Umwelt eines Zuchtgartens ist weitgehend an den praxisüblichen Anbau- und Standortbedingungen orientiert. Je eher die Selektionsumwelt den späteren Einsatzumwelten entspricht, um so höher ist die zu erwartende Leistung infolge höchstmöglicher Adaptation. Die Standortbedingungen der Zuchtgärten weisen in der Regel optimale Boden- und Nährstoffbedingungen auf. Um eine ertragsüberlegene Sorte für unterschiedliche Nährstoff-Umwelten zu selektieren, gibt es zwei unterschiedliche Thesen:

1. *Eine effektive Selektion, insbesondere auf Ertrag, kann nur in optimalen, streßfreien Prüfumwelten stattfinden* (ALLEN et al. 1978; GALLAIS 1984; SHABANA et al. 1980).
2. *Pflanzenwachstum findet im Prinzip immer unter Streßbedingungen statt. Aus diesem Grund sollte auch die Selektion in Streßumwelten stattfinden. Eine bessere Differenzierung der Genotypen wäre möglich* (GALLAIS 1984; MURULI und PAULSEN 1981; ZIMMERMANN 1988).

Um potentielle Hohertragsorten zu selektieren, muß die Prüfumwelt eine Realisierung des hohen Ertragspotentials erlauben. Nach wie vor bestimmt dieses Kriterium am meisten den Erfolg einer Sorte. Ein sicherer und höchstmöglicher Samenertrag ist nicht nur aus Gründen der Selektion auf Ertrag notwendig, er bietet vielmehr die Gewähr zur Ausbildung einer genügenden Menge keimfähiger Samen in jungen Nachkommenschaften. Außerdem können direkte bestäubungs- und befruchtungsbiologische Schwierigkeiten sowie eine allgemeine Beeinträchtigung der Ertragsbildung, infolge von zu großem Nährstoffstreß, die Selektion beeinträchtigen. Durch eine Überversorgung mit Stickstoff wird zudem entsprechender Lager- und Krankheitsdruck zur Selektion anfälliger Linien hervorgerufen. Allgemein ist der Heritabilitätskoeffizient umso größer, je geringer die umweltbedingten Änderungen in der Merkmalsausbildung sind (ALLEN et al. 1978; SCHINKEL und MECHELKE 1988; ZIMMERMANN 1988). Unter optimalen Umweltbedingungen ist somit die Entscheidungssicherheit höher (vgl. FUCHS 1980, S.40). Diese Feststellung liegt vermutlich in einem größeren Versuchsfehler unter suboptimalen Nährstoffbedingungen begründet (MURULI und PAULSEN 1981). Andere Umweltfaktoren und deren Wechselwirkungen werden bei Nährstoffdefiziten einen größeren Einfluß auf die Ertragsbildung haben. Infolge hoher Düngerapplikationen wäre eine geringere Abweichung einzelner Individuen vom Linienmittel aufgrund eines den Bedarf deckenden Nährstoffniveaus zu vermuten; d.h. auf natürliche Umweltbedingungen zurückzuführende Schwankungen im Nährstoffangebot werden durch hohe Düngergaben nivelliert.

Für die Pflanzenzüchtung ist die Frage von Interesse, ob zusätzlich eine Selektion unter suboptimalem Stickstoffangebot stattfinden muß, um z.B. ertragsüberlegene Winterweizensorten für eine größere Bandbreite von Stickstoff-Versorgungsniveaus zu züchten. Diese Frage wird entscheidend von der Bandbreite der angestrebten Zielumwelten abhängen. Konkret ist hier die Frage nach dem Ausmaß einer Reduzierung der aufgebrauchten Nährstoffmenge gestellt, ab der eine zusätzliche Prüfumwelt notwendig ist. Ob dies für die zukünftig teilweise reduzierten Düngermenge schon zutrifft, müssen eingehende Untersuchungen erst noch zeigen.

Hinsichtlich der Nährstoffversorgung lassen sich zwar je Standort spezifisch abgestufte Umwelten durch verschiedene Düngungsstufen gestalten. Dies dürfte ein Vorteil gegenüber sonst schwieriger zu quantifizierenden Umweltfaktoren sein. Bei einer differenzierten Auswahl zusätzlicher ertragsschwacher Standorte treten aber neben Nährstoffmangel weitere ertragslimitierende Umwelteinflüsse auf. Gezielt nährstoffeffiziente Linien zu selektieren ist hierdurch erschwert bis unmöglich, wenn auch zukünftig überlegenere Sorten für ertragsschwache Standorte von Interesse sein könnten, ohne daß dies auf besondere nährstoffeffiziente Eigenschaften zurückzuführen sein muß.

Analytische oder deskriptive Charakterisierung

Anhand der herausgearbeiteten Charakterisierung von Sorten in Form eines analytischen oder deskriptiven Ansatzes können die vorhandenen Untersuchungen strukturiert werden. Die beiden Möglichkeiten der züchterischen Umsetzung wurden getrennt diskutiert. Eventuell ist aber erst durch die Verknüpfung beider Ansätze eine erfolgreiche Züchtung nährstoffeffizienter Sorten möglich (Abb. 5).

ALTERNATIVE I: In Freilandversuchen sind Genotypen bei unterschiedlichem Nährstoffniveau nach ihrer Ertragsleistung deskriptiv zu differenzieren (Regressionsanalyse). In einem zweiten Schritt folgt die vergleichende Analyse extremer Genotypen. Dieser Weg könnte Aufschluß über bestimmte nährstoffeffizienz- und damit ertragsbeeinflussende Eigenschaften geben.

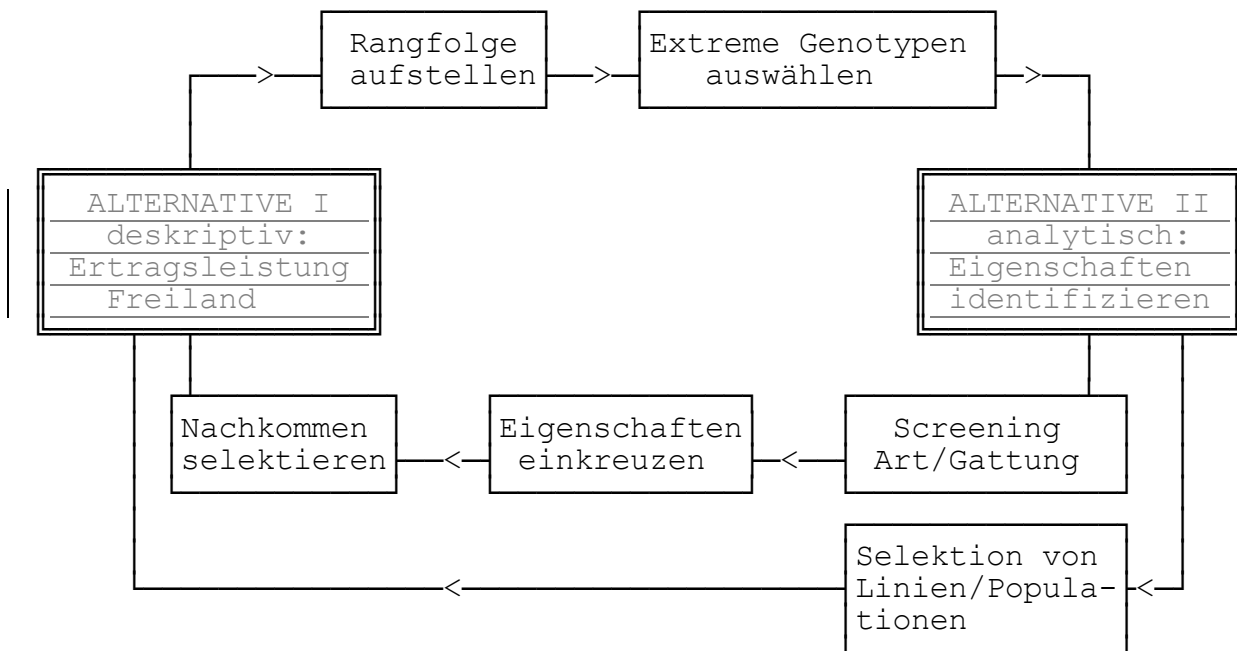


Abb. 5: Verbindung zwischen deskriptiv-direkter und analytisch-indirekter Selektion nährstoffeffizienter Sorten (HAAS 1989)

ALTERNATIVE II: Unter kontrollierten Umweltbedingungen sind Genotypen in Gefäßversuchen auf einzelne nährstoffeffizienz-bestimmende Eigenschaften zu analysieren. Nachfolgend kann anhand dieser Merkmale ein breites Spektrum der Population einer Art und nah verwandter Arten untersucht werden. Einkreuzungen in zugelassene Sorten wären im nächsten Schritt durchführbar. Die Nachkommenchaften sind daraufhin nach entsprechenden Selektionsschritten auf die Ertragsleistung unter Freilandbedingungen zu testen. Bei Kenntnis nährstoffeffizienz-bestimmender Eigenschaften könnten vorhandene Sorten anhand dieser spezifischen Merkmale selektiert werden. Eine Vielzahl detaillierter Untersuchungen existiert zu den einzelnen Teilschritten beider Alternativen.

Die hohe Korrelation eines Einzelfaktors zum Ertrag, wie sie als Voraussetzung für eine indirekte Selektion gesehen wird, ist in den seltensten Fällen gegeben. Dem steht ein ausgeprägtes Kompensationsvermögen im Ertragsaufbau allgemein (AUSTIN 1980; DAMISCH 1986; WAGNER 1971; vgl. Bundessortenliste, mehrere Jahrgänge), in der Wurzel Ausbildung (STÖPPLER 1988) und in einer indirekten Kompensation (vgl. Aneignungseffizienz, s.o.). Selbst bei nachgewiesener Wirkung effizienzsteigernder Eigenschaften ist eine Einzellösung vor dem Gleichgewicht eines komplexen "Ganzen" des pflanzlichen Organismus kritisch zu sehen (MAC KEY 1973; PETTERSON und JENSEN 1983; VOSE 1987).

Allein der Ertrag als Resultat pflanzlicher Entwicklung und pflanzlichen Wachstums kann demnach als sicheres Selektionskriterium dienen. Ein weiterer Vorteil der deskriptiven Charakterisierung liegt in der Möglichkeit, die Leistungen in mehreren Umwelten vergleichen und beurteilen zu können. Auf der anderen Seite stellt das Kompensationsvermögen der Pflanze bei direkter Selektion auf Ertrag eine immer schwieriger zu überwindende Grenze dar. In der künftigen Erforschung ertragsphysiologischer Grundlagen wird demzufolge die Perspektive zukünftiger Ertragssteigerung gesehen (FEIL 1987; GALLAIS 1984). Dies dürfte ebenso für das Zuchtziel Nährstoffeffizienz gelten, weil die vorhandene Variabilität heutiger Sorten eventuell zu gering ist. Durch eine gezielte Selektion von Eigenschaften entsprechend dem analytischen Ansatz wäre eine größere Variabilität zu erzielen.

Für den Bereich Aneignungseffizienz ist dies durchaus vorstellbar. Die Selektion gestaltet sich hier allerdings äußerst schwierig und umfangreich. Zu vermuten ist, daß morphologische Wurzelmerkmale entsprechend der bisherigen Selektion morphologischer Sproßmerkmale züchterisch beeinflussbar sind. Ob diese gezielte Selektion nährstoffeffizienter Eigenschaften auch ertragswirksam ist, muß vorerst dahingestellt bleiben. Die Durchwurzelung des Bodenraumes ist mit dem Ertrag zwar hoch positiv korreliert, dies dürfte jedoch auch auf den positiven Einfluß des Wasserhaushaltes der Pflanze und die Durchwurzelbarkeit des Bodens zurückzuführen sein (vgl. REX und HARRACH 1983).

Angesichts ungelöster methodischer Probleme und großer Lücken im Grundlagenbereich ist die Anwendung des analytischen Ansatzes z. Z. mit einem erheblichen Aufwand, bei gleichzeitig unsicherem Ergebnis, verbunden. Der deskriptive Ansatz dürfte vorerst für die Pflanzenzüchtung praktikabler sein.

Wertprüfung

Jegliche Bemühungen der Züchter müssen darauf ausgerichtet sein, Sorten hervorzubringen, welche geeignet sind, die Prüfungen des Bundessortenamtes erfolgreich zu durchlaufen. Der landeskulturelle Wert wird in einer mehrfaktoriellen Wertprüfung (außer Hafer) im wesentlichen über den Ertrag festgestellt. Unter dem Aspekt der Nährstoffeffizienz ist der Faktor Stickstoffdüngung hinsichtlich der Höhe der N-Gaben in verschiedenen Aufwandmengen von Interesse (Tab.4).

Tab. 4: Stickstoffdüngung in der Wertprüfung (Anbauhinweise des BUNDESSORTENAMT)

Stufe	Weizen	Wintergerste	Sommergerste	Roggen
I	ortsüblich	ortsüblich 2-zeilig evtl. plus 20-30 kgN/ha	ortsüblich an Braugerste orientiert	ortsübl.
II	wie I + 40 kgN/ha ab 2. Gabe	wie I	gegenüber I + möglichst 30 kgN/ha	wie I
III	wie II	wie I + mind. 20 kgN/ha	wie II	wie I + mind. 30 kgN/ha

- Anmerkung:
1. Die N-Düngung ist in mindestens 2 Gaben, bei Winterweizen in mindestens 3 Gaben aufzuteilen.
 2. Die Stufen I - III unterscheiden sich zudem durch unterschiedliche ertragssichernde Maßnahmen. Diese kommen in Stufe I nicht zur Anwendung.
 3. Im Zuge der deutschen Wiedervereinigung sind Änderungen dieses Prüfungssystems zu erwarten.

Angesichts der geringen Unterschiede der Düngergaben zwischen den Stufen kommt den ertragssichernden Maßnahmen als zweitem Behandlungsfaktor gegebenenfalls die weitaus größere Ertragswirkung zu. Doch Angesichts des immensen Aufwandes einer dreistufigen Prüfung wäre der Informationsgewinn bei entsprechend deutlicher Faktorabstufung zu erhöhen. Insbesondere die Stickstoffdüngung könnte ohne größeren Aufwand bei entsprechender Abstufung, Durchführung und Auswertung zusätzliche Informationen über nährstoffeffizienzbestimmende Eigenschaften geben.

Die zu prüfende Lageranfälligkeit und ein höherer Krankheitsdruck dürften durch eine deutlichere zweistufige Düngungssteigerung ausreichend abgedeckt sein. Statt in einer geringfügigen dritten Steigerungsstufe, könnten die zu prüfenden Linien durch eine deutliche Abstufung von z.B. "ortsüblich minus 50%" auf eine nährstoffeffiziente Ertragsbildung getestet werden. Einerseits könnte dies ein Kriterium der Zulassung darstellen; dies würde kommerziellen Pflanzenzüchtern die Chance eröffnen, entsprechende Bemühungen zur Züchtung nährstoffeffizienter Sorten honoriert zu bekommen. Andererseits wäre nährstoffeffizientes Ertragsverhalten in der Beschreibende Sortenliste aufzuführen. Dies würde für interessierte Landwirte (siehe Wasserschutzgebiete, Extensivierungsflächen, Ökologischer Landbau) eine wichtige Entscheidungshilfe darstellen.

Zuchtziele: Hierarchie und Generosion

Das quantitative und qualitative Ertragspotential wird durch die physiologische Leistungsgrenze des pflanzlichen Organismus bestimmt. Resistenz, Standfestigkeit und weitere Teilziele können unter dem Begriff "Ertragssicherheit" zusammengefaßt werden. Damit wäre eine Trennung in Ziele möglich, die der Erweiterung des Ertragspotentials dienen, und in solche, die eine Sicherung und Ausschöpfung des Ertragspotentials beinhalten. Das Zuchtziel Nährstoffeffizienz könnte unter Zielgruppen eingeordnet werden, als

- *ertragssichernde* Eigenschaft zur Gewährleistung einer höchstmöglichen Ausschöpfung des vorhandenen Ertragspotentials, insbesondere bei suboptimalem Nährstoffangebot;
- *ertragssteigernde* Eigenschaft, um bei maximalem Nährstoffangebot die physiologische Leistungsgrenze zu erweitern.

In der Regel wird Nährstoffeffizienz unter dem Aspekt der Ertragssicherung gesehen. Diese Sichtweise ist zu einseitig, weil die Suche nach dem physiologischen Engpaß der Nährstoffverwertung oder die positive Beeinflussung von Wurzeleigenschaften auch einer Erhöhung des Ertragspotentials dienen kann. Nährstoffeffizienz stellt daher ein Zuchtziel von Sorten für suboptimale und optimale Nährstoffbedingungen dar.

Diese Betrachtung wirft die Frage auf, warum es überhaupt sinnvoll sein könnte, ein zusätzliches Selektionskriterium "Nährstoffeffizienz" aufzunehmen. In den Überlegungen zur Formulierung eines weiteren Zuchtziels ist zumindest eine **gezielte** Suche nach einer weiteren Ertragssteigerung, sei es unter optimalen oder suboptimalen Nährstoffbedingungen, zu sehen. Ist es aber überhaupt sinnvoll und möglich, ein Zuchtziel "Nährstoffeffizienz" zu formulieren, wenn mit jeder züchterischen Ertragssteigerung zwangsläufig eine Verbesserung der Nährstoffnutzung einher geht?

Ein Zuchtziel "Nährstoffeffizienz" beinhaltet die Forderung nach einem weiteren Selektions- und Zulassungskriterium. Solange aber weitere Zuchtziele formuliert werden, ohne vorhandene aufzugeben, werden immer weniger Genotypen die gestellten Kriterien erfüllen können. Die Folge wäre ein weiterer Verlust der genetischen Diversität. Zwar ist die enge genetische Basis heutiger Sortimente zu beklagen (vgl. HOFFMANN et al. 1985), Bestrebungen in eine gegensätzliche Richtung sind aber bisher nicht festzustellen. Kann und soll der Ideotyp heutiger Nutzpflanzen eine Verkörperung quantitativ-multiresistenter Hohertragsorten darstellen, die mit hohen quantitativen und qualitativen Erträgen und allgemein guten agronomischen Eigenschaften nun auch noch nährstoffeffizient sein sollen?

Zusammenfassung

Zum Thema "Nährstoffeffizienz" liegt ein weites Spektrum wissenschaftlicher Untersuchungen der verschiedensten Fachgebiete vor. In diesem Beitrag wurden die vorhandenen Untersuchungsergebnisse anhand von zwei Formen der Charakterisierung nährstoffeffizienter Sorten strukturiert. Einerseits wird mit dem deskriptiven Ansatz eine Beurteilung der Ertragsleistungen einer Sorte in verschiedenen Nährstoff-Umwelten in den Vordergrund gestellt. Hieraus ist eine direkte Selektion unter Freilandbedingungen abzuleiten. Andererseits wurde eine analytische Charakterisierung formuliert, aus der eine indirekte Selektion von nährstoffeffizienten Eigenschaften als sekundäre Merkmale zu entwickeln ist. Die Vielzahl möglicher morphologischer, anatomischer und physiologischer Eigenschaften wurde in die Bereiche Aneignungs- und Verwertungseffizienz untergliedert. Eine Definition der Begriffe Low-Input Sorte, Nährstoff-, Verwertungs- und Aneignungseffizienz wurde einführend vorgenommen. Rechtliche und biologische Grenzen wurden anhand des Wertprüfungssystems und der genetischen Diversität aufgezeigt.

Literatur (in Originalpublikation aufgeführt)

Anfrage für Sonderdruck/Fotokopie an

Dr. Guido HAAS

AgrarIngenieurbüro Haas - www.agrarhaas.de - Email g.haas@agrارhaas.de

Ökologischer Landbau - Wasserschutz - Ökobilanzen - CO₂ Klimawandel

Beratung - Planung - Umsetzung - Gutachten - Studien - Vorträge

Organic AgroExpertise Consultancy - www.agroexpertise.de - Email g.haas@agroexpertise.de

Organic Farming - Watershed Management - Ecobalances - Climate Change

Advice - Development - Evaluation - Feasibility studies - Training