

Rapport B-124

**DAS VISUELLE ORIENTIERUNGSVERMÖGEN DER
SCHWEINE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER
BELEUCHTUNGSSTÄRKE**

RUTH GRAF

März 1976

Rapport B-124

**DAS VISUELLE ORIENTIERUNGSVERMÖGEN DER
SCHWEINE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER
BELEUCHTUNGSSTÄRKE**

RUTH GRAF

März 1976

INSTITUUT VOOR VEETEELTKUNDIG ONDERZOEK "SCHOONOORD"
Driebergseweg 10d - Zeist tel. 03404-17111

Dankwort

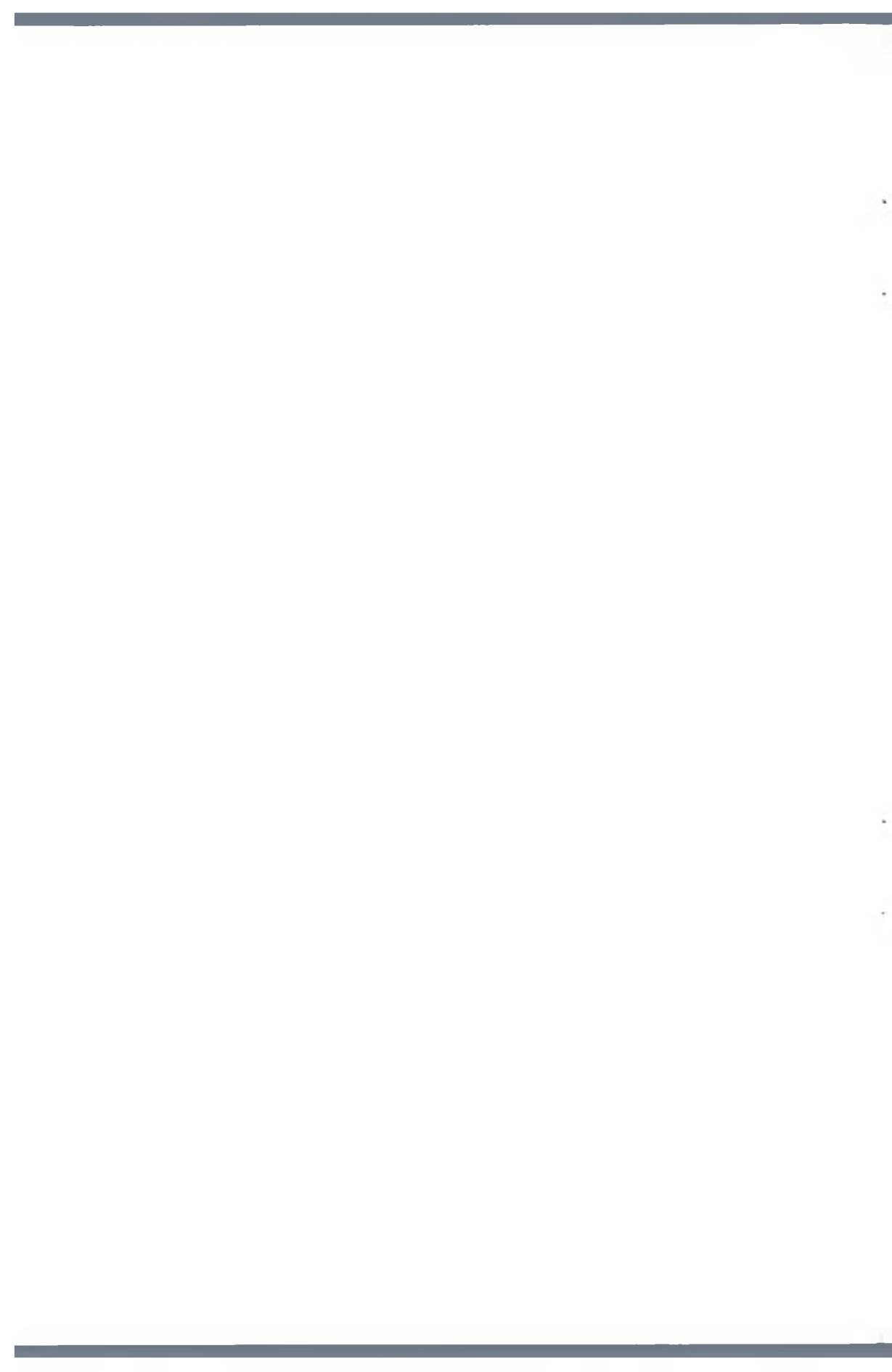
Die vorliegende Arbeit ist als Inauguraldissertation aus der Klinik für Nutztiere und Pferde (Direktor: Prof. Dr. H. Gerber) von der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Bern angenommen worden.

Die Versuche wurden mittels des Forschungsfonds für Nutztierhaltung des Migros-Genossenschaftsbundes finanziert.

Dank der grosszügigen Gastfreundschaft des "Instituut voor Veeteeltkundig Onderzoek (I.V.O.) 'Schoonoord'" in Zeist, Niederlande, konnten die Untersuchungen unter hervorragenden Bedingungen durchgeführt werden, wobei die Hilfe des technischen Dienstes des Institutes eine bedeutende Rolle spielte.

Die Führung des Projektes wurde durch Dr. G. van Putten, Ethologe am Institut, übernommen.

INHALT	Seite
1. EINLEITUNG	5
1.1. Zur Frage einer Definition, Qualifizierung und Quantifizierung von "Wohlbefinden"	6
1.2. Ethologische Methoden zur Feststellung verminderten Wohlbefindens	7
2. PROBLEMSTELLUNG UND ZIEL	9
3. HYPOTHESE	14
3.1. Theorie zur Verwendung des Landolt-C beim Menschen	14
3.2. Die Anwendung der Theorie in einem Dressurversuch mit Schweinen	16
4. VERSUCHSANORDNUNG	19
4.1. Tiermaterial und Haltung	19
4.2. Versuchsbucht	20
4.3. Dressur	24
5. VERSUCH	28
5.1. Lernprozess	28
5.2. Der eigentliche Versuch	32
6. ERGEBNISSE	36
6.1. Auswertung der Daten	36
6.2. Interpretation	42
6.3. Veränderungen der Motivation unter Einfluss des Lichtes	42
6.4. Weitere ethologische Ergebnisse	43
7. DISKUSSION	45
7.1. Faktoren, die ausser dem Licht das Verhalten der Schweine beeinflusst haben könnten	45
7.2. Geltungsbereich der Versuchsergebnisse	46
7.3. Schlussfolgerungen	47
ZUSAMMENFASSUNG	49
LITERATUR	51
SUMMARY	55



1. EINLEITUNG

Die Fragestellung nach dem Farbsehvermögen und der Orientierungsmöglichkeit der Schweine bei verschiedenen Beleuchtungsstärken scheint auf Anhieb eine rein wissenschaftliche zu sein. Sie hat aber auch einen praktischen Aspekt, indem es darum geht, zuverlässige Werte für die tiergerechte Beleuchtung von Schweineställen zu erhalten. Unsere Untersuchungen wurden mit Methoden der Ethologie, unter anderem mit Hilfe von Tierdressur und Verhaltensbeobachtungen durchgeführt. In dieser Einleitung soll die vorliegende Arbeit zuerst in den Aufgabenkreis der angewandten Ethologie eingeordnet werden.

Eines der Ziele, die sich die angewandte Ethologie gesetzt hat, ist, zuverlässige Kriterien für die Beurteilung des Wohlbefindens von landwirtschaftlichen Nutztieren zu suchen. Anhand solcher Kriterien sollte es möglich sein, die Ansprüche der Tiere bei der Konstruktion und Prüfung von Haltungssystemen zu berücksichtigen.

Die Anlage vieler neuer Stallformen für Schweine ist einseitig auf die Produktion von möglichst viel Fleisch unter geringstem Arbeitsaufwand ausgerichtet. Ein Stallsystem sollte jedoch in ausgeglichener Masse der Wirtschaftlichkeit, dem Wohlbefinden der Tiere, den Arbeitsbedingungen des Tierhalters und auch dem Umweltschutz Rechnung tragen. Aus einseitig wirtschaftlichem Interesse wurden bis jetzt die Belange der Tiere zuwenig berücksichtigt. Erst als Störungen mit ökonomisch nachteiligen Folgen auftraten, wurde man darauf aufmerksam, dass die Tiere in einer Umgebung leben, die fast ohne Rücksicht auf ihre Ansprüche konstruiert wurde.

Zuerst wird meist versucht, die auftretenden Übel symptomatisch zu bekämpfen. Gegen Schwanzbeissen und Kannibalismus der Schweine zum Beispiel, werden die Schwänze kupiert oder die Tiere im Dunkeln gehalten. Viele Störungen bei den in intensiven Haltungssystemen gehaltenen Nutztieren stehen jedoch im Zusammenhang mit ihrem stark eingeschränkten Wohlbefinden. Es führt nicht zur Beseitigung des Grundübel, wenn die Tiere daran gehindert werden ihr Unbehagen zu äussern. Es wird auch versucht das Problem durch die Zucht von weniger stressanfälligen Tieren zu lösen. Dies ist zeitraubend und aufwendig, unter anderem weil schon viele andere Faktoren wie zum Beispiel Muskelbildungsvermögen, Fruchtbarkeit und so weiter bei der Zucht berücksichtigt werden.

Es ist daher eher anzustreben durch systematische Forschung die Ansprüche der Tiere an ihre Umgebung zu erfassen. Dies ermöglicht eine Konstruktion von Stallsystemen, die den Tieren ein gewisses Mass an Wohlbefinden garantieren.

1.1. Zur Frage einer Definition, Qualifizierung und Quantifizierung von "Wohlbefinden"

"Wohlbefinden" ist nur relativ erfassbar. Eine "Arbeitsdefinition" von Wohlbefinden, die auf schon definierte Begriffe Bezug nimmt, lautet folgendermassen: "Es handelt sich um einen Zustand physischer und psychischer Harmonie des Tieres in sich und mit der Umwelt. Regelmässige Anzeichen des Wohlbefindens sind Gesundheit und ein in jeder Beziehung normales Verhalten" (LORZ, 1973). "Die Umgebung soll so strukturiert sein, dass dem Tier eine Adaptation möglich ist" (VAN PUTTEN, 1973). Die drei Begriffe "Wohlbefinden", "Harmonie" und "Adaptation" nehmen sowohl auf physiologische, wie auf ethologische Kriterien Bezug. Wenn ein Tier in physiologischem Sinne nicht in Harmonie mit seiner Umgebung lebt, kann das zum Beispiel bedeuten, dass es die Temperatur der Umgebung als zu warm oder zu kalt empfindet. Möglichkeit zur Adaptation würde heissen, dass sowohl ein wärmeisolierter Platz, möglichst mit Stroh, als auch eine kühle Fläche oder Wasser vorhanden sind, die dem Tier erlauben, sich vor übermässigen Temperaturschwankungen zu schützen.

Der Begriff "Adaptation" wurde durch McBRIDE (1968) definiert: "Unter Adaptation versteht man Reaktionen im Verhalten von Individuen, welche darauf ausgerichtet sind, "Stress" oder "Strain" einzuschränken." "Stress" (SELYE, 1973) ist in der modernen Definition die unspezifische Reaktion des Körpers auf jede Belastung". Es gibt sowohl physiologischen Stress, wie zum Beispiel durch extreme Klimaunterschiede, als auch sozialen Stress, wie er durch die Überbelegung eines Stalles entstehen kann. Der Organismus reagiert auf Stress mit dem sogenannten "General Adaptation Syndrome", das heisst unter anderem mit Nebennierenvergrösserung und mit vermehrter Sekretion von Corticosteroiden (SELYE, 1973). Nach dem "Rapport van de commissie veehouderij - welzijn dieren" (N.R.L.O., 1975) sind Hinweise für ein vermindertes Wohlbefinden:

1. Erhöhung von Stress mit dessen Kurzzeitreaktionen (Erhöhung des ACTH-Spiegels, fight-, fright- and flight-syndrome) und mit Langzeitreaktionen (Erhöhung des Corticosteroidspiegels, etc.).
2. Äusserungen einer Blockierung des normalen Ablaufs von Verhaltensweisen (zum Beispiel Frustration: Kompromissverhalten, autonome Defäkationen, autonome Miktionen, Übersprungshandlungen, Ersatzhandlungen, sexuelle Inversion, Regression, Immobilität, Aggressivität) (HINDE, 1970).
3. Äusserungen von offensichtlichem Leiden, mit deutlichen äusseren Symptomen wie Schreien vor Schmerz, Angstzittern, etc.
4. Erhöhung der Morbidität, das heisst vermehrte Frequenz im Vorkommen von Krank-

heiten, sowie Zustände, die sich äussern durch Symptome von Schmerz, Fieber, Juckreiz, Hunger, Durst, Unbequemlichkeit, Schwäche und sich krankfühlen.
5. Erhöhung der Mortalität (eine erhöhte Sterbeziffer).

1.2. Ethologische Methoden zur Feststellung verminderten Wohlbefindens

Verglichen wird das Verhalten von Tieren in zwei unterschiedlich strukturierten Haltungssystemen. Bei den intensiven Haltungssystemen handelt es sich meist um eine sogenannte übersimplifizierte Umgebung, die kaum variiert und zur Äusserung des normalen Verhaltens zuwenig geeignete Stimuli bietet. Wenn das Verhalten in einer derart eintönigen Umgebung verglichen wird mit dem Verhalten in einer Umgebung, die reich ist an Reizen, zeigen sich deutliche Unterschiede in der Frequenz des Vorkommens verschiedener Verhaltensmuster (VAN PUTTEN und DAMMERS, 1976). Ein Teil dieser Verhaltensweisen fällt in die Kategorie des "Konfliktverhaltens", der Stereotypen oder des gestörten Sozialverhaltens. Diese kommen in eintönigen Systemen vermehrt vor. Es werden aber auch Verhaltensweisen beobachtet, die im eintönigen System weniger oft auftreten als in einer reizreichen Umgebung. Es handelt sich dabei um Komponenten des Normalverhaltens. SEVENSTER schreibt in "Legbatterijen; derde rapport van de Studiecommissie Intensive Veehouderij" (Nederlandse Vereniging tot Bescherming van Dieren, 1975): "Ethologisch gesprochen ist das Wohlbefinden des Tieres optimal in einer Umgebung, in der es nicht behindert wird im Äussern seines Verhaltensmusters, aber auch geschützt ist gegen eine übermässige Aktivierung eines bestimmten Verhaltenssystems." Das würde heissen, dass in einer Umgebung, in der abnormale Verhaltensweisen in stark erhöhter und das Normalverhalten in erniedrigter Frequenz vorkommen, das Wohlbefinden der Tiere erheblich eingeschränkt ist. Die Festlegung der Grenzen ist dabei eine Frage der Ethik und der Möglichkeiten.

"Konfliktverhalten" und "Stereotypen" entstehen, wenn ein Tier keine passenden Reize zur Auslösung seiner Verhaltensweisen findet. Es kann sich dabei um Verhaltensweisen handeln, die sowohl in freier Wildbahn, wie beim domestizierten Tier funktionell wichtig sind (Nahrungsaufnahme) oder um solche, die in der Stallhaltung ihren Funktionswert verloren haben. SAMBRAUS (1975) erwähnt als Beispiel für eine angeborene Verhaltensweise, die von einem Nutztier in Stallhaltung ohne direkte Zweckerfüllung durchgeführt wird, das Wühlen des Schweines. Es wird oft verkannt, dass bei Haus- und Nutztieren der Drang zur Ausübung funktionslos gewordener Verhaltensweisen im selben Ausmass vorhanden sein kann wie für Verhaltensweisen, die noch einen Zweck erfüllen.

Sobald ein Tier den Drang zur Ausübung einer bestimmten Verhaltensweise ver-

spürt, beginnt die Suche nach einem spezifischen Reiz (Appetenzverhalten). Der auslösende Reiz geht vom Objekt aus, das nachher die "Konsumation" garantiert. Nach der "Konsumation", das heisst, nachdem das Verhalten, durch den spezifischen Reiz ausgelöst, abgelaufen ist, erfährt das Tier Befriedigung. Es führt fast zur selben Befriedigung, wenn das Verhalten nur "adaptiv" ablaufen kann. Dazu nochmals das Beispiel des wühlenden Schweines: Der Drang zum Wühlen besteht. Funktion des Wühlens wäre das Auffinden von Nahrung im Boden. Auch beim gesättigten Hausschwein kann man vor allem nach dem Fressen das Wühlen im Stroh beobachten, obwohl es sich in diesem Falle offensichtlich nicht um Nahrungssuche handelt. Dieses Verhalten ist als Adaptation zu bezeichnen. Das eben erwähnte Beispiel demonstriert ein Tier, das in Harmonie mit seiner Umgebung lebt, da es seine Verhaltensweisen ausführen kann.

Eine Disharmonie besteht bei einem Misverhältnis zwischen Angebot und Bedarf an geeigneten Reizen. Bei einem Mangel an Stimuli wird das Appetenzverhalten frustriert. Da spezifische Reize fehlen, wird der Drang zur Ausübung gewisser Verhaltensweisen nicht befriedigt. Daher kann schliesslich "Konfliktverhalten" entstehen (HINDE, 1970).

Disharmonie und Konfliktsituation bei Mangel an auslösenden Reizen führen eventuell auch zu Apathie und/oder zu Stereotypen. Stereotypen werden beschrieben als "ein abweichendes Verhaltensmuster, wiederholt mit monotoner Regelmässigkeit und festgelegt bis in alle Details" (KILEY, 1973).

Die abnormalen Verhaltensweisen, die unter "Konfliktverhalten", und "Stereotypen" fallen, treten also in einer eintönigen, reizarmen Umgebung vermehrt auf (VAN PUTTEN und DAMMERS, 1976). Daraus lässt sich schliessen, dass eine möglichst reichhaltig strukturierte Umgebung erheblich zur Steigerung des Wohlbefindens der Tiere beiträgt. Aus demselben Grund ist anzunehmen, dass es in einer aufgezogenen, eintönigen Umgebung, zum Wohlbefinden der Tiere positiv beiträgt, wenn diese wenigstens die Möglichkeit haben, die wenigen vorhandenen Strukturen und Reize in ihrer Umgebung mit allen ihren Sinnesorganen optimal wahrzunehmen. Man sollte daher für die landwirtschaftlichen Nutztiere in einem ersten Schritt sowohl die optimalen Bedingungen, wie die Grenzbedingungen für das Funktionieren der Sinnesorgane ermitteln. Nachdem diese bekannt sind, ist es angezeigt, in einem zweiten Schritt die Relevanz der betreffenden Sinnesorgane für das Wohlbefinden der Tiere unter den gegebenen Haltungsbedingungen abzuklären. In der vorliegenden Arbeit werden Grenzbedingungen für das Funktionieren des Schweinesauges gesucht. Dabei soll festgestellt werden bei welchen Lichtverhältnissen das Schwein noch optimal sehen kann und wo für das Schweineauge die Grenzen des Farbensehens und der Schwarzweissorientierung liegen.

2. PROBLEMSTELLUNG UND ZIEL

In den letzten Jahren werden vermehrt Dunkelställe für Schweine gebaut, da diese als billiger gelten, die Tiere sich im Finstern ruhiger verhalten sollen und zu dem das Klima in fensterlosen Gebäuden leichter gleichmässig zu halten ist.

Der Einfluss des Faktors Beleuchtung in einem Haltungssystem kann von verschiedenen Gesichtspunkten aus beurteilt werden:

- Arbeitsbedingungen für den Tierhalter
- Bau- und Unterhaltskosten für den Stall
- Produktivität der Tiere
- Gesundheit der Tiere
- Tiergerechtes Verhalten.

Arbeitsbedingungen für den Tierhalter

Es existieren genaue Methoden zur Standardisierung des arbeitswirtschaftlich erforderlichen Lichtbedarfes in landwirtschaftlichen Produktionsbauten und daraus resultierende Empfehlungen für die notwendige Beleuchtungsstärke in Lux (NESS, 1968). Es hält sich jedoch kaum ein Mensch länger als 30 Minuten ununterbrochen im Dunkelstall auf. Für diese Zeit besteht die Möglichkeit einer genügenden künstlichen Beleuchtung des Arbeitsplatzes. Daher fällt dieses Kriterium als Grundlage für die Empfehlung bestimmter Beleuchtungsstärken in Schweineställen ausser Betracht.

Bau- und Unterhaltskosten für den Stall

Es wurde festgestellt, dass die Baukosten für den Dunkelstall niedriger liegen als bei Ställen mit Fenstern (KOOMANS und MERTENS, 1969; RIEMANN, 1966). Im Dunkelstall ist das Klima leichter innerhalb der geforderten Normen zu halten (BLENDL, 1965; KOOMANS und MERTENS, 1966).

Produktivität der Tiere

Futtermittelverwertung und die tägliche Zunahme des Körpergewichts ergeben im Dunkel- und im Hellstall keine signifikanten Unterschiede (BLENDL, 1966; BLÖDOW, 1969; BRAUDE und MITCHELL, 1958; COMBERG, 1968; DUFOUR und BERNARD, 1969; SCHOLZ und LIPS, 1964; SCHREMMER u.a., 1968).

Der Fettansatz fiel bei im Dunkeln gehaltenen Schweinen in einigen Versuchen signifikant höher aus als bei Tieren im Hellstall (COMBERG, 1966, 1967; KLOCHKOVA und EMME, 1961; SCHOLZ und LIPS, 1964).

Der Einfluss des Lichtes auf Zuchttiere scheint deutlich zu sein. Bei im Dunkeln gehaltenen Zuchtebern sind die Deckleistungsdauer und Spermaqualität vermindert (STEGEGER u.a., 1971). Nach KLOTCHOV (1974) dauert die Brunst länger und die Wurfgrösse nimmt um 0,8 bis 2,7 Ferkel pro Wurf zu bei Sauen, die bei einer Taglänge

zwischen 17 und 24 Stunden gehalten werden. Im Dunkeln gehaltene Sauen erreichen 11 Tage früher die Geschlechtsreife als bei Tageslicht aufgezogene (DUFOUR und BERNARD, 1968).

Gesundheit der Tiere

Der Einfluss des Lichtes auf die Gesundheit der Schweine wurde noch kaum geprüft. Einige unterschiedliche physiologische Befunde bei Schweinen, die im Dunkeln gehalten werden und solchen, die längere Zeit Licht erhalten, sind jedoch bekannt. Bei im Dunkeln gehaltenen Tieren wurden ein erhöhter Serumalbuminspiegel im Blut, sowie ein gesenkter Cholesterinspiegel (BLÖDOW, 1969) und ausserdem vermehrt Vitamin A in der Leber und vermehrt Jod in der Schilddrüse festgestellt (BLÖDOW, 1969; SCHREMMER u.a. 1968). Dies ist auf die bei Lichtmangel verminderte Aktivität der Schilddrüse zurückzuführen (KLOCHKOVA, 1961).

Es ist allgemein bekannt, dass Licht einen nachhaltigen Einfluss auf Gesundheit und Kondition jedes Organismus ausübt. Es beeinflusst Stoffwechsel und Nervensystem erstens über die Haut und zweitens durch das Auge (HEUSSER, 1959). Dabei führt vom Auge ein Teil des N. Opticus als direkte energetische Sehbahn zur Hypophyse und bewirkt dadurch den direkten Einfluss des Lichtes auf den Hormonhaushalt (HOLLWICH, 1964).

HEUSSER schreibt in "Licht und Haustier" (1959): "Es handelt sich bei der Sonnenstrahlung nur um einen Faktor, der zur Hebung der Gesundheit beiträgt. In Anbetracht der bereits sehr hohen und weiter steigenden Leistungsanforderungen aber, wie sie heute an unsere landwirtschaftlichen Nutztiere gestellt werden, müssen je länger je mehr möglichst alle gesundheitsfördernden Haltungssysteme herangezogen werden."

Tiergerechtes Verhalten

Der Faktor Wohlbefinden der Tiere wurde bei der Empfehlung von Dunkelställen zu wenig beachtet. Es wird im Gegenteil empfohlen, Schweine im Dunkeln zu halten gerade weil unter unzulänglichen Haltungsbedingungen Verhaltensstörungen, wie zum Beispiel Schwanzbeissen und Kannibalismus auftreten. Dunkelhaltung, durch die man die Tiere zu Inaktivität zwingt, löst jedoch das Problem nicht. Es sollten Alternativsysteme gesucht und geprüft werden, die derart gestaltet sind, dass die Tiere sich darin adaptieren können. In erster Linie würde Stroh zur Bereicherung einer übersimplifizierten Umgebung beitragen. Schwanzbeissen und Kannibalismus können durch die Verabreichung von zum Beispiel 100 g Stroh pro Tier und Tag zum grössten Teil verhindert werden (V.HOFSTEN, 1970).

Es wird versucht die Dunkelhaltung in Bezug auf das Wohlbefinden zu rechtfertigen, indem man auf die ungeprüft überleiferte Meinung verweist, dass das Schwein ein "Dämmerungstier" sei. Es ist jedoch bekannt, dass die Morphologie des Schweine-

auges im Vergleich zu andern Haustieren und zum Menschen, derjenigen des Menschenauges am ehesten entspricht. Dies lässt sogar vermuten, dass Schweine früher ausgesprochene "Tagtiere" waren und erst durch den Menschen in eine andere Lebensweise gedrängt wurden (PRINCE, 1960).

KLOPFER (1965) hat in Dressurversuchen bewiesen, dass Schweine Farben im Bereiche von 420 bis 680 nm auf ähnliche Weise wahrnehmen können, wie der Mensch. Tiere, die während des Tages aktiv sind, haben normalerweise ein besseres Farbsehen, ein besseres Unterscheidungsvermögen und eine bessere visuelle Lernfähigkeit als Tiere mit einer nächtlichen Aktivität. Die Retina der Nachttiere ist relativ reicher an Stäbchen als diejenige der Tagtiere. Die Retina des Schweineauges ist reich an kurzen, dicken Zapfen, was nicht charakteristisch ist für Nachttiere und man findet kein tapetum lucidum. Die zwei Aktivitätsperioden der Mastschweine dauern je nach Fütterungszeiten ca. von 5.00 bis 10.00 und von 13.00 bis 20.00 (VAN PUTTEN, 1968). Die Tiere sind also während des Tages sehr lange aktiv. Es ist bekannt, dass die sozialen Kontakte unter den Schweinen in völliger Dunkelheit stark gestört sind (VAN PUTTEN, 1968). In dieser Beziehung dürfte schon wenig Licht die Situation verbessern.

Viele der angegebenen Daten, vor allem was die Produktivität der Tiere in Dunkel- und Hellställen betrifft, stammen aus Versuchen, in denen die Beleuchtungsstärke nicht genau, in Lux gemessen, angegeben wird. Die Ergebnisse sind nicht vergleichbar, weil sowohl die Dunkel- wie die Hellställe noch untereinander verschieden stark beleuchtet waren, und zudem ausser dem Licht auch noch andere variable Faktoren, wie Fütterung, Klima, usw. die Befunde unterschiedlich beeinflusst haben können. Empfehlungen über die "optimale" Beleuchtung von Schweineställen wurden bis jetzt willkürlich gemacht. IVOS (1958) empfiehlt 20 Lux, gibt dabei jedoch nicht an, auf welcher Höhe und auf welche Weise er das Licht misst. Es besteht ein grosser Unterschied, ob die 20 Lux beim Fenster, auf der Höhe des Menschenauges oder auf der Höhe des Schweineauges gemessen werden und auch ob man das Messinstrument horizontal oder vertikal hält.

Zudem ist nicht bekannt, ob die Schweine bei der empfohlenen Beleuchtung von 20 Lux noch die Möglichkeit haben, alle visuellen Reize optimal wahrzunehmen.

Bevor daher Empfehlungen für eine tiergerechte Beleuchtung in Schweineställen gemacht werden, sollte bekannt sein, in welchem Masse das Sehvermögen der Schweine durch das Licht beeinflusst wird.

Ziel des Versuches

Das Ziel dieser Arbeit liegt darin, Referenzwerte für das Messen und Beurteilen der Beleuchtungsstärke in Schweineställen zu finden. Da das Licht seinen Haupteinfluss auf das Wohlbefinden (Physiologie und Verhalten) der Schweine durch das

Auge ausübt, ist es naheliegend, die Wahrnehmungsmöglichkeiten durch das Auge als Kriterium für den Lichtbedarf zu messen. Farbsehen setzt eine Beleuchtung voraus, die das Funktionieren beider Arten von Photorezeptoren ermöglicht. In diesem Falle dürfte das Licht auch seinen Einfluss auf das vegetative Nervensystem und auf den Hormonhaushalt in genügendem Masse ausüben können. Ausserdem ist Gewähr geboten, dass dem Tier das Wahrnehmen aller optischen Reize in der Umgebung ermöglicht ist.

Es soll geprüft werden, wieviel Licht das Schweineauge braucht, um optimal funktionieren zu können. Zu diesem Zweck sollen drei Beleuchtungsstärken als Grenzwerte ermittelt werden. Der erste Wert bezeichnet den minimalen Lichtbedarf für das Schwein, um Farben zu sehen, der zweite das Minimum an Licht, das vom Schwein benötigt wird, um sich noch schwarzweiss orientieren zu können, und der dritte Wert soll die Grenze der Sehmöglichkeit überhaupt angeben.

Sinneswahrnehmungen sind abhängig von der Perzeption durch das Sinnesorgan und der Interpretation im Gehirn des Individuums. Auf diese Art beeinflussen sie die subjektiven Empfindungen des Tieres. Im Gegensatz zu Methoden, bei denen ein bestimmter Funktionskreis des Organismus isoliert betrachtet werden muss, erlauben die Methoden der Ethologie das Tier in seiner ganzen Komplexität zu erfassen. Verhalten wird dabei als Ausdruck oder als Reaktion auf eine subjektive Empfindung gewertet. Deshalb wird hier der Einfluss des Lichtes auf Schweine mit ethologischen Methoden gemessen. Indem wir registrieren, wie sich die Tiere bei verschiedenen Beleuchtungsstärken angelernten Figuren gegenüber verhalten, gewinnen wir Informationen über die Art und Weise, wie die Tiere Zeichen unter den gegebenen Umständen subjektiv wahrnehmen können. Werden bei bestimmten Lichtstärken bei allen Tieren deutliche Veränderungen des Verhaltens festgestellt, nehmen wir an, dass es sich dabei um eine Äusserung infolge einer Übergangs- oder Grenzsituation in der Möglichkeit der visuellen Wahrnehmung handelt. Dies lässt dann auch Rückschlüsse auf das Vorhandensein physiologischer Schwellen zu.

Fig. 1. Research stable. The lighting (fluorescent tubes) is adjustable by means of a grating.



Abb. 1. Versuchsstall mit durch Raster einstellbarer Beleuchtung (Fluoreszenzröhren).

3. HYPOTHESE

Aus Morphologie und Experimenten kann geschlossen werden, dass das Auge des Schweines demjenigen des Menschen sehr ähnlich ist und deshalb das Schwein seine Umgebung in Bezug auf Farben- und Formensehen ähnlich wahrnehmen dürfte wie der Mensch (BEAUCHEMIN, 1974; PRINCE, 1969; KLOPFER, 1965).

Besprechungen mit Sinnesphysiologen haben ergeben, dass es besser ist, bei den bestehenden Voraussetzungen auf das Experimentieren mit Farben zu verzichten, da Farbwahrnehmung an sich etwas Subjektives ist und daher nur beim Menschen genauer erfasst werden kann. Nur vom Menschen ist es möglich, genauere Angaben zu erhalten über die Art, wie Licht verschiedener Wellenlängen in bestimmten Situationen empfunden wird. Es würde beispielsweise ein gut ausgestattetes Labor und 5 bis 10 Jahre Zeit erfordern, um für das Schwein das Ausmass der Wirkung des Purkinje-Effektes herauszufinden (Purkinje-Effekt: Die kürzeren Wellenlängen werden von Menschen im Vergleich zu den längeren Wellenlängen heller empfunden, wenn die Beleuchtung reduziert wird). Erst dann wäre es möglich, pro Lichtstufe an das Schweineauge angepasst, "Farben gleicher Helligkeit" herzustellen.

3.1. Theorie zur Verwendung des Landolt - C beim Menschen

In der Retina befinden sich zwei Arten Fotorezeptoren, wovon die einen dem Farbsehen dienen (Zäpfchen) und gleichzeitig für erhöhte Sehschärfe verantwortlich sind. Die Zäpfchen brauchen eine gewisse Beleuchtung, um funktionieren zu können. Die anderen Photorezeptoren (Stäbchen) sind für die Schwarzweisswahrnehmung bei verminderter Lichtstärke vorgesehen.

Beim Menschen wurde festgestellt, dass das photopische Sehen mit erhöhter Sehschärfe einhergeht. Nach der Theorie von PIRENNE (1960) soll dies auf einer unterschiedlichen Innervation verschiedener Gruppen von Lichtrezeptoren begründet sein. Die grössten Gruppen sollen dabei aus Tausenden von Stäbchen in der Peripherie der Retina bestehen, wobei die Lichtreize, die auf diese Rezeptoren treffen, alle in einer Nervenbahn vereinigt, zentral gemeinsam registriert werden. Die kleinsten dieser "Lichtdetektoren" bestehen aus einzelnen Zäpfchen, wobei jeder einzelne Rezeptor eine eigene Nervenbahn zum Zentrum hat. Mit anderen Worten heisst das, dass beim Menschen der Zusammenhang zwischen photopischem Sehen und erhöhter Sehschärfe abhängt:

1. von der unterschiedlichen Morphologie und Innervation der Photorezeptoren;
2. von dem Verhältnis und der Anordnung der beiden Arten Photorezeptoren zueinander.

Der Zusammenhang zwischen photopischem Sehen und gleichzeitig erhöhter Sehschärfe konnte in unserer Versuchsanordnung verwendet werden. Photopisches Sehen bedeutet Sehen mit den Zäpfchen. Sowohl Farbsehen wie optimale Sehschärfe sind nur möglich, wenn die Zäpfchen in Funktion sind. Damit die Zäpfchen funktionieren können, ist eine gewisse Beleuchtungsstärke erforderlich. Eine Prüfung des Visus in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke gibt deshalb gleichzeitig Aufschluss über das Lichtniveau, bei dem optimale Sehschärfe und Farbsehen möglich sind. Die erwähnten Schwierigkeiten beim Experimentieren mit Farben werden dabei umgangen.

Der Visus ist definiert als $1/a$, wobei a = Sehwinkel in Bogenminuten. Der Visus ist eine Messgrösse zum Erfassen der Sehschärfe unter definierten Bedingungen. Eine Methode der Visusmessung beruht darauf, dass eine Figur von bestimmtem Kontrast (schwarzweiss), gewisser Grösse und in einem gewissen Abstand vom Auge (enthalten in der Definition des Visus), bei einer festgelegten Beleuchtung erkannt werden muss. Als Messkriterium ob die Figur erkannt wird, dienen Aussagen der Person, bei der der Visus gemessen werden soll.

Von den gegebenen Bedingungen (Kontrast, Grösse, Abstand der Figur vom Auge, Beleuchtung) kann eine als Variable dienen, während die Sehschärfe in Abhängigkeit von dieser Variablen geprüft wird. In dieser Versuchsanordnung dient die Beleuchtung als Variable und die anderen Faktoren werden konstant gehalten.

In der Humanophthalmologie verwendet man unter anderem für die Visusmessung das Landolt-C als definierte Standardfigur (Internationaler Augenheilkundekongress, 1909). Die Lücke im C ist das Mass für den Sehwinkel, also $= a$. Wie weit diese Lücke ist, hängt ab von der Grösse der Figur, da ihre Grössenverhältnisse konstant sind (VOS, 1969).

Wird nun bei abnehmender Beleuchtung und gleichbleibender Wellenlänge die Sehschärfe gemessen, indem man die Zunahme der Fehler beim richtigen Erkennen eines Details (Lücke im Landolt-C) erfasst, resultiert beim Menschen theoretisch die Kurvenform von Abb. 2.

Es sollte also möglich sein, die Bereiche der Beleuchtungsstärken folgender drei Übergänge anzugeben:

- den Übergang vom photopischen Sehen zum mesopischen Sehen;
- den Übergang vom mesopischen zum scotopischen Sehen;
- den Übergang vom scotopischen Sehen bis zu dem Niveau, wo eine visuelle Orientierung überhaupt nicht mehr möglich ist.

Photopisches Sehen bedeutet, dass alle Zäpfchen und Stäbchen funktionieren können. Farbsehen und Sehschärfe sind optimal. Im Bereich des mesopischen Sehens nimmt die Funktionsmöglichkeit der Zäpfchen ab. Beim scotopischen Sehen sind nur noch

Fig. 2. Number of mistakes in relation to the rate of lighting.

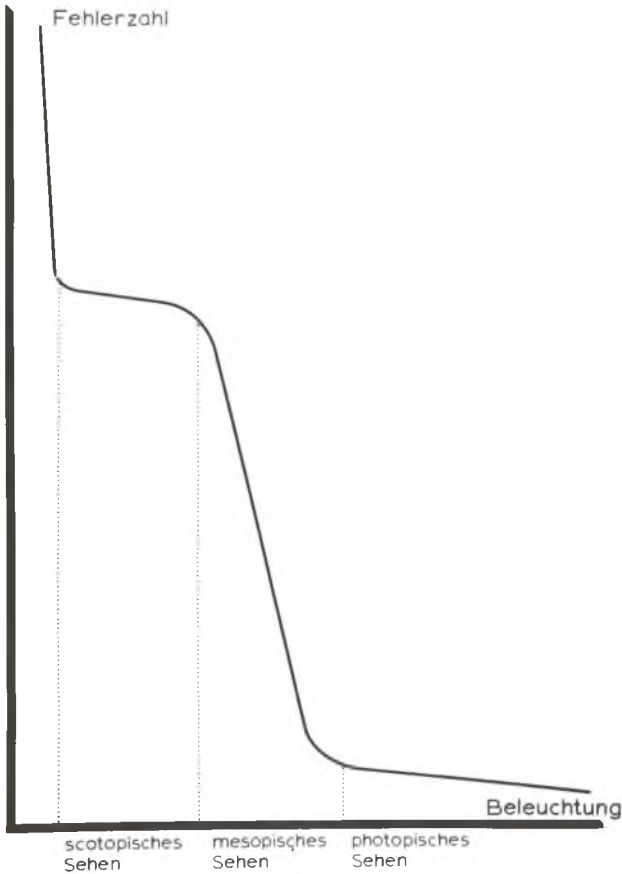


Abb. 2. Fehlerzahl bei zunehmender Beleuchtung.

die Stäbchen in Funktion. Dies bedeutet eine Beschränkung auf die Schwarzweisswahrnehmung.

3.2. Die Anwendung der Theorie in einem Dressurversuch mit Schweinen

Zuerst musste die Methode der Visusmessung beim Menschen derart angepasst werden, dass sie als Dressurversuch mit Schweinen durchgeführt werden konnte. Die Absicht war Schweine auf das Landolt-C zu dressieren, um festzustellen, bei welcher Be-

leuchtung sie die Öffnung im C noch sehen. Zu diesem Zweck musste eine zweite Figur als Alternative geboten werden. Die Wahl fiel auf einen Kreis mit denselben Verhältnissen wie das Landolt-C, der als negatives Zeichen geboten werden soll. Sobald das C nicht mehr deutlich gesehen wird, kann es auch als Kreis interpretiert werden und das Discriminieren des Kreises wird unmöglich.

Für die Visusmessung beim Schwein legten wir folgende Grössen fest:

- Kontrast: Schwarze Zeichen auf weissem Hintergrund
- Abstand der Zeichen vom Auge: 60 cm (Erklärung, siehe 4.3.)
- Anfangsbeleuchtung: 200 Lux, 35 cm über dem Boden, vertikal gemessen
- Grösse der Zeichen: Ein Landolt-C mit dem Durchmesser 10 cm und einer Lücke von 18 mm, was einer Sehschärfe von ca. 103 Bogenminuten oder einem Visus von ca. 0,01 entspricht (Erklärung, siehe 5.1.).

Die Schweine wurden darauf dressiert, das Landolt-C als positives Zeichen vom gleichgrossen Kreis als negatives Zeichen zu unterscheiden (Abb. 3). Danach verminderte man die Beleuchtungsstärke schrittweise und zählte dabei die Anzahl Fehler, die bei der Wahl des Landolt-C aus dem Abstand von 60 cm vorkamen. Nach der Theorie war zu erwarten, dass die Kurve der Negativwahlen an zwei Stellen stark umbiegen würde, nämlich beim Übergang vom photopischen Sehen zum mesopischen Sehen und bei der Grenze vom mesopischen Sehen zum rein scotopischen Sehen (siehe 3.1.). Zudem sollte ein Lichtniveau gefunden werden, in dessen Bereich die Tiere nur noch 50 % Richtigwahlen treffen, weil sie zufällig wählen, oder wo sie überhaupt nicht mehr wählen, da sie nichts mehr sehen.

Wir beschlossen, die Sehschärfenmessungen bei einer Beleuchtung von 200 Lux zu beginnen und dann stufenweise die Luxzahl immer zu halbieren. Literaturangaben (REIHER, 1969) und eigene Vorversuche führten zu dem Schluss, dass der Visus des Schweines um einen Faktor 10 bis 100⁷mal kleiner ist, als derjenige des Menschen. Daher nahmen wir an, dass beim Schwein mit der geringeren Sehschärfe die gesuchten Übergänge photopisches, mesopisches, scotopisches Sehen nicht wie beim Menschen im Bereich von 10⁻² Lux liegen, sondern schon bei einem höheren Lichtniveau. Indem wir die Beleuchtung von 200 Lux an immer um die Hälfte reduzierten, rechneten wir damit, im relevanten Bereich möglichst viele Messungen zu erhalten.

Fig. 3. A Landolt-C and a circle. The pigs have to discriminate between these two signs.



Abb. 3. Ein sogenanntes Landolt-C und ein Kreis, Zeichen, die durch die Schweine unterschieden werden sollen.

4. VERSUCHSANORDNUNG

4.1. Tiermaterial und Haltung

Die zur Verfügung stehende Zeit reichte zur Durchführung von zwei Versuchsdurchgängen. Für jeden Versuchsdurchgang wurden fünf weibliche Ferkel der Kreuzung G-Yorkshire x N-Landrassie aus verschiedenen Würfen, im Alter von zwei Monaten gekauft. Diese Gebrauchskreuzung wird üblicherweise in der Praxis für die Mast verwendet. Sie verspricht dank dem Heterosiseffekt eine bessere Konstitution. Die Ohren sind halb stehend, so dass sie nicht sichtbehindernd wirken. Wir wählten nur weibliche Tiere, da wir ausser der Beleuchtung bei diesem Versuch möglichst alle anderen Faktoren konstant halten wollten. Der störende Einfluss der Verschiedengeschlechtigkeit der Versuchstiere auf die Dressur hätte erheblich sein können. Kastraten gelten ausserdem als träge. Die Vorbereitung und die Versuche dauerten für die erste Gruppe $2\frac{1}{2}$ Monate und für die zweite Gruppe $3\frac{1}{2}$ Monate. Den Rest ihrer Mastperiode verbrachten die Tiere anderswo.

Die Versuchstiere wurden von Anfang an in einem vollklimatisierten, schall- und lichtdicht abgeschlossenen Stall einzeln in geräumigen (2 x 2 m.) dänischen Buchten auf Stroh gehalten. Vor jeder Neuebelegung fand eine gründliche Reinigung und Desinfektion des Stalles statt.

Die Buchten wurden regelmässig durch einen Tierwärter entmistet. Ausser ihm und der Beobachterin hatte niemand Zutritt zum Stall. Ein Thermohygrograph, den wir zweimal pro Monat mittels eines Psychrometers eichten, registrierte laufend Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Stall. Für den Fall, dass die Ventilatoren ausfallen würden, war der Stall mit einer Alarmanlage ausgestattet. Über jeder Bucht hingen zwei Fluoreszenzröhren. Die Verdunkelung wurde durch Raster geregelt, damit sich das Spektrum nicht veränderte. Die Beleuchtung entsprach im ganzen Stall immer dem jeweiligen Versuchsstadium, so dass den Tieren eine Adaptationszeit von mindestens 12 Stunden gewährt wurde.

Wir wählten die Einzelhaltung, da wir aus Erfahrung wussten, dass allein gehaltene Tiere schneller Vertrauen zu Menschen fassen und für Abwechslungen, wie sie Dressur und Versuche bieten, noch empfänglicher sind als Tiere in Gruppenhaltung. Ausserdem ermöglichte nur die Einzelhaltung eine individuelle Futterzuteilung. Es war so auch einfacher, die Schweine einzeln für die Übungen in die Versuchsbucht zu führen, ohne dass bei den anderen Tieren Unruhe entstand. Während einer Eingewöhnungszeit von ca. zwei Wochen lernten die Ferkel, sich mit der Einzelhaltung abzufinden und hatten zugleich ersten, spielerischen Kontakt mit der Beobachterin. Sie wurden während dieser Zeit entwurmt und gegen Ektopara-

siten behandelt. Die Gesundheit der Tiere stand unter ständiger Kontrolle. Während der Eingewöhnungszeit fand auch die Umstellung von Ferkel- auf Mastpellets statt. Die Futtermenge wurde durch Erfahrung bei Dressur und Versuchen bestimmt (siehe 4.3.). Die Fütterung wurde von Anfang an durch die Beobachterin übernommen. Jede Einzelbucht, wie auch die Versuchsbucht waren mit einem Trinknippel ausgestattet. Wasser stand ad libitum zur Verfügung.

4.2. Versuchsbucht

Fig. 4. Plan of the test-pen.

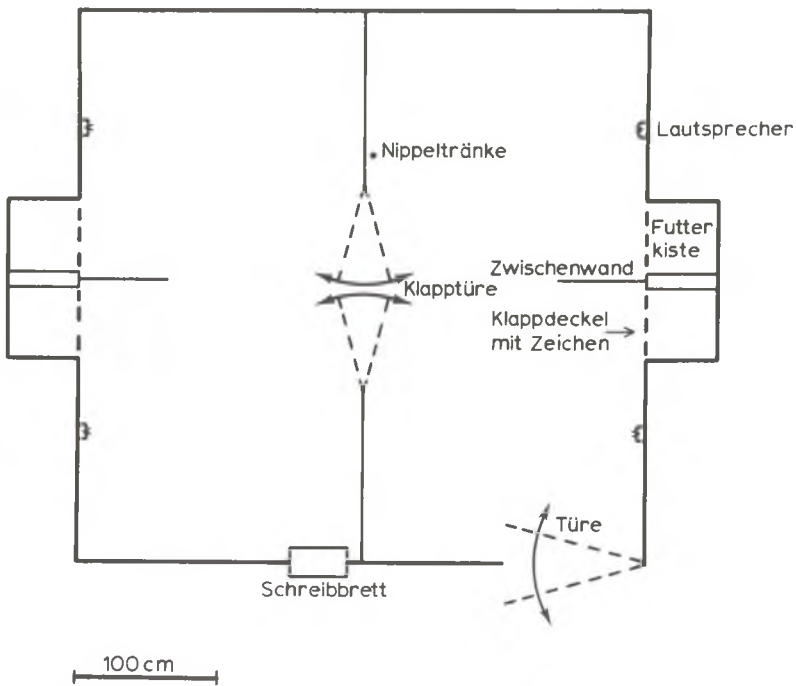


Abb. 4. Grundriss der Versuchsbucht.

Fig. 5. The connecting door is controlled from the outside of the test-pen.

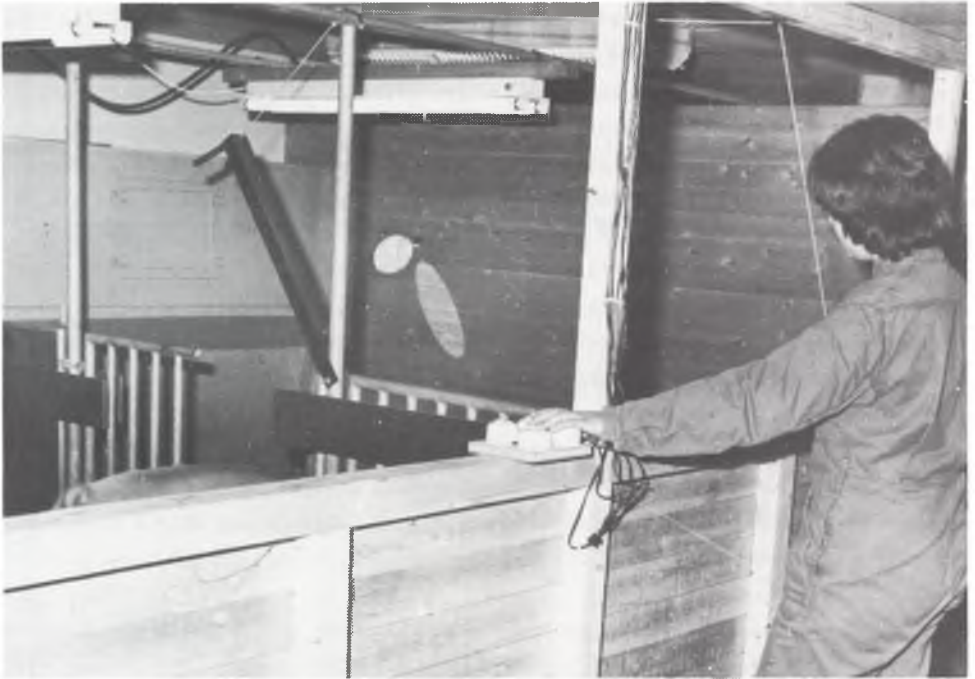


Abb. 5. Die Bedienung der Mitteltüre erfolgte von ausserhalb der Bucht aus.

Die Versuche fanden im gleichen Raum statt, in dem sich die Tiere dauernd aufhielten.

Zu diesem Zwecke wurde eine rechteckige Versuchsbucht mit den Massen $4 \times 3,8$ m. konstruiert (Abb. 4). Die Wände bestanden aus hellem Fichtenholz und der Boden

aus isoliertem Asphalt. Eine Klapptüre aus Metallstangen unterteilte die Bucht in der Mitte. An der Breitseite waren je 2 Futterboxen an die Versuchsbucht angebaut. Deren Vorderwand bildete durch hängende Klappdeckel mit der Versuchsbucht eine Verbindung. Auf dieser Vorderwand konnten die Plakate mit den Zeichen eingeschoben werden. Eine Öffnung in den Klappdeckeln ermöglichte das Messen der Beleuchtung genau am Ort der Wahlfiguren. Man hielt dazu das Messinstrument vertikal in diese Öffnungen, die sich 35 cm. über dem Boden befanden. Es erwies sich als notwendig, zwischen den Futterboxen eine Abschränkung von 60 x 60 cm. anzubringen (siehe 4.3.).

Die Bedienung der Mitteltüre und der Futterboxen erfolgte von ausserhalb der Bucht aus. Die Zeichen konnten von aussen gewechselt werden, indem man die Hängetüre um 180 Grad nach aussen, oben klappte. Die Handvoll Futter wurde ebenfalls von aussen in jede Boxe gegeben. Diejenigen Klappen, die mit dem negativen Zeichen versehen wurden, verriegelten wir von innen, für die Tiere nicht wahrnehmbar. Alle Futterkisten enthielten Pellets, um auszuschliessen, dass die Schweine nach Geruch wählten. Zur Herstellung der Plakate mit den Zeichen wurden die Figuren auf weissen Hintergrund gezeichnet und fotografiert. Die benötigten Vergrösserungen zogen wir mit Plasticfolie auf geölten Hartpavatex auf.

Neben jeder Futterboxe war ein kleiner Lautsprecher in der Wand eingebaut, womit in den ersten Tagen zur Unterstützung der Wahl hinter dem richtigen Zeichen ein Ton gegeben werden konnte (siehe 4.3.).

Der ganze Stall, inklusive Versuchsbucht, wurde durch Fluoreszenzröhren ("TL" M 40 W/33) von bekanntem Spektrum beleuchtet (Abb. 6). Es war angebracht, alle Lampen nach Beendigung eines Versuchsdurchganges auszuwechseln. Die Lichtmessungen wurden mit Hilfe eines Milliluxmeters (Beleuchtungsmesser EBLX 4 Hartmann & Braun) vorgenommen, das einen Messbereich von 0,01 Lux bis 10.000 Lux, einstellbar in 10 Stufen aufweist.

Die durch das Luxmeter gemessene spektrale Verteilung der Wellenlängen entspricht ziemlich genau derjenigen, wie sie durch das menschliche Auge wahrgenommen wird. Die Maximalwerte des photopischen und scotopischen Sehens sind beim Schwein nur wenig gegen diejenigen des Menschen verschoben. Beim Schwein liegt das Maximum des photopischen Sehens bei 575 nm (KLOPFER, 1965) und beim Menschen bei 555 nm (DAVSON, 1964). Das Luxmeter misst daher das Licht ziemlich genau, wie es durch das Schweineauge wahrgenommen wird (Abb. 7).

Fig. 6. Absolute spectral energy distribution of the light emitted by the fluorescent tubes W/33 (after Philips: "TL" fluorescentielampen-SO natriumlampen HP kwiklampen - MLL menglichtlampen; Eindhoven 1964).

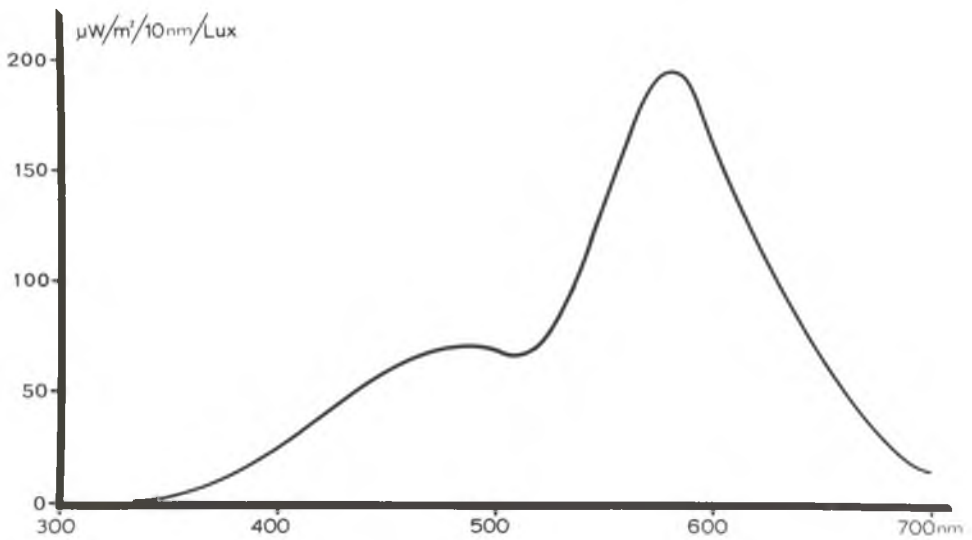


Abb. 6. Absolute spektrale Energieverteilung des ausgestrahlten Lichtes der verwendeten Fluoreszenzröhren W/33. (Nach Philips: "TL" fluorescentielampen - SO natriumlampen HP kwiklampen - MLL menglichtlampen; Eindhoven 1964).

Fig. 7. The relative spectral sensitivity of a pig eye (after KLOPFER, F.D., 1965. Visual learning in swine. In: Swine in biomedical research. Proceeding of an international symposium. Richland, Wash. 19-21 July) and the relative sensitivity of the lightmeter EBLX 4 (after HARTMANN & BRAUN. Mess- und Regeltechnik. Gebrauchsanweisung 42 EB 36-1). Pig-eye: interrupted line. Lightmeter: uninterrupted line.

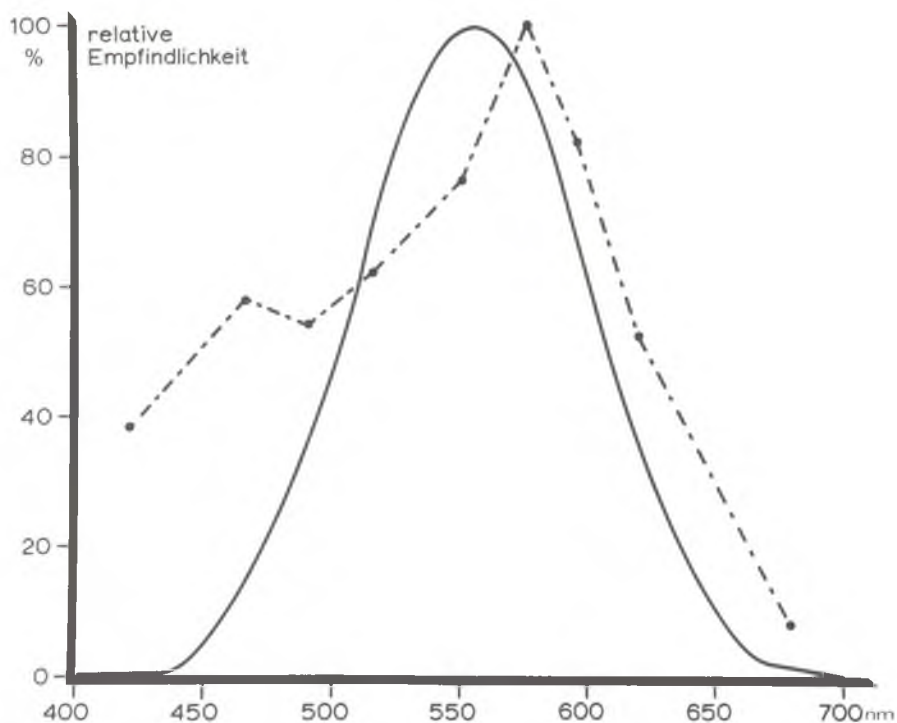


Abb. 7. Die relative spektrale Empfindlichkeit des Schweineauges (nach KLOPFER, F.D., 1965. Visual learning in Swine. In: Swine in biomedical research. Proceeding of an international symposium. Richland, Wash. 19-21 July) und die relative Empfindlichkeit des gebrauchten Beleuchtungsmessers EBLX 4 (nach HARTMANN & BRAUN. Mess- und Regeltechnik. Gebrauchsanweisung 42 EB 36-1.). Schweineauge: unterbrochene Linie. Beleuchtungsmesser: ununterbrochene Linie.

4.3. Dressur

Eine Dressur fällt bei jeder Tierart leicht und kann sogar mechnisiert werden, wenn man dabei von arttypischen Verhaltensweisen, wie beim Schwein zum Beispiel dem Explorationsverhalten, direkten Gebrauch machen kann. Die Motivation kann

dann auch gut durch einen einzigen Faktor, wie Hunger, oder "avoidance behaviour" gesteuert werden. Stellt man jedoch einem Tier eine Aufgabe, die eine andere als die artgemäss übliche Anwendung von Verhaltensweisen verlangt, ergeben sich bei der Dressur grössere Probleme. Das Erstellen einer geeigneten Versuchsanordnung und eine zuverlässige Dressur setzen eine detaillierte Kenntnis der Eigenheiten dieser Tierart voraus. Man muss genau wissen, welche Tätigkeiten und Umgebungsfaktoren die Aufmerksamkeit der Tiere am ehesten auf sich lenken und somit einen Trainingseffekt bewirken, oder andererseits einen Störungsfaktor darstellen können.

Für das Gelingen der Dressur und späterer Versuche war Voraussetzung, dass die Tiere genügend motiviert waren, um in der Versuchsanordnung eine bestimmte Aufgabe lösen zu lernen und später bei konstanter Motivation die erlernte Aufgabe zu wiederholen. Die Motivation bestimmt das Ziel eines Verhaltens und kann mehr oder weniger stark sein (HINDE, 1970). Ausgeprägte positive Motivierungsfaktoren sind beim Arbeiten mit Schweinen das Explorationsverhalten, der Spieltrieb und der Hunger. Eine Strafe wirkt erfahrungsgemäss auf die Motivation von Schweinen so stark negativ, dass es der Dressur schlecht zuträglich ist, wenn Schweine zu drastisch (zum Beispiel durch Elektroschock) bestraft werden. Durch die Strafe ausgelöstes "avoidance behaviour" überwiegt dann so stark, dass es alle anderen Verhaltensweisen inhibiert. Schweine sind schon rein durch Spielbetrieb und ihr ausgeprägtes Explorationsverhalten genügend motiviert, um etwas zu lernen. Sie lösen dadurch auch leicht mechanische Aufgaben, wie Türen und Futterklappen öffnen und Knöpfe drücken. Dies ist auf die dem Schwein eigene Art des Explorationsverhaltens zurückzuführen. Ein Schwein scheint sich visuell zu orientieren, um festzustellen, wo sich unbekannte Strukturen befinden. Die weitere Exploration geschieht dann taktil, indem das Tier mit der Rüsselscheibe gegen den betreffenden Gegenstand stösst und Wühlbewegungen ausführt. Wenn sich durch dieses Stossen eine Tür öffnet, oder ein Knopf drücken lässt, lernt das Tier am "Erfolgs erlebnis", (EIBL-EIBESFELDT, 1967) dass diese Gegenstände Reize bieten, um gewisse Verhaltensweisen abzureagieren. Explorationsverhalten, Wühltrieb und Spieltrieb motivieren das Schwein, diese Handlung zu wiederholen. Das schweinetypische Explorationsverhalten erschwert aber andererseits gerade die Dressur auf die ausschliesslich visuelle Wahl eines bestimmten Kennzeichens.

Unser Dressurziel bestand darin die Tiere zu lehren, ein Landolt-C als positives Zeichen gegen einen Kreis mit denselben Grössenverhältnissen als negatives Zeichen zu unterscheiden. Die Dressur fand regelmässig während der Aktivitätszeiten der Schweine statt. Die Versuchstiere lernten dank ihres Explorationsverhaltens fast

von selbst die Mitteltüre und die Futterklappen zu öffnen.

Zu Beginn des Trainings liessen wir jedes Tier, sooft es die Motivation zuliess, auf beiden Buchtseiten abwechselnd die Wahl zwischen den beiden Zeichen treffen, wobei es sich für das eine oder das andere entscheiden musste, bevor es die Schranke von 60 cm Länge passiert hatte. Drückte das Versuchstier auf den Deckel mit dem negativen Zeichen, so fand es diesen verschlossen, und das Futter in der Kiste blieb unerreichbar. Beim positiven Zeichen konnte es den Deckel mit der Nase aufdrücken und gelangte so zum Futter. Nachdem das Futter gefressen war, wandte sich das Tier um und wartete vor der Mitteltüre, bis man die Futterboxen auf der anderen Seite neu gefüllt hatte und eventuell auch die Zeichen gewechselt waren. (Die Reihenfolge der Zeichenauswechslung wurde vorher durch Würfeln bestimmt.) Sobald die Mitteltüre zur Passage freigegeben war, konnte das Schwein eine neue Wahl treffen.

Während der ersten drei Dressurstage wurde die Aufmerksamkeit der Tiere durch den Ton aus dem betreffenden Lautsprecher auf das richtige Zeichen gelenkt. In den nächsten zwei Tagen gingen wir mit der Lautstärke des Tones allmählich zurück, bis die Tiere von selbst erfassten, dass sie bei der Wahl der Futterklappen auf die Zeichen zu achten hatten. Mit der Zeit zogen die Schweine dann die richtige Wahl nach Orientierung an den Zeichen vor, da sie nach Falschwahl nur ungern durch Rückwärtsgehen oder Wenden die Zwischenwand umgingen. Ohne Zwischenwand probierten die Tiere einfach durch schnelles Drücken auf beide Deckel, hinter welchem das Futter wohl erreichbar sei. Die zwischen den zu unterscheidenden Zeichen aufgestellte Schranke wirkte demnach auf die Tiere als eine Art milde Strafe nach einer Negativwahl. Das Erfolgserlebnis blieb aus, indem sie erstens keine Futterklappe öffnen konnten und zweitens kein Futter erhielten. Sie mussten rückwärtsgehen oder wenden um zur positiven Seite zu gelangen, was die 4 Monate alten Schweine zu vermeiden suchten. Eine Schranke, die länger als 60 cm ist, wirkt nach unseren Erfahrungen auf Tiere im Alter von zwei bis vier Monaten verwirrend und motivationsvermindernd. Nach einer Falschwahl mussten die Tiere hier wenden und der langen Zwischenwand entlang so weit zurückgehen, dass sie gleich wieder vor der Mitteltüre standen. Anstatt zum positiven Zeichen hinüberzuwechseln postierten sie sich dann vor der Mitteltüre sofort wieder für eine neue Wahl. Somit konnten sie zuwenig oft die Erfahrung machen, dass hinter dem positiven Zeichen, Futter erreichbar ist und das Lernen am Erfolgserlebnis blieb aus.

In Vorversuchen hatten sich Vorratfütterung, teilweise Fütterung vor den Übungen, konstant etwas zu knappe Fütterung oder auch regelmässige Gabe derselben Portion an alle Tiere nicht bewährt. Am besten liess sich die Hungermotivation konstant halten, indem man Übungen und Versuche immer gerade vor der Fütterung durchführte und als

Belohnung das gewohnte Futter benützte. Den Rest ihrer Ration erhielten die Schweine immer gleich nach der Übung in ihrer Einzelbucht, am Boden. Nur selten kam es vor, dass ein Tier deswegen frühzeitig die Versuchsbucht verlassen wollte. In diesem Fall genügte es, das betreffende Tier erst nach Beendigung der Übungen mit allen Tieren zu füttern.

Da es sich um wachsende Tiere handelte und der Futterbedarf ausserdem durch andere Faktoren, wie zum Beispiel die Temperatur, beeinflusst wird, wechselte die Hungermotivation von Tag zu Tag und von Tier zu Tier. War der Hunger zu gross, rannten die Schweine nervös hin und her, und eine gezielte Orientierung nach den Zeichen war ausgeschlossen. Waren die Tiere jedoch satt, liessen sie sich viel zu leicht ablenken, da Spieltrieb und Explorationsverhalten überhand nahmen. Daher konnte man nur durch täglichen individuellen Kontakt mit den Tieren und genaue Beobachtung während der Übungen herausfinden, welche Grundration jedes Einzeltier benötigte, und in welchem Masse und mit welchen Zeitabständen die einzelnen Rationen erhöht werden mussten, damit die Tiere für die Übungen gleichmässig motiviert blieben. Während Dressur und Versuchen durfte kein einziger Tag ausgelassen werden, auch wenn es sich um Sonn- und Feiertage handelte. Auch mussten wir bei den Übungen die Reihenfolge der Tiere genau einhalten.

5. VERSUCH

5.1. Lernprozess

Die Gewöhnung an die Einzelhaltung schien den Tieren schwer zu fallen: sie lagen oft so dicht wie möglich bei den Stangen im Mistgang und suchten Körperkontakt mit dem Buchtnachbarn.

Während der ersten zwei Tage waren die ca. zwei Monate alten Tiere sehr scheu und schreckhaft. Die Beobachterin fütterte sie täglich mit einer Grundration von 300 g Pellets in zwei Portionen. Nach der Fütterung setzte sie sich zu den Tieren in die Bucht und machte durch stundenlanges Sprechen und Spielen mit den Tieren jedes Schwein einzeln mit sich vertraut. Nach einigen Tagen wurden die Tiere zu den für später vorgesehenen Übungszeiten einzeln in die Versuchsbucht gelockt. Sie hatten Gelegenheit, diese Räumlichkeit gründlich auszukundschaften. Zuerst richtete sich ihre volle Aufmerksamkeit auf die unbekanntenen Strukturen in der Versuchsbucht, wie Trinknippel, Äste im Holz, Stangen der Mitteltüre, Vorsprünge und sie kümmerten sich, obwohl hungrig, kaum um das hingelegte Futter. Die Unsicherheit in der fremden Umgebung zeigte sich dadurch, dass die Ferkel anfänglich die Versuchsbucht mit Kot und Urin verschmutzten, was nach einigen Tagen nicht mehr der Fall war. Ebenso hatten sie sich etwas später so an die Versuchsbucht und die Anwesenheit der Beobachterin gewöhnt, dass sie sich durch diese "normalen" Umstände nicht mehr ablenken liessen. Sie waren nun leichter zu motivieren, in der Versuchsbucht eine Aufgabe zu erfüllen, um zu einer Handvoll Futter zu kommen. Zuerst erhielten die Ferkel abwechslungsweise auf jeder Seite der Mitteltüre eine Handvoll Futter und lernten so, diese Klapptüre selbst zu öffnen. In einem weiteren Schritt legten wir dann das Futter von aussen in die geöffneten Futterkisten und die Tiere gewöhnten sich schnell daran, abwechslungsweise auf beiden Seiten der Versuchsbucht diese Futterkisten leerzufressen.

Es ging jetzt darum herauszufinden, welche Grösse die Figuren haben mussten, damit sie unter den gegebenen Anfangsbedingungen des Versuches noch von allen Tieren unterschieden werden konnten. Der Kontrast (schwarzweisse Figuren), der Abstand der Figuren zum Auge (60 cm, Länge der Zwischenwand) und die Anfangsbeleuchtung (200 Lux, 35 cm über dem Boden vertikal gemessen) waren bekannt. Um sicher zu sein, dass alle fünf Schweine in dieser Versuchsanordnung den Unterschied gut sehen konnten, wählten wir für die Dressur der ersten Gruppe Figuren von 20 cm Durchmesser. Erst, als die Tiere das Landolt-C von 20 cm gegen den Kreis mit denselben Grössenverhältnissen mit 80 % Positivwahlen richtig erkannten

Fig. 8. Development of the learningprocess (average of the five pigs belonging to the first group). The positive choices as percentages of the total number of choices with relation to time in days.

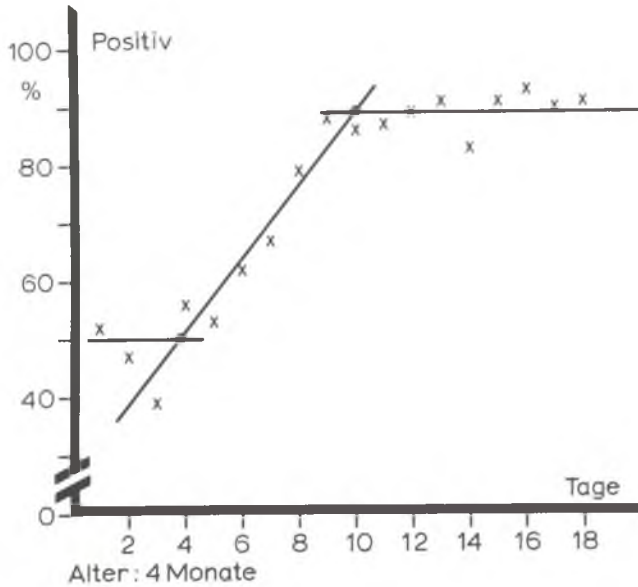


Abb. 8. Verlauf des Lernprozesses (Durchschnitt der ersten Gruppe), ausgedrückt in Prozentsätzen positiver Wahlen der Gesamtwahlen pro Tag.

boten wir schrittweise Figuren mit immer kleinerem Durchmesser an (15 cm, 10 cm, $7\frac{1}{2}$ cm). Sobald einzelne Schweine vermehrt falsch zu wählen begannen, vergrösserten wir die Figuren, bis bei einem Figurendurchmesser von 10 cm wieder ein konstantes Niveau an Positivwahlen erreicht war. Mit Sicherheit stand nun fest, dass alle Tiere ein Landolt-C von 10 cm Durchmesser und einer Lücke von 1,8 cm bei 200 Lux aus 60 cm Abstand noch von einem gleichgrossen Kreis unterscheiden konnten. Bei beiden Gruppen trat im Verlauf des Lernprozesses bei der Wahl zuerst eine Phase der Seitenstetigkeit auf. Die Tiere wählten, individuell verschieden, eine Zeitlang nur links oder nur rechts. In dieser Phase war es wichtig, das

falsch gewählte, nicht belohnte Zeichen so lange an der gleichen Seite zu belassen, bis das Versuchstier zwischen beiden Seiten wieder abzuwechseln begann. Sobald dies der Fall war, wurden die Zeichen nach erwürfelter Reihenfolge gewechselt.

In der Periode, während der die Tiere das Landolt-C als positives Zeichen zu erkennen begannen, konnte bei allen eine Phase häufiger "Nahwahlen" beobachtet werden. Sie hielten dann vor, oder gleich nach Beginn der Zwischenwand in ihrem Lauf inne und verglichen die Zeichen auf beiden Seiten genau, bevor sie die Wahl trafen. Bei genügend langer Trainingszeit ging die Zahl der Nahwahlen auf ein konstantes Niveau zurück. Die Nahwahlen und die Seitenstetigkeit wurden schon von KLOPFER (1965) und REIHER (1969) beschrieben.

Das Erlernen der Zeichen dauerte bei den zwei Gruppen sehr unterschiedlich lang. Die Tiere der ersten Gruppe, die bei Trainingsbeginn ca. vier Monate alt waren, erlernten den Unterschied zwischen den Zeichen ziemlich gleichzeitig innerhalb von zwei Wochen (Abb. 8). Die zweite Gruppe war zu Beginn der Dressur erst durchschnittlich $2\frac{1}{2}$ Monate alt. Diese Tiere lernten nicht gleichzeitig und es dauerte sechs Wochen, bis das letzte Schwein den Lernprozess beendet hatte. Dank der guten Motivation war es möglich, jedes Tier der zweiten Gruppe bis zu 100 Mal pro Tag wählen zu lassen. Das Niveau der 50 % Positivwahlen wurde jedoch lange nicht überschritten. Die Schweine liessen sich sehr leicht ablenken, was wir ihrer Jugend zuschreiben. Etwas mehr Konzentration wurde erreicht, wenn die Ferkel mindestens einmal täglich zu zweit oder zu mehreren für 10 Minuten im Stall herumtoben konnten. Dennoch dauerte es bei dieser Gruppe $1\frac{1}{2}$ Monate, bis der Lernprozess bei allen Tieren beendet war. Jedes einzelne Tier dieser Gruppe zeigte zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt seinen Anstieg der Positivwahlen über 50 %. Dieser Anstieg vom 50 % Niveau zu einem konstanten Niveau zwischen 80 und 100 % Positivwahlen dauerte bei jedem Tier rund 6 Tage. Das Tier Nr. 6 brauchte aber ab Beginn der Dressur 14 Tage, Nr. 7 20 Tage, Nr. 8 30 Tage, Nr. 9 36 Tage und Nr. 10 45 Tage, bis der Lernprozess beendet war. Beide Gruppen waren demnach zwischen 4 und $4\frac{1}{2}$ Monate alt, als sie den Lernprozess abgeschlossen hatten und für den Versuch bereit waren. Es scheint somit, dass nicht nur die Übungszeit und die Anzahl Übungen ausschlaggebend sind für das Gelingen dieser Art Dressur. Wichtig ist auch die Konzentrationsfähigkeit der Versuchstiere, die vom Alter und der Motivation abhängt. Der Lernprozess selbst dauerte zwar bei allen Tieren zwischen 6 und 10 Tagen und umfasste zwischen 120 und 200 Übungen. Vorher gab es bei jedem Schwein eine individuelle "Wartezeit", während der beliebig lange und oft erfolglos geübt werden konnte. Danach brauchte jedes Tier noch mindestens 6 Tage Übung, bis der Lernprozess für den Versuch genügend gefestigt war.

Fig. 9. The pig makes a right choice without hesitation.

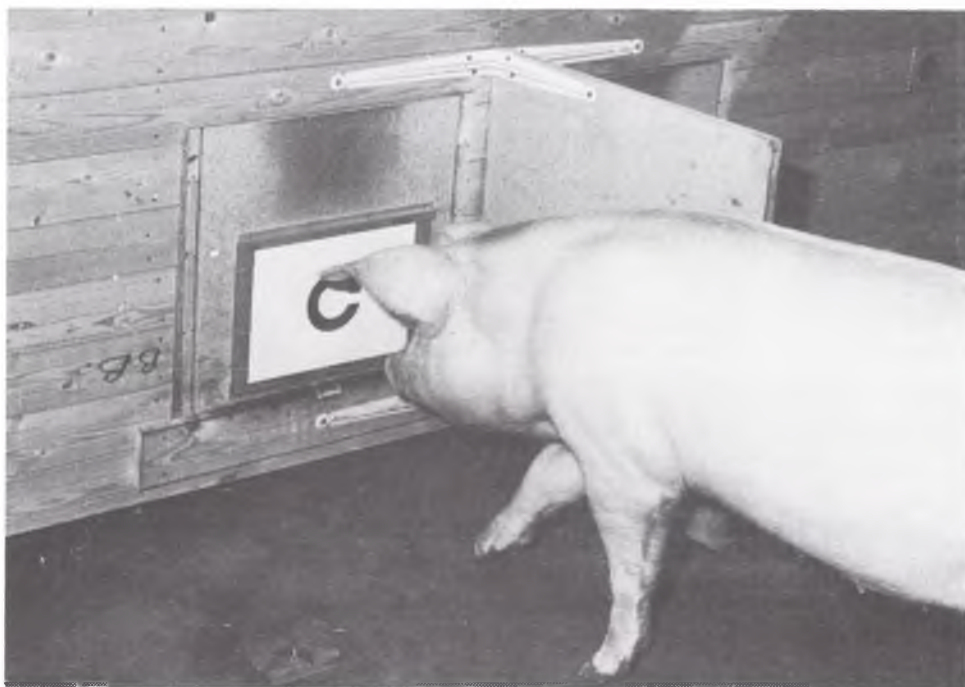


Abb. 9. Das Tier geht ohne Zögern auf das richtige Zeichen zu.

5.2. Der eigentliche Versuch

Mit der Verdunkelung wurde erst begonnen, als auch das letzte Tier ein konstantes Niveau von über 80 % Positivwahlen erreicht hatte.

Das Konstanthalten der Motivation war während des Versuches noch schwieriger als während der Dressur. Während vorher nur Hunger und Spieltrieb die Motivation entscheidend beeinflusst hatten, kam jetzt der Faktor Beleuchtung hinzu. Bei guter Beleuchtung (200 bis 12 Lux) machten sich der Spieltrieb und das Explorationsverhalten der Schweine vermehrt störend merkbar. Die Tiere liessen sich von kleinen Verunreinigungen in der Bucht, wie von einem übriggebliebenen Strohalm, so stark ablenken, dass sie oft die Zeichen gar nicht beachteten. Es war deshalb auch wichtig, dass die Versuchsbucht nach jeder Übung gründlich gereinigt wurde. Mangelnde Konzentration der Schweine äusserte sich oft darin, dass sie, ohne sich die Zeichen vorher anzusehen, zufällig auf eine der beiden Futterklappen zurannten. Wenn sie im letzten Augenblick bemerkten, dass sie sich vor dem negativen Zeichen befanden, hielten sie abrupt in ihrem Lauf inne und wechselten, ohne das falsche Zeichen zu berühren, auf die richtige Seite hinüber. Dieses Verhalten musste definitionsgemäss auch als Nahwahl registriert werden. Solche flüchtig getroffenen Wahlen waren zu einem grossen Teil die Ursache, dass man bei guter Beleuchtung schon ein Niveau von durchschnittlich 33 % positiven Nahwahlen zu verzeichnen hatte. Während der ganzen Versuchsperiode wurden folgende Möglichkeiten des Wahlverhaltens registriert:

1. Positivwahlen.

Das Tier geht ohne zu zögern von der Mitteltüre aus auf das richtige Zeichen zu und drückt den Deckel auf.

2. Positive Nahwahlen.

Das Tier geht nicht direkt auf eines der Zeichen zu und drückt auf den Deckel, sondern es zögert oder steht irgendwo still und kehrt dann entweder um, wenn es sich vor dem falschen Zeichen befindet, oder es läuft weiter, wenn es das positive Zeichen vor sich sieht. Das negative Zeichen wird jedoch nicht berührt.

3. Negativwahlen.

Das Tier geht direkt oder mit Zwischenhalt zum negativen Zeichen und versucht dort den Deckel aufzudrücken. Das negative Zeichen wird dabei in jedem Fall berührt.

Mit zunehmender Verdunkelung stieg die Zahl der positiven Nahwahlen deutlich an. Die Zahl der Negativwahlen schien anfänglich konstant zu bleiben. Erst bei 1,5 Lux begannen auch die Negativwahlen häufiger zu werden. Ausserdem zeigten hier

Fig. 10. The right panel is opened and the pig enjoys its reward.

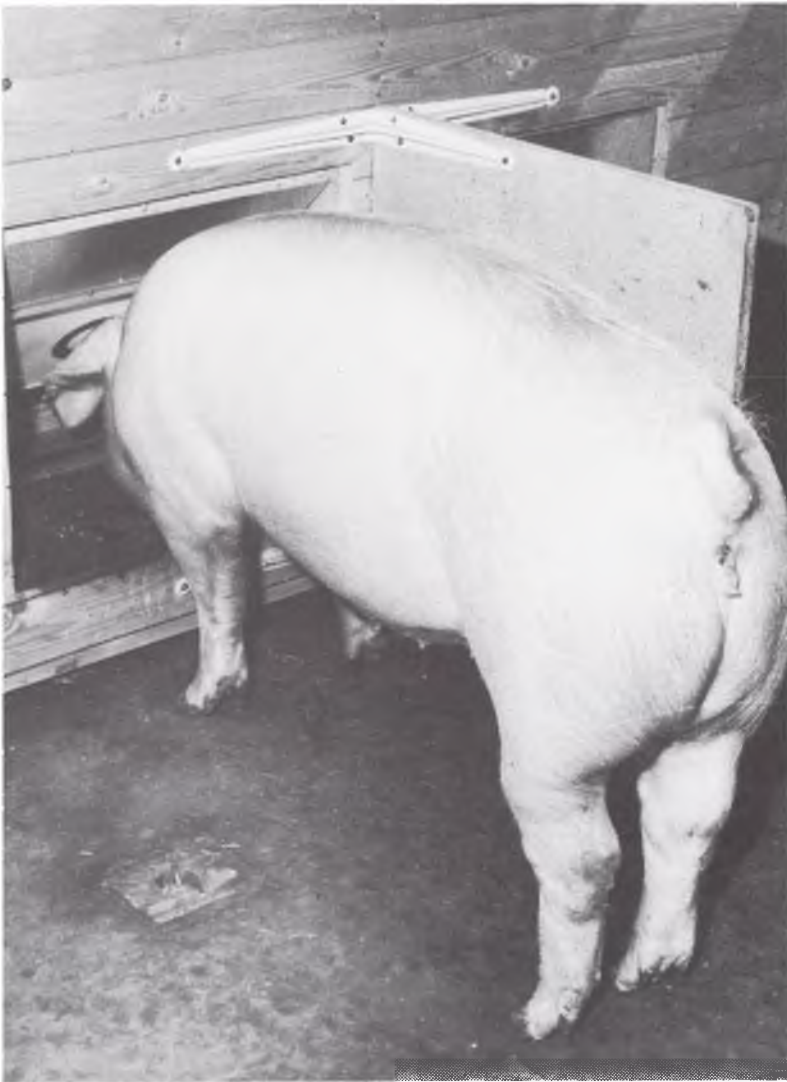


Abb. 10. Die richtige Klappe ist offen und das Schwein nimmt seine Belohnung auf.

die Schweine deutliche Veränderungen im Verhalten (siehe 6.2.). Bei 0,2 Lux war ihre Motivation überhaupt nicht mehr aufrechtzuerhalten. Wir mussten die Übungen bei 0,2 Lux sogar auf einen Tag beschränken, da die Schweine nicht mehr mitmachen wollten. Es dauerte sehr lange, bis jedes Tier seine 10 Wahlen pro Übungsdurchgang getroffen hatte. Es wurden mehr Negativwahlen und weniger Nahwahlen gemacht, da die Tiere nicht mehr im letzten Moment zur richtigen Seite hinüberwechselten, sondern einfach probierten, ob sich die jetzt näherliegende Klappe öffnen liess. Bei 0,2 Lux waren ausserdem die Bedingungen für die Beobachterin so erschwert, dass bei noch weniger Licht die Zuverlässigkeit der Beobachtungen fraglich geworden wäre. Somit wäre eine weitere Verdunkelung wegen fehlender Motivation der Tiere und erschwerten Beobachtungsbedingungen sinnlos gewesen.

Die Gesundheit liess mit einer Ausnahme bei allen Tieren bis zum Ende der Versuche nichts zu wünschen übrig. Ein Tier zeigte schon während der Dressur Symptome einer chronischen Arthritis infolge Stellungsfehler im Karpalgelenk vorne rechts. Eine Stunde vor Übungsbeginn, täglich zweimal, wurde dem Tier während der ganzen Versuchszeit je ein "Tanderil"-Suppositorium (250 mg) verabreicht. So konnte es die Wahlen bis zum Ende zuverlässig durchführen.

Auch die Klimaschwankungen blieben im normalen Rahmen für eingestreute Ställe. Der Stall war gut ventiliert und bei kälteren Aussentemperaturen konnte geheizt werden. Die Temperatur schwankte zwischen 15^o C und 20^o C während des ersten Versuches, und zwischen 11^o C und 19^o C während des zweiten Versuches. Die Luftfeuchtigkeit lag bei Versuch I zwischen 35 % und 70 %, und während Versuch II zwischen 30 % und 60 % (Abb. 11).

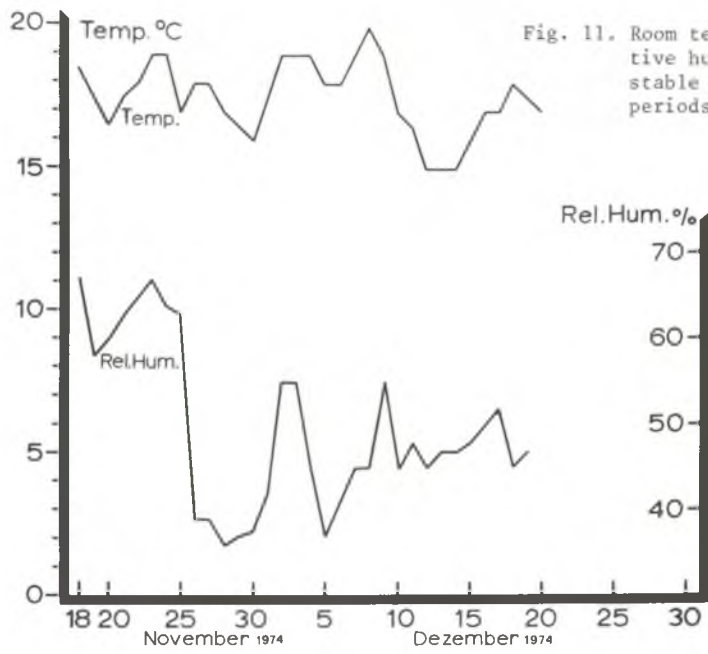


Fig. 11. Room temperature ($^{\circ}\text{C}$) and relative humidity of the air in the stable during the two test-periods.

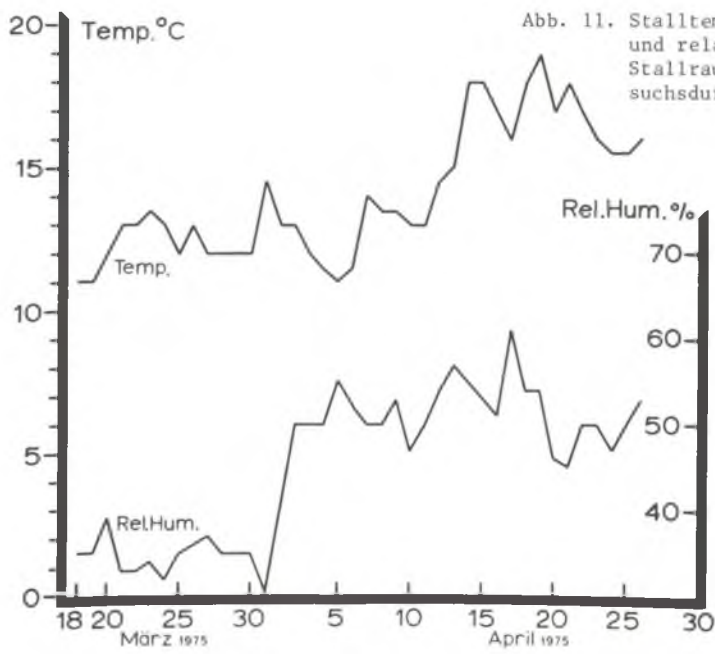


Abb. 11. Stalltemperaturen in Grad Celsius und relative Luftfeuchtigkeit im Stallraum während der zwei Versuchsdurchgänge.

6. ERGEBNISSE

6.1. Auswertung der Daten

Wir verminderten die Beleuchtungsstärke in zehn Schritten jeweils um die Hälfte. Für jedes Tier wurden pro Lichtniveau zwei Tage lang je zwei Übungsdurchgänge zu 10 Wahlen gezählt. Das heisst, pro Luxniveau und Tier hatten wir 40 Wahlen, und pro Luxniveau über den Durchschnitt der Tiere 400 Wahlen auszuwerten. Das Wahlverhalten war während der Beobachtungen einer der folgenden drei Gruppen zugeordnet worden:

1. Positivwahlen, einschliesslich positive Nahwahlen.
2. Positive Nahwahlen.
3. Negativwahlen.

Dabei ergeben bei der Auswertung die Positiv- und die Negativwahlen zusammen hundert Prozent. Die positiven Nahwahlen oder kurz Nahwahlen genannt, werden separat als Prozentsatz der Gesamtwahlen ausgerechnet.

Fig. 12. The positive choices and the positive "near-choices" per animal as percentages of the total number of choices per lighting level. These pigs belong to the group which was tested first.

Tiernr.	1		2		3		4		5		Ø	
Beleuchtung	Pos.	pos. Nah.	Pos.	pos. Nah.	Pos.	pos. Nah.	Pos.	pos. Nah.	Pos.	pos. Nah.	Pos.	pos. Nah.
200 Lux	100	45	100	25	100	45	100	40	90	25	98	36
100	95	22	95	30	100	50	100	45	85	5	95	30
50	95	22	95	30	97	37	97	62	97	25	96	35
25	77	22	95	37	90	30	100	47	100	27	92	33
12	87	25	95	37	95	32	95	47	90	39	92	34
6	82	22	82	35	92	27	92	62	93	50	88	39
3	72	12	95	42	97	50	97	62	95	55	91	22
1,5	80	40	97	42	95	50	95	52	97	52	93	47
0,7	85	40	80	40	100	60	100	60	100	45	93	65
0,4	85	25	90	50	100	40	90	85	90	55	91	51
0,2	85	45	85	45	90	40	100	100	95	55	91	57

Abb. 12. Die positiven Wahlen und positiven Nahwahlen pro Tier, ausgedrückt in Prozentsätzen der Gesamtwahlen pro Lichtniveau. Die Tiere gehören zum ersten Versuchsdurchgang.

Fig. 13. The positive choices and the positive "near-choices" per animal as percentages of the total number of choices per lighting level. These pigs belong to the group which was tested second.

Tiernr.	6		7		8		9		10		Ø	
Beleuchtung	Pos.	pos. Nah.	Pos.	pos. Nah.	Pos.	pos. Nah.	Pos.	pos. Nah.	Pos.	pos. Nah.	Pos.	pos. Nah.
200 Lux	92	35	85	32	95	30	90	37	90	20	90	31
100	92	40	90	27	100	40	82	37	90	20	91	33
50	92	32	87	27	100	30	100	47	92	37	94	35
25	92	37	77	20	95	32	87	37	87	27	88	31
12	92	32	75	20	90	27	85	40	75	25	83	29
6	97	52	75	32	97	57	85	45	90	27	89	43
3	97	50	82	30	95	45	95	55	77	47	89	45
1,5	95	62	86	50	90	62	80	42	80	52	86	54
0,7	95	67	80	50	95	50	80	50	80	45	86	52
0,4	95	62	70	37	82	60	87	47	77	45	82	50
0,2	83	53	80	43	83	66	76	36	57	33	76	46

Abb. 13. Die positiven Wahlen und positiven Nahwahlen pro Tier, ausgedrückt in Prozentsätzen der Gesamtwahlen pro Lichtniveau. Die Tiere gehören zum zweiten Versuchsdurchgang.

Wir berechneten für jedes Einzeltier und auch für den Durchschnitt aller 10 Tiere die positiven Wahlen und die positiven Nahwahlen pro Lichtniveau in Prozentsätzen der Gesamtwahlen (Abb. 12 und Abb. 13 und Abb. 14). Die Prozentsätze für den Durchschnitt der Tiere wurden grafisch dargestellt (Abb. 15). Die Anordnung der Punkte der positiven Wahlen zeigt eine leicht sinkende Tendenz von 94 % bei 200 Lux bis 83 % bei 0,2 Lux. Die Anordnung der Punkte der positiven Nahwahlen stellt im Bereich der Beleuchtungsstärken von 200 bis 12 Lux eine horizontale Linie auf der Höhe von 33 % dar. Dann erfolgt ein steiler Anstieg zwischen 12 und 1,5 Lux. Von 1,5 bis 0,2 Lux verläuft die Linie dann wieder horizontal, auf der Höhe von 51 %.

Die Anordnung der Nahwahlen entspricht genau der Form der Fehlerkurve aus der Hypothese. In der Hypothese repräsentiert die Zunahme der Fehler die Abnahme der Sehschärfe; hier wird diese durch die Zunahme der Nahwahlen dargestellt.

Um die Existenz der beiden Horizontalen für jedes Tier einzeln zu beweisen, wurde ein einseitiger F-Test durchgeführt. Pro Lichtniveau und Tier haben 40

Fig. 14. Positive choices and positive "near-choices" per lighting-level as percentages of the total number of choices of all animals.

Beleuchtung	10 Tiere	
	Positive	positive Nahwahlen
200 Lux	94	33
100	93	31
50	95	35
25	90	32
12	88	31
6	88	41
3	90	45
1,5	89	50
0,7	89	51
0,4	87	51
0,2	83	52

Abb. 14. Die positiven Wahlen und die positiven Nahwahlen pro Lichtniveau ausgedrückt in Prozentsätzen der Gesamtwahlen aller Tiere.

Wahlen stattgefunden. Die Kurve der positiven Nahwahlen kann für jedes Tier einzeln gezeichnet werden, wobei jeder Punkt als Prozentsatz von diesen 40 Wahlen errechnet wird. Das bedeutet, ein Punkt ist in diesem Fall = n. Die Horizontale von 200 bis 12 Lux enthält Messungen bei 5 Lichtniveaus, das heisst 5 Punkte oder 5n. Die Horizontale von 1,5 bis 0,2 Lux umfasst 4 Punkte oder 4n. Für beide Horizontalen wurde die mittlere Varianz (s_1^2) zwischen diesen Punkten berechnet. Wenn wir jedoch einen Versuchsdurchgang zu 10 Wahlen als n annehmen, haben wir pro Punkt 4n. Für die erste Horizontale von 5 Punkten ergeben sich in diesem Fall 20n, und für die zweite von 4 Punkten 16n. Aus diesen 20n, respektive 16n berechnet man den Mittelwert der positiven Nahwahlen und davon die Varianz (s_2^2), das heisst die Varianz innerhalb der Punkte. Das Verhältnis der Varianz innerhalb der Punkte (s_2^2), zur Varianz zwischen den Punkten, ergibt den F-Wert ($F = \frac{s_2^2}{s_1^2}$). Aus dem F-Wert lässt sich schliessen, ob die beiden Varianzen sich signifikant voneinander unterscheiden. Ist dies nicht der Fall, dann bilden die Punkte eine horizontale Linie (Abb. 16). Bei 9 von 10 Tieren lassen sich die beiden horizontalen Linien nachweisen. Bei Tier Nr. 7 ist der F-Wert sehr gross, weil die mittlere Varianz zwischen den Punkten (s_1^2) aussergewöhnlich klein ist. Dies trifft

Fig. 15. Positive choices and positive "near-choices" as an average of ten animals as percentages of the total number of choices per lighting level.

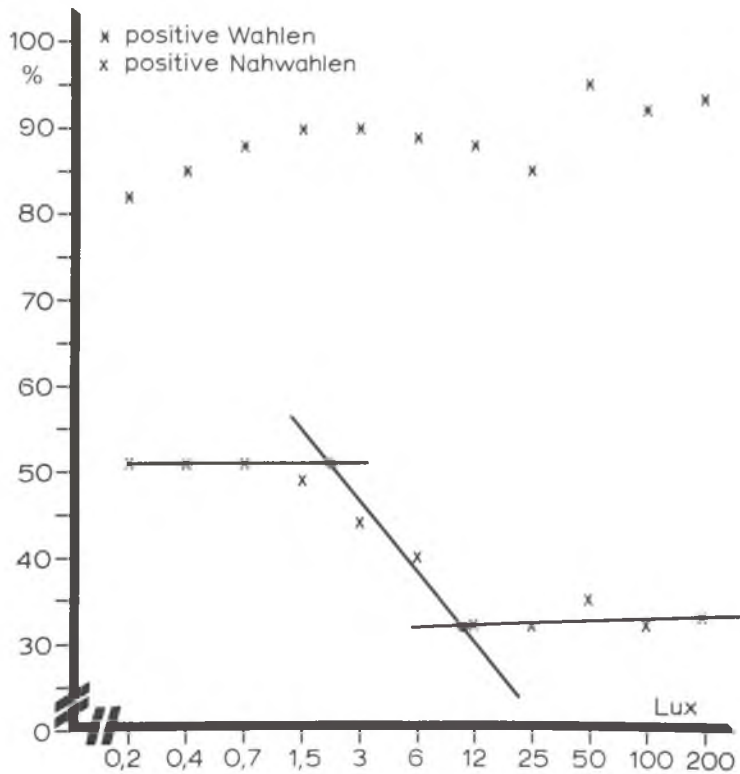


Abb. 15. Positive Wahlen und positive Nahwahlen dargestellt als Durchschnitt von zehn Tieren und ausgedrückt in Prozentsätzen der Gesamtwahlen pro Lichtniveau.

deshalb zu, weil die einzelnen Werte, aus denen die 5 Punkte berechnet wurden, fast alle gleich sind. Dieser Fall passt daher nicht in das System der Berechnung, obwohl die Existenz der Horizontalen in einer graphischen Darstellung gerade hier besonders deutlich hervortritt. Bei Tier Nr. 4 scheinen die Werte der "Nahwahlen" in einer ununterbrochenen schrägen Linie von den höheren zu den tieferen Beleuch-

Fig. 16. F-ratios from the analysis of variation between and within the values for each horizontal line. The existence of two horizontal lines is verified by these F-ratios. The values are calculated from the percentages of "near-choices" per animal, between 200 lux and 12 lux and between 1.5 lux and 0.2 lux.

Tier- nummer	Horizontale I (200 - 12 Lux)		Horizontale II (1,5 - 0,2 Lux)	
	F-Wert	Existenz einer horizontalen Linie	F-Wert	Existenz einer horizontalen Linie
1	1,29643	+	0,70769	+
2	0,78776	+	0,09108	+
3	0,78665	+	0,62222	+
4	3,76855	-	6,53333	-
5	1,34750	+	1,70154	+
6	0,18085	+	1,84660	+
7	0,54651	+	9,60828 ¹	+
8	0,79286	+	1,65742	+
9	0,38793	+	0,54114	+
10	1,88636	+	0,46868	+

Abb. 16. F-Werte aus der Varianzanalyse zwischen und innerhalb der Punkte für jede Horizontale. Die Existenz von zwei horizontalen Linien wird durch diese F-Werte nachgewiesen. Die Zahlen wurden berechnet aus den Prozentsätzen der Nahwahlen pro Tier, im Bereich von 200 bis 12 Lux und im Bereich von 1,5 bis 0,2 Lux.

+ nachgewiesen

- nicht nachgewiesen

¹ die statistische Analyse trifft hier nicht zu.

tungswerten anzusteigen.

Um zu beweisen, dass die beiden horizontalen Linien, oder die zwei Gruppen von Punkten (Tier Nr. 4), sich pro Tier signifikant voneinander unterscheiden, führten wir den einseitigen t-Test nach STUDENT durch. Bei neun von zehn Tieren ergab der t-Test einen signifikanten Unterschied zwischen den Werten der Nahwahlen von 200 bis 12 Lux und den Werten der Nahwahlen von 1,5 bis 0,2 Lux (Abb. 17). Bei Tier Nr. 9 ist zwar die Existenz der beiden Horizontalen bewiesen, wobei der Mittelwert der Nahwahlen bei niedrigen Lichtwerten grösser ist

Fig. 17. The positive "near-choices" per animal as percentages of the total number of choices on the level of photopic vision and on that of scotopic vision. Significant differences are mentioned.

Tier- nummer	1. Niveau 200 - 12 Lux	2. Niveau 1,5 - 0,2 Lux	Signifikanz ¹ der Unterschiede
1	27 %	37 %	+
2	32	44	+
3	39	47	+
4	48	74	+++
5	22	52	+++
6	35	61	+++
7	25	45	+++
8	32	59	+++
9	40	44	0
10	26	44	+++
∅	33	51	+++

Abb. 17. Die positiven Nahwahlen pro Tier, ausgedrückt in Prozentsätzen der Gesamtwahlen für das Niveau des photopischen Sehens, sowie für das Niveau des scotopischen Sehens. Zusätzlich sind die Signifikanzen angegeben.

¹Signifikanz: + = $p < 0,05$

++ = $p < 0,01$

+++ = $p < 0,005$

als derjenige bei höheren. Der Unterschied in der Höhe der beiden Linien ist jedoch nicht signifikant.

Die Existenz von zwei Horizontalen und eines Übergangsgebietes dazwischen wurde somit pro Tier nachgewiesen. Um jedoch den ganzen Verlauf der Kurve der Nahwahlen berechnen und sichern zu können, müsste man die Gruppe zu 5 Tieren als Einheit nehmen. Dies bedeutete, dass mindestens sechs Versuchsdurchgänge oder mehr durchgeführt werden müssten.

6.2. Interpretation

Im Intervall von 200 bis 12 Lux können die Schweine ein Detail von 1,8 cm in schwarzweissem Kontrast aus 60 cm Abstand noch gut sehen. Die Zahl der vorkommenden Negativwahlen und Nahwahlen bleibt konstant. Dies bedeutet eine konstant bleibende gute Sehschärfe zwischen 200 und 12 Lux. Beide Arten Photorezeptoren erhalten in diesem Bereich genügend Licht für ein optimales Funktionieren, und somit ist auch Farbsehen uneingeschränkt möglich. Der Bereich des photopischen Sehens liegt demnach über 12 Lux.

Im Übergangsbereich von 12 bis 1,5 Lux nimmt die Zahl der Nahwahlen rapid zu. Daraus geht hervor, dass die 1,8 cm grosse Lücke aus dem Abstand von 60 cm nicht mehr gut gesehen werden kann. Die zunehmenden Nahwahlen repräsentieren die abnehmende Sehschärfe. Es handelt sich hier um den Bereich des mesopischen Sehens. Sehschärfe und Farbsehen nehmen kontinuierlich ab.

Von 1,5 bis 0,2 Lux werden über 50 % positive Nahwahlen getroffen. Das heisst, dass die Schweine die schwarzweissen Zeichen wohl noch erkennen können, aber nur noch aus einem Abstand von weniger als 60 cm. Hier beginnt die zweite horizontale Linie aus den Punkten der Nahwahlen, und in der Anordnung der positiven Wahlen deutet sich ein rapideres Absinken an. Aus diesen Befunden zu schliessen, sieht das Schwein ab 1,5 Lux weniger scharf als bei 12 Lux und nur noch schwarzweiss, was dem scotopischen Sehen entspricht.

6.3. Veränderungen der Motivation unter Einfluss des Lichtes

Die Motivation wurde während der Versuche deutlich durch das Licht beeinflusst. Dabei zeigte sich auch hier die im vorangegangenen Kapitel genannte Abstufung.

Im Abschnitt von 200 bis 12 Lux bereitete die Steuerung der Motivation grösste Schwierigkeiten. Die Schweine waren sehr leicht durch kleinste Details, wie übriggebliebene Strohhalme oder Strukturen in der Holzwand abzulenken.

Bei 12 Lux wurde die Motivation allgemein viel besser. Die Kontrolle von Spieltrieb, Explorationsverhalten und Hunger fiel im Abschnitt zwischen 12 und 1,5 Lux viel leichter. Dies vor allem, weil die Versuchstiere die feineren Strukturen in der Bucht (Strohhalme, Vorsprünge, Strukturen im Holz) nicht mehr beachteten und ihre visuelle Wahrnehmung sich dadurch auf die schwarzweissen Zeichen konzentrierte. In der ganzen Periode zwischen 200 und 1,5 Lux kam es äusserst selten vor, dass ein Tier die Versuchsbucht vor Beendigung der Übungen verlassen wollte. Im Gegenteil hatten wir den Eindruck, dass sie jedes Mal zu mehr als zehn Übungen

motiviert wären.

Bei einer Beleuchtung unter 1,5 Lux nahm die Motivation rapid ab. Die Schweine schienen apathisch. Es wurde mühsam sie aus ihrer Bucht zu locken. Wenn sie endlich im Stallgang waren, liefen sie am Eingang der Versuchsbucht vorbei, während sie bei höheren Beleuchtungsstufen immer so schnell wie möglich die Versuchsbucht zu erreichen suchten. Bei jedem Tier kam zwischen 1,5 und 0,2 Lux ein Punkt, wo das Verhalten darauf hinwies, dass eine Orientierung im Stallgang nicht mehr richtig möglich war. Die Schweine stiessen an und liefen an den Ein- und Ausgängen vorbei.

In der Versuchsbucht wurden die zehn Übungen pro Durchgang viel langsamer durchgeführt. Bei der Wahl der Zeichen zeigten einige Tiere auch eine Änderung im Verhalten, indem die Nahwahlen nun dahin ausgedehnt wurden, dass die Schweine mehrere Male von negativ zu positiv und wieder zu negativ und wieder zu positiv wechselten, bevor sie endlich doch die richtige Wahl trafen. Öfter kam es auch vor, dass die Schweine während der Übungen vor den Ausgang der Versuchsbucht standen und mit dem Wählen erst fortfuhren, als ihnen dort kein Durchgang gewährt wurde.

Bei 0,2 Lux war die Motivation so schlecht, dass die Versuche nur noch einen Tag lang durchgeführt werden konnten. Die Tiere verhielten sich so desinteressiert und apathisch, dass weitere Messungen sinnlos gewesen wären. So dauerte es unendlich lange bis ein Übungsdurchgang beendet war. Die Schweine bewegten sich langsam. Sie trafen vermehrt Negativwahlen und weniger Nahwahlen, da sie nicht mehr im letzten Augenblick zur richtigen Seite hinüberwechselten, sondern einfach probierten, ob sich die jetzt näherliegende Klappe öffnen liess. Es bestand die Möglichkeit eines Trainingsverlustes, da die Schweine den Unterschied zwischen den beiden Zeichen offensichtlich nur noch aus nächster Nähe sehen konnten. Alle diese Befunde weisen eindeutig darauf hin, dass unter 0,2 Lux das Sehen für die Schweine praktisch unmöglich ist.

Nach Beendigung der Versuche haben wir die Versuchsbucht nochmals auf 12 Lux erhellt, um die Reaktion der Schweine zu beobachten. Während sie vorher bei 12 Lux optimal für die Versuche motiviert gewesen waren, zeigten sie jetzt ein Explorationsverhalten, wie wenn sie die Versuchsbucht zum ersten Mal betreten würden. Sie waren nicht zu motivieren sich auf die Wahlen zu konzentrieren, sondern rannnten wild umher und suchten alles ab.

6.4. Weitere ethologische Ergebnisse

Es wurde eine Verhaltensweise beim Schwein gefunden, die die optischen Wahrnehmungsmöglichkeiten detailliert ausdrückt: Die "Nahwahlen" (siehe 5.2.). Diese

Verhaltensweise wird jedoch, ausser durch das Sehvermögen, noch durch die Motivation bestimmt. Da das Licht sowohl das Sehvermögen wie die Motivation beeinflusst, stellen die "Nahwahlen" ein geeignetes Messkriterium dar für den subjektiven Eindruck, den die Schweine bei verschiedenen Beleuchtungsstärken von ihrer Umgebung erhalten.

Damit eine Dressur mit brauchbaren Ergebnissen möglich war, mussten die Schweine einerseits genügend motiviert und auch genügend beweglich sein, um immer wieder zwischen den Zeichen hin- und herzulaufen. Zudem war Voraussetzung, dass sie sich nicht unruhig verhielten, um sich auf die visuelle Wahl konzentrieren zu können. "Die kritische Periode" ist bei jungen Tieren der Lebensabschnitt, in dem sie am besten prädisponiert sind, um aus Erfahrung etwas zu lernen. Die unterschiedliche Zeitdauer bis die Dressur bei beiden Gruppen zum Erfolg führte (siehe 5.1.), weist darauf hin, dass sich Schweine im Lebensabschnitt zwischen vier und fünf Monaten am leichtesten auf visuelle Wahlen dressieren lassen. Die "kritische Periode" für die visuelle Lernfähigkeit scheint bei Schweinen im vierten Lebensmonat zu liegen.

7. DISKUSSION

Es stellt sich die Frage, ob der Schwerpunkt in der vorliegenden Arbeit auf der Ethologie oder auf der Physiologie liegt.

Das Verhalten von Schweinen wurde bei verschiedenen Beleuchtungsstärken in einer speziellen Versuchsanordnung beobachtet. Eine bestimmte Verhaltensweise (Nahwahlen), die auf Lichtveränderungen empfindlich reagiert, diente als Messkriterium für die sich verändernde Sehschärfe in Abhängigkeit von der Lichtstärke. Eine sorgfältige Steuerung der Motivation war dafür Voraussetzung. Weitere Verhaltensweisen wurden mitbeobachtet und dienten als zusätzlicher Hinweis auf den Einfluss, den das Licht auf das Tier als Ganzes ausübt. Es handelt sich daher hier um eine Arbeit im Rahmen der Ethologie.

7.1. Faktoren, die ausser dem Licht das Verhalten der Schweine beeinflusst haben könnten

Da die Möglichkeit besteht, dass neben dem Licht andere Faktoren das Verhalten und die physiologischen Eigenschaften der Augen der Versuchstiere beeinflusst haben könnten, stellt sich die Frage nach der Zuverlässigkeit der physiologischen Daten.

Es muss bedacht werden, dass folgende Faktoren bei der Wahl der richtigen Futterboxe auch eine Rolle gespielt haben könnten:

- Einfluss der Beobachterin
- andere, als visuelle Sinneswahrnehmungen
- andere visuelle Kennzeichen.

Der Einfluss der Beobachterin wurde so gut wie möglich eingeschränkt. Sie trug immer dieselbe Art Kleidung, die aus einem dunkelblauen Overall und Gummistiefeln bestand. Direkter Kontakt mit den Tieren und Sprechen, wurde während der Übungen unterlassen. Die Beobachterin gab nie Anlass, dass die Schweine in der Versuchsbucht irgendetwas von ihr zu erwarten hätten. An Stelle des Sprechkontaktes trat am Anfang der Dressur die Zeichengebung durch die Lautsprecher. Das Verhalten der Schweine während der Übungen und des Versuches wies darauf hin, dass sie sich durch die Beobachterin nicht beeinflussen liessen. Sie schauten nie hinauf, sondern konzentrierten sich auf die Übungen oder bei schlechter Motivation allenfalls auf Dinge, die sich auf dem Boden der Bucht oder an den Wänden auf ihrer Augenhöhe befanden.

Auch der Möglichkeit, dass die Schweine eventuell mit Hilfe anderer Sinnesorgane als mit den Augen wählten, kamen wir so gut als möglich zuvor. Eine Wahl nach ge-

ruchlichen Merkmalen ist unwahrscheinlich. In beiden Futterkisten befand sich immer gleichviel Futter. Die Plakate mit den Zeichen waren mit Plasticfolie überzogen, die abgewaschen und oft ausgewechselt wurde. Mehrere Serien Plakate standen zur Verfügung.

Eine Wahl durch Orientierung an Geräuschen kann ausgeschlossen werden. Überdies wurden sämtliche normalen Geräusche im Stall durch den Ventilatorenlärm übertönt. Eine visuelle Orientierung nach anderen Kennzeichen als den schwarzweissen Figuren schien nicht stattzufinden. Die Futterklappen sahen von aussen genau gleich aus und nur die Zeichen, die immer gewechselt wurden, lieferten den Tieren einen zuverlässigen Anhaltspunkt, wo das Futter zu erreichen war.

Bei den Nahwahlen handelt es sich um eine Verhaltensweise, die leicht durch allerlei Umweltfaktoren beeinflusst wird. Es war deshalb wichtig, dass ausser dem Licht möglichst alle anderen Faktoren konstant gehalten wurden. Faktoren, die die Nahwahlen beeinflussen konnten und deshalb kontrolliert werden mussten, waren der Lernprozess, die drei Motivationsfaktoren Explorationsverhalten, Spieltrieb und Hunger, zusätzlich die Gesundheit der Schweine und das Stallklima.

Das Gleichgewicht zwischen Explorationsverhalten, Spieltrieb und Hunger konnte durch ständige, exakte Beobachtung der einzelnen Tiere und durch absolute Regelmässigkeit bei den Übungen ausreichend gesteuert werden. Die Gesundheit wurde ständig überwacht und nur einmal war es nötig zu Therapiemassnahmen zu greifen. Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Stall haben nie Werte erreicht, die ausserhalb der üblichen Normen für eingestreute Ställe liegen. Mit den Versuchen wurde erst begonnen, als der Lernprozess offensichtlich beendet war, was sich dadurch zeigte, dass die Niveaus der Positiv- und der Nahwahlen konstant blieben. Die dauernden Wiederholungen konnten nur festigend auf den Lernprozess wirken und trotzdem nahmen die Nahwahlen bei abnehmender Beleuchtung zu.

7.2. Geltungsbereich der Versuchsergebnisse

Im Verhalten der Tiere ergaben sich individuelle Unterschiede. Dies äussert sich auch in den erhaltenen Daten. Zeichnet man für jedes einzelne Tier die Kurven der Positivwahlen und der positiven Nahwahlen auf, zeigen die Punkte bei allen Tieren ungefähr dieselbe Anordnung.

Individuelle Unterschiede bestehen darin, dass die Gesamtkurven mehr oder weniger hoch liegen und dass die Punkte an verschiedenen Stellen mehr oder weniger stark streuen.

Dass die Kurven im Ganzen unterschiedlich hoch liegen, ist vielleicht auf indivi-

duelle Unterschiede in der Sehfähigkeit der Schweine zurückzuführen. Da jedoch die Übergänge bei veränderter Beleuchtungsstärke bei allen Tieren ungefähr an der selben Stelle liegen, ist es offensichtlich, dass sich beim Verdunkeln das Sehvermögen aller Versuchstiere bei den gleichen Lichtniveaus verändert hat. Die Schwellen der Sehfähigkeit in Abhängigkeit von der Lichtstärke beruhen bei allen Schweinen auf denselben Eigenschaften der Retina. Das Vorhandensein der Schwellen äusserte sich jedoch in individuell verschiedenen Verhaltensänderungen. Der erste Übergang bei 12 Lux zeigte sich bei allen Tieren in einer rapiden Zunahme der Nahwahlen. Bei den tieferen Lichtniveaus nahmen bei einigen Schweinen um 1,5 Lux herum die Nahwahlen in einem weiteren Sprung zu, während sie bei anderen sogar etwas abnahmen, zugunsten der Negativwahlen, deren Quote rapid zu steigen begann. Die starke Streuung der Messwerte ist darauf zurückzuführen, dass bei den einzelnen Schweinen die Motivation eine grosse Rolle spielte, und diese sehr schwierig konstant zu halten war. Im Bereich von 1,5 bis 0,2 Lux wurden die Lichtveränderungen in sehr kleinen Schritten vorgenommen, was die Vermutung bestärkt, dass hier die individuellen Unterschiede auf die Motivation zurückzuführen sind.

Inwiefern darf nun aus dem Durchschnitt der 10 Versuchstiere auf die Gesamtpopulation der Schweine geschlossen werden?

BEAUCHEMIN (1974) hat in der Ultrastruktur der Retina von Schweinen, die drei verschiedenen Rassen angehörten, zwischen den Rassen keine Unterschiede gefunden. Daher nehmen wir an, dass die aus unseren Versuchen gewonnene Information in ihrem Grundprinzip auf männliche Tiere und Tiere anderer Rassen übertragen werden darf. Die Versuche mit 10 Tieren, wobei jedes Tier eine Einheit ist, liefern zuwenig Daten, um die Kurve genau zu berechnen und die Schnittpunkte festzulegen. Zu diesem Zweck müsste eine ganze Gruppe zu fünf Tieren als Einheit genommen werden, was mindestens sechs Versuchsdurchgänge voraussetzte. Dies heisst aber nur, dass wir die Übergänge von photopischem zu mesopischem und von mesopischem zu scotopischem Sehen nicht in genauen Zahlen, sondern als Intervalle, oder Grenzgebiete angeben können. Sicher erhält man aus dem Durchschnitt dieser zehn Tiere einen verlässlichen Hinweis, in welchen Bereichen der Beleuchtungsstärke die Grenzen der optischen Wahrnehmung der Schweine liegen.

7.3. Schlussfolgerungen

Schweine sind offensichtlich keine Dämmerungstiere und sie verfügen bei einer Beleuchtung über 12 Lux über ein gutes Sehvermögen. Gerade weil sie keine Dämmerungstiere sind brauchen sie relativ viel Licht damit ihre Retina vollständig in Funk-

tion sein kann. Leben die Schweine bei einer Beleuchtung unter 12 Lux, ist nicht nur ihr Farbsehen, sondern auch ihre Sehschärfe erheblich eingeschränkt. Die Versuchstiere zeigten deutlich, dass gerade in einer Umgebung mit wenig Kontrasten, wie dies für einen Schweinestall zutrifft, für eine Orientierung relativ viel Licht benötigt wird. Während sie bei niedrigen Lichtniveaus die scharf kontrastierten Zeichen aus nächster Nähe noch unterscheiden konnten, reichte die Beleuchtung nicht mehr aus, um sich im Stallgang zu orientieren.

Bei Tieren, die sich in freier Wildbahn aufhalten, dienen die Sinnesorgane der allgemeinen Orientierung, den sozialen Kontakten, dem Feststellen von Gefahren und dem Aufstöbern von Nahrung. Die beiden erstgenannten Funktionen sind auch in der Stallhaltung unverändert erhalten. Schweine haben eine ausgeprägte Mimik. Dies deutet darauf hin, dass das Sehvermögen für die sozialen Kontakte eine Rolle spielt. Völlige Dunkelhaltung hat gerade auf das Sozialverhalten der Schweine einen nachhaltigen, negativen Einfluss (VAN PUTTEN, 1968). In der Stallhaltung tragen die Sinnesorgane dazu bei, die Monotonie der Tiere etwas zu durchbrechen.

Wie gross die Bedeutung des Gesichtsvermögens für das Wohlbefinden von Schweinen in der sowohl strukturell wie farblich eintönigen Umgebung des Stalles ist, lässt sich noch nicht festlegen. Daher sollte das Verhalten von Schweinen bei drei Lichtniveaus verglichen werden. Die Tiere der einen Gruppe sollten soviel Licht erhalten, dass sie noch photopisch sehen können, denjenigen einer zweiten Gruppe wäre nur die Schwarzweissorientierung möglich und eine dritte Gruppe von Tieren, würde im Dunkeln gehalten.

Wahrscheinlich manifestieren sich bei den drei Beleuchtungsstufen bestimmte Verhaltensweisen in unterschiedlicher Frequenz. Der Ethologe kann feststellen ob es sich dabei um Verhaltensweisen handelt, die als Kriterium für das Wohlbefinden Bedeutung haben (zum Beispiel Konfliktverhalten oder gestörtes Sozialverhalten). Unterschiede in der Frequenz von Verhaltensweisen bei den verschiedenen Lichtniveaus lässt Schlüsse zu auf das Wohlbefinden der Tiere. Die neu gefundenen Verhaltensweisen können später auch als Kriterium für das Wohlbefinden von Schweinen in anderen Haltungssystemen gebraucht werden.

Speziell sollte überprüft werden, ob wirklich ein Unterschied besteht in der Aktivität bei Tieren, die bei verschiedenen Beleuchtungen gehalten werden. Ergibt sich, dass bei wenig Licht die Schweine in vermindertem Masse aktiv sind, dann müssen Tests durchgeführt werden um festzustellen ob es sich bei dem "Ruhezustand" nicht um Apathie handelt.

Gleichzeitig sollte man bei den gleichen Tieren Zuwachs, Futtermittelverwertung, Fleischqualität, Gesundheit und Stressempfindlichkeit prüfen.

ZUSAMMENFASSUNG

Landläufig wird das Schwein als ein "Dämmerungstier" bezeichnet. Empfehlungen für die Beleuchtung in Schweineställen begründen sich auf diese überlieferte Meinung. Daher werden Schweine in sogenannten "Dämmerställen" und "Dunkelställen" gehalten, wobei in Lux gemessene Angaben über die Beleuchtungsstärke in diesen Stallsystemen fehlen.

Über die ökonomischen Vor- und Nachteile der Dunkelställe ist man sich nicht im Klaren. Experimente in Dunkel- und in Hellställen, wobei ökonomische Kriterien überprüft wurden, sind nicht vergleichbar, unter anderem, weil eine auf das Schwein Bezug nehmende Angabe für die tiergerechte Beleuchtung von Schweineställen fehlt. Es ist bekannt, dass die Morphologie des Schweineauges von allen gebräuchlichen Haus- und Nutztieren derjenigen des Menschauges am ähnlichsten ist. Schweine können Farben im Wellenlängenbereich zwischen 420 und 760 nm unterscheiden. Die Aktivitätszeiten von Mastschweinen liegen zwischen 5.00 und 10.00 und zwischen 13.00 und 20.00, je nach Stallbewirtschaftung. Absolute Dunkelhaltung wirkt sich negativ auf die sozialen Kontakte der Schweine aus.

Als Grundlage zur Abklärung der Frage einer tiergerechten Beleuchtung von Schweineställen wurde das visuelle Wahrnehmungsvermögen der Schweine in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke untersucht.

Zehn weibliche Schweine der Rassenkreuzung GY x NL wurden im Alter von 4 Monaten bei einer Beleuchtung von 200 Lux (gemessen 35 cm über dem Boden, vertikal) auf die Unterscheidung eines Standardsymbols (Landolt-C) als positives Zeichen, gegen einen Kreis mit denselben Verhältnissen als negatives Zeichen dressiert. Die Motivation wurde möglichst konstant gehalten durch die Kontrolle von Hunger, Spieltrieb und Explorationsverhalten.

Nach vollendetem Lernprozess verminderte man die Beleuchtung in zehn Schritten immer um die Hälfte. Die Anzahl Nahwahlen (Zögern beim Wählen) galt als Kriterium für die Sehschärfe. Verhaltensänderungen der Tiere unter Einfluss der abnehmenden Beleuchtung dienten als zusätzlicher Hinweis auf die Orientierungsmöglichkeiten der Tiere bei wenig Licht.

Die grafische Darstellung der Nahwahlen, abhängig von der Beleuchtungsstärke, ergab zwei horizontale Linien und dazwischen einen steil ansteigenden Übergang, wobei die Horizontale bei niedriger Beleuchtung signifikant höher lag als diejenige bei viel Licht. Die Ergebnisse wurden anhand einer Hypothese interpretiert, die auf der Morphologie und der Physiologie des Auges begründet ist.

Daraus wird geschlossen, dass die Sehschärfe der Schweine zwischen 200 und 12 Lux durch das Licht nicht eingeschränkt wird und dass die Tiere photopisch sehen

können. Zwischen 12 und 1,5 Lux liegt ein Gebiet des mesopischen Sehens in dem die Sehschärfe und das Farbsehen kontinuierlich abnehmen. Unter 1,5 Lux ist die Sehschärfe deutlich eingeschränkt und nur scotopisches Sehen ist noch möglich. Unter 0,2 Lux können sich die Schweine praktisch nicht mehr visuell orientieren.

Diese Befunde sprechen gegen die Behauptung, dass das Schwein ein Dämmerungstier sei. Die gefundenen Daten erlauben Aussagen zu machen über die Möglichkeiten der visuellen Orientierung der Schweine an jedem Ort in einem Stall, nachdem die Beleuchtung dort mit einem Milliluxmeter gemessen wurde. Zur Abklärung der Frage einer optimalen Beleuchtung in Schweineställen wird die Durchführung weiterer Versuche empfohlen, wobei das Wohlbefinden der Tiere und auch die ökonomischen Kriterien bei drei Lichtniveaus verglichen werden sollen.

LITERATUR

- BEAUCHEMIN, M.L.: The fine structure of the pig's retina.
Albrecht von Graefes Arch. klin. exp. Ophthalmol. 20, 27-45 (1974)
- BLENDL, H.: Der Einfluss der Dunkelstallhaltung auf die Mastleistung und den Schlachtwert von Schweinen.
Schweinezucht und Schweinemast 13, 239-295 (1965)
- BLÖDOW, G., KIRMSE, K., OTTO, E., PÜSCHEL, F., SCHLISSKE, W., STEGER, H., und ZAREND, W.: Untersuchungen zur Hell- und Dunkelstallhaltung von Mastschweinen.
Arch. Tierzucht 12, 259-272 (1969)
- BRAUDE, R. and MITCHELL, K.G.: The effect of light on fattening pigs.
Proc. Nutr. Soc. 17, 38-39 (1958)
- COMBERG, G. und PAESLACK, U.: Der Einfluss von fensterlosen, künstlich beleuchteten Ställen auf die Mast von Schweinen.
1. Mitteilung. Schweinezucht und Schweinemast 14, 74-76 (1966)
- COMBERG, G. und PAESLACK, U.: Der Einfluss von fensterlosen, künstlich beleuchteten Ställen auf die Mast von Schweinen.
2. Mitteilung. Schweinezucht und Schweinemast 15, 35-41 (1967)
- COMBERG, G. und COENEN, H.D.: Der Einfluss von fensterlosen, künstlich beleuchteten Ställen auf die Mast von Schweinen.
3. Mitteilung. Schweinezucht und Schweinemast 16, 209-211 (1968)
- DAVSON, H.: A textbook of general physiology.
3rd ed. London, J. & A. Churchill (1964)
- DUFOUR, J. and BERNARD, C.: Effect of light on the development of marked pigs and breeding gilts.
Can. J. Anim. Sci. 48, 425-430 (1968)
- EIBL-EIBESFELD, I.: Grundriss der vergleichenden Verhaltensforschung.
München, R. Piper & Co. Verlag (1967)

- HEUSSER, H.: Licht und Haustier.
Schweiz. Arch. Tierheilk. 101, 573-587 (1959)
- HINDE, R.A.: Animal behaviour; a synthesis of ethology and comparative psychology.
2nd ed. London/New York, Mc.Graw-Hill (1970)
- HOFSTEN, E. von: Ströhalm till slaktsvin.
Svinsköttsel 8, 9-10 (1970)
- HOLLWICH, F.: Auge und Vegetativum.
Studium Generale 17, 752-761 (1964)
- IVOS, J.: Stallklima und Krankheiten der Haustiere.
Vet. Arh. 28, 1/2, 1-16 (1958)
- KILEY, M.: A survey of the behavioural problems of agricultural animals.
Ethology and Neurophysiology Group, School of Biological Sciences, University
of Sussex, Talmer, Brighton. Sussex, England (1973)
- KLOCHKOVA, A.J. and EMME, A.M.: The influence of the photoperiodic conditions
on pigs.
Byull'. Mosk.o-va. ispyt. prir. otd. biol. 66, 134-143 (1961)
- KLOTCHOV, D.V. et al.: Meer licht tijdens de dracht geeft meer biggen per worp.
Boerderij Varkenshouderij 59, (5), 8Va-9Va (1974)
- KLOPFER, F.D.: Visual learning in swine.
Swine in biomedical research. Proceedings of an international symposium (Richland,
Wash., 19-21 July) (1965)
- KOOMANS, P. en MERTENS, J.A.M.: Het mesten van varkens in lichte en in verduis-
terde stallen en in hokken met een normale en met een verkleinde ligruimte.
Instituut voor Landbouwbedrijfsgebouwen, Mededeling No. 37 (1969)
- LEGBATTERIJEN; derde rapport van de Studiecommissie Intensieve Veehouderij.
Nederlandse Vereniging tot Bescherming van Dieren (1975)

LORZ, A.: Tierschutzgesetz; Kommentar von Dr. A. Lorz.
München, Verlag Beck (1973)

McBRIDE, G.: Behavioral measurement of social stress.
E.S.E. Hafez (Ed.), Adaptation of domestic animals. Philadelphia, Lea & Febinger,
pp. 360-366 (1968)

NESS, E.: Untersuchungen und Empfehlungen zur Anwendung von Kunst- und Tageslicht
in landwirtschaftlichen Produktionsbauten.
Arch. Landtechnik 7, 147-188 (1968)

PIRENNE, M.H.: Vision and the eye.
London, Chapman and Hall Ltd., pp. 125-152 (1967)

PRINCE, J.H., DIESEM, C.D., EGLITIS, I. and RUSKELL, G.L.: Anatomy and histology
of the eye and orbit in domestic animals.
Springfield, (Ill.), Charles C. Thomas, Publisher (1960)

PUTTEN, G. van: Een onderzoek naar staartbijten bij mestvarkens.
Dissertatie, Amsterdam. Versl. landbouwk. Onderz. 706. PUDOC, Wageningen (1968)

PUTTEN, G. van: Resources under pressure. Animals.
Intensive agriculture and the environment. North Western European Region Sym-
posium. Dublin, An Foras Taluntais (1973)

PUTTEN, G. van, und DAMMERS, J.: Ferkel in einer reizarmen Umwelt.
In Druck (1976)

RAPPORT van de commissie Veehouderij - Welzijn Dieren; (Voorz. A.P. Verkaik)
Den Haag, Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek TNO, pp. 220 (1975)

REIHER, E.G.: Sinnesphysiologische und lernpsychologische Untersuchungen bei
Schweinen.
Forma et functio 1, 353-404 (1969)

RIEMANN, U.: Der Schweinestall ohne Trog und Fenster.
Der Tierzüchter 18, 539-542 (1966)

SAMBRAUS, H.H.: Was ist Prägung?
Der Tierzüchter 9, 383 (1975)

SELYE, H.: General physiology and pathology of systemic stress.
Montreal, Acta Inc. Medical Publishers (1950)

SELYE, H.: The evolution of the stress concept.
Am. Sci. 61, 692-699 (1973)

SCHREMMER, H., KIRMSE, K., STEGER, H., SCHLISSKE, W. und OTTO, E.: Mastschweine-
haltung im Dunkelstall.
Tierzucht 22, 358-359 (1968)

SCHOLZ, K. und LIPS, CH.: Zur Frage des Lichteinflusses auf die Mast- und
Schlachtleistung von Schweinen.
Tierzucht 18, 639-640 (1964)

STEGER, H., KIRMSE, K., LOECK, G., HÜHN, U., PÜSCHEL, F. und SCHREMMER, H.:
Untersuchungen zur Hell- und Dunkelstallhaltung von Zuchtsauen und Ebern.
Arch. Tierzucht 14, 55-67 (1971)

VOS, J.J.: Standaardisering van de gezichtsscherpzebepaling met optotypenkaarten.
Tijdschrift voor Sociale Geneeskunde, 47, (23), Supplement Nr. 3

SUMMARY

Visual orientation in pigs in relation to the level of lighting

Pigs are generally regarded as animals that prefer to live in semi-darkness. The raising of pigs in conditions of very low illumination is often recommended, or at least justified, with reference to this generally accepted view. Unfortunately the actual level of lighting in piggeries is rarely mentioned in the literature in sufficiently precise terms to permit interpretation.

The economical advantages and disadvantages of these dark housing-systems are not yet clear. Experiments designed to investigate economical factors in pig husbandry that have been carried out under different conditions of illumination cannot be compared since the level of lighting that pigs require has not been determined.

It is known, however, that the morphology of the pig-eye has more in common with the human eye than do the eyes of other domesticated animals. Further, pigs are able to perceive colours between the wave-lengths of 420 and 760 nm. Fattening pigs are active for about 12 hours a day (between 5 and 10 a.m. and 1 and 8 p.m.) so that, where conditions permit they make considerable use of their eyes. Absolute darkness is known to have a detrimental effect on the social life of pigs.

The experiments described in the present study were designed to investigate the effects of levels of illumination on the vision of pigs in order to provide the background information necessary to recommend appropriate lighting conditions for pigs.

Ten female pigs (crossbred GY x NL) were trained at an age of 4 months to discriminate between a closed circle and an open one (shaped as a Landolt-C, a standardsymbol). The lighting of the room was 200 lux, vertically measured, 35 cm above the floor. The closed and the open circle had the same dimensions. An endeavour was made to maintain the motivation of the pigs at a constant level, by regulating hunger, their desire for playing and their explorative behaviour. When the achievement of the learning task had been completed, the lighting in the room of 200 lux was reduced by a factor of two, and the ability of the pigs to discriminate between the closed and open circles was retested. This was repeated ten times, so that finally a level of 0.2 lux was reached, at which stage the discrimination was no longer possible. The number of "near-choices" was taken to be the criterion of vision. A "near-choice" was described as the animal not approached the correct sign in a straight line, but in hesitation. It may even

halt and turn to the wrong sign, and then turn back again. The wrong sign is, however, not touched.

The results obtained for nine of the ten pigs were identical in form. For lighting between 200 and 12 lux (well lit conditions) there was a constant proportion of near choices. For lighting between 1.5 and 0.2 lux (low lighting) there was also a constant proportion of near choices, but at a level 50 % greater. After the illumination had become very low, behavioural changes in the animals made clear, that the explorative abilities of the pigs were reduced to a great extent. For nine pigs individually the difference between the proportion of near choices in well lit conditions and in low lighting was significant at at least the $p < 0.05$ level, and for the group as a whole the level of significance reached was $p < 0.005$.

The results support a hypothesis, based on the morphology and physiology of the eye. It was demonstrated that between 200 and 12 lux the pigs can distinguish colours and the visual acuity is not decreased. Below 1.5 lux pigs can only distinguish between black and white and the visual acuity is decreased. Below 0.2 lux the visual perception is reduced almost to zero. The range between 12 lux and 1.5 lux is intermediate between colour-vision and vision of black and white. Within this range visual acuity steadily decreases.

The results obtained from this study lead to the rejection of the general opinion that for pigs semi-darkness is adequate. It is now possible to tell whether pigs can visually orientate themselves in a certain place or not, given precise information over the lighting conditions. What the optimal level of lighting in pigpens is cannot yet be determined. Further experiments have been recommended, in which the animal's welfare as well as economic factors are investigated, under the three different lighting conditions that have been identified.