

# Ökologie der Vögel • Ecology of Birds

Band 28, Heft 1 • Oktober 2006

---

Ökol. Vögel (Ecol. Birds) 28, 2006: 1-29

## Energetische Beurteilung von Koniferennadeln als Winternahrung von Auerhühnern *Tetrao urogallus*

Manfred Lieser, Till Töpfer, Karl-Eugen Schroth und Peter Berthold

**Energetic value of conifer needles as winter food of the capercaillie *Tetrao urogallus*.**  
– In Central Europe, the capercaillie regionally prefers different conifer species as winter food plants. In two years (October – March) we investigated the energetic value as the most obvious reason for food selection using 12 conifer species (5 indigenous, 7 exotic) and 28 individual capercaillies (14 cocks, 14 hens). Needles were offered *ad libitum*. The daily food intake and the corresponding amount of feces were used to calculate the metabolizable energy as an indicator of food quality.

The birds accepted the needles of all conifers offered. Pure needle diet of any species implemented a rapid decrease in body weight of all individuals which could be stopped feeding additional maize. This revealed a poor physiological efficiency of our captive-bred birds which was only 75% of the values documented for free-living birds (in case of *Pinus sylvestris* as food).

We had to evaluate the quality of needles taking into account the daily amount of maize consumed, because maize mostly consists of highly-digestible starch and thus has a strong influence on the metabolizable energy of the total food. For needles, the energy metabolized was 21.5-31.6% of the gross energy and 4.55-6.56 kJ/d/g dry matter, depending on the tree species. Comparing the total energy metabolized per day with the energy required for maintenance (360 kJ/d/kg<sup>0.75</sup>), we found the following ranking of tree species: *Pinus sylvestris* 85.3%, *Picea omorika* 84.8%, *Pseudotsuga menziesii* 84.2%, *Pinus rotundata* 77.3%, *Abies alba* 66.2%, *Pinus nigra* 63.7%, *Pinus cembra* 60.6%, *Picea sitchensis* 60.1%, *Larix decidua* 55.9%, *Abies concolor* 53.4%, *Picea abies* 49.2%, *Abies procera* 46.4%.

Among the indigenous species *Pinus sylvestris* has the highest energetic value, exceeding considerably the value of *Picea abies*. The impact of modified proportions of these tree species on the capercaillie population of the Black Forest is discussed. Neither the preference of capercaillie for needles of *Pinus rotundata* we found in another study nor the regionally different food selection reported in the literature is explained by the energetic value of the food. Some introduced tree species like *Pseudotsuga menziesii* proved to be suitable winter food for capercaillie.

**Key words:** Capercaillie (*Tetrao urogallus*), nutritional physiology, winter food, energetic value.

Dr. Manfred L i e s e r , Prof. Dr. Peter B e r t h o l d , Max-Planck-Institut für Ornithologie, Schlossallee 2, D-78315 Radolfzell, E-mail: [lieser@orn.mpg.de](mailto:lieser@orn.mpg.de).  
Till T ö p f e r , Bannewitzer Str. 27, D-01217 Dresden, E-mail: [till.toepfer@web.de](mailto:till.toepfer@web.de).  
Dr. Karl-Eugen S c h r o t h , Calwer Str. 27, D-75385 Bad Teinach-Zavelstein, E-mail: [k.e.schroth@cw-net.de](mailto:k.e.schroth@cw-net.de).

## 1. Einleitung

Rauhfußhühner zählen unter den Vögeln zu den extremen Pflanzenfressern, die vor allem im Winterhalbjahr mit schwer verdaulicher Nahrung auskommen müssen. Für das Auerhuhn, dessen Hauptverbreitungsgebiet die eurasische Taiga bis östlich des Baikalsees einnimmt, sind die Nadeln immergrüner Koniferen, und hier besonders der Kiefernarten *Pinus*, die wichtigste Winternahrung (KLAUS et al. 1986). In Mittel- und Westeuropa ergaben entsprechende Untersuchungen allerdings ein recht heterogenes Bild. So gilt die Fichte *Picea abies* im Harz (HEINEMANN 1989), im Schwarzwald (LIESER 1996, KULZER 2002), in den Karpaten (ALMA<sup>o</sup>AN 1970, SANIGA 2002) und in den Rhodopen (BOTEV et al. 1993) als wichtigste Nahrungspflanze. Für die Vogesen werden dagegen Kiefern *Pinus sylvestris* und *Pinus mugo* (WILHELM 1982), für den Jura (GEHRINGER 1978, LECLERCQ 1987) und die Bayerischen Alpen (STORCH et al. 1991) die Weißtanne *Abies alba* angeführt. Im Kantabrischen Gebirge fressen Auerhühner vorwiegend Waldkiefer *Pinus sylvestris*, Buche *Fagus sylvatica*, Stechpalme *Ilex aquifolium* und Wacholder *Juniperus communis* (RODRÍGUEZ & OBESO 2000). Aus den südfranzösischen Gebirgen berichtet BERDUCOU (2003) von einer Bevorzugung der Bergkiefer (*Pinus uncinata*). Für verschiedene Gebiete in Schottland werden Waldkiefer und Sitkafichte *Picea sitchensis* als Hauptnahrungsbaumarten genannt (ZWICKEL 1966, MOSS & PICOZZI 1994). Neben der letztgenannten wurden weitere forstlich eingebürgerte Arten als Auerhuhnnahrung nachgewiesen: Douglasie *Pseudotsuga menziesii*, Stechfichte *Picea pungens*, Nordmannstanne *Abies nordmanniana*, Große Küstentanne *Abies grandis*, japanische Lärche *Larix kaempferi* und Drehkiefer *Pinus contorta*.

(ZWICKEL 1966, BRÉZARD 1980, MOSS & PICOZZI 1994, LIESER 1996, KOLB 1998, KULZER 2002, SANIGA 2002).

Aus den genannten Unterschieden darf jedoch zunächst nicht auf echte regionale Präferenzen der Auerhühner geschlossen werden. SCHROTH et al. (in Vorber.) führten deshalb standardisierte Präferenzversuche mit Auerhühnern in Gefangenschaft durch. Für die im Schwarzwald heimischen Nadelbaumarten ergab sich hierbei eine Bevorzugung der Moorkiefer *Pinus rotundata* (hier der kriechenden Form *P. r. var. pseudopumilio*, aus der Artengruppe „Bergkiefer“ *Pinus mugo*-Komplex).

Als nächstliegender Grund für die Selektion einer bestimmten Nahrung durch Auerhühner muß die energetische Wertigkeit in Betracht gezogen werden. Dies gilt insbesondere für den Winterzeitraum, wenn diese Standvögel in ihrem natürlichen Lebensraum harten Witterungsbedingungen ausgesetzt sind, entsprechende Kosten für die Thermoregulation haben und die Nahrungsaufnahme auf ein bis zwei kurze Phasen am Tag beschränken. Andererseits müssen die Vögel im Winter keine nennenswerten produktiven Leistungen erbringen (Wachstum, Eibildung, Mauser), so daß sie keinen besonderen Bedarf an Baustoffen für Körpersubstanz (essentielle Aminosäuren) haben (vgl. Diskussion beim Birkhuhn *Tetrao tetrix* bei PAULI 1978). Auch liegen Hinweise darauf vor, daß Rauhußhühner in ihren Blinddärmen Stickstoff aus Harnsäure rückgewinnen (GREMMELS 1968, BEZZEL & PRINZINGER 1990).

**Ziel der vorliegenden Arbeit** war es deshalb, mit Hilfe der Kalorimetrie zu prüfen, wie Auerhühner die Nadeln verschiedener Koniferen energetisch nutzen können. Gleichzeitig sollte untersucht werden, welchen Wert eingebürgerte Nadelbaumarten als Winternahrung für Auerhühner haben. Diese Frage ist im Fall der Douglasie im Schwarzwald, wo die Auerhuhnpopulation seit Jahrzehnten abnimmt (LIESER & ROTH 2001), von praktischem Interesse für den Artenschutz. Zu diesem Aspekt führten bereits SJÖBERG & LINDÉN (1991) Versuche mit der Drehkiefer durch, die mittlerweile in Skandinavien große Forstflächen einnimmt.

*Wir danken der Otto Wolff-Stiftung für grundlegende finanzielle Unterstützung. D. Eisfeld (Freiburg) gab wertvolle Anregungen in allen Phasen der Untersuchung. F. Bairlein (Wilhelmshaven) ließ die Stoffanalysen der Nadeln im Labor des Institutes für Vogelforschung durchführen. G. Heldmaier (Marburg) und H.-W. Ley (Radolfzell) gaben hilfreiche Anmerkungen zum Manuskript.*

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Versuchsablauf

Die Versuche wurden in den Wintern 2001/02 und 2002/03, jeweils von Anfang Oktober bis Ende März, in Volieren der Vogelwarte Radolfzell (47°45'N, 9°E) durchgeführt. Insgesamt standen 28 Auerhühner (14 Hähne, 14 Hennen) zur Verfügung, die teilweise

auch von TÖPFER (2003) und SCHROTH et al. (in Vorber.) eingesetzt wurden: Winter 2001/02 - 9 Hähne (davon 2 im 1. Lebensjahr) und 10 Hennen (davon 6 im 1. LJ), Winter 2002/03 - 8 Hähne (davon 5 im 1. LJ) und 10 Hennen (davon 4 im 1. LJ). Sämtliche Vögel waren in Gefangenschaft erbrütet und aufgezogen worden. Elf stammten aus der eigenen Zucht der Vogelwarte, die übrigen aus anderen Auerhuhnhaltungen in Deutschland und Österreich. Alle gehen wahrscheinlich auf Vögel aus der österreichischen Population zurück.

Während der Versuche befanden sich die Vögel in einer überdachten Drahtvoliere und waren den Außentemperaturen ausgesetzt. Diese unterschritten zeitweise den Gefrierpunkt, lagen aber zumeist im Thermoneutralbereich von Auerhühnern. Für Auerhähne wird im Winter eine untere kritische Temperatur von  $-3^{\circ}\text{C}$ , für Auerhennen eine solche von  $9^{\circ}\text{C}$  angegeben (RINTAMÄKI et al. 1984). Nach KARASOV (1990) ist der Einfluß der Umgebungstemperatur (wie der Photoperiode) auf die Energieumsatzrate sehr gering und wird daher bei den Auswertungen vernachlässigt.

Es wurden entweder 4 oder 8 Vögel bei gleichem Anteil der Geschlechter gleichzeitig getestet, jeder in einem separaten Abteil mit Kunststoffboden von etwa  $6\text{ m}^2$  Größe, in dem sich nur Schüsseln für Futter, Wasser und Magensteine sowie eine Sitzstange befanden. Diese Stangen waren auf programmierbaren Waagen (Hersteller Höfler) montiert, die in bestimmten Intervallen (meist 30 min) die Körpermasse der Vögel speicherten. So konnte das tägliche Körpermasseminimum zur Beurteilung der Gewichtsentwicklung der Vögel ermittelt werden. Dies war für eine erste Einschätzung der Qualität der gefütterten Nadeln und für die Entscheidung einer Zufütterung bei starker Gewichtsabnahme erforderlich. Ein Versuch dauerte 7-21, meist 14 Tage. Vögel, die an mehreren Versuchen teilnahmen, wurden zwischenzeitlich wieder in der Haltungsvoliere untergebracht, wo sie Nadel- und Körnerfutter nach eigener Wahl aufnehmen konnten.

## 2.2 Getestete Baumarten

Es wurden die Nadeln von 12 Baumarten als Auerhuhnnahrung getestet, und zwar von

- den in Deutschland heimischen Arten Waldkiefer *Pinus sylvestris*, Moorkiefer *Pinus rotundata*, Fichte *Picea abies*, Weißtanne *Abies alba* und Europäische Lärche *Larix decidua*
- und von den als exotisch eingestuften Arten Zirbelkiefer *Pinus cembra*, Schwarzkiefer *Pinus nigra*, Douglasie *Pseudotsuga menziesii*, Serbische Fichte *Picea omorica*, Sitkafichte *Picea sitchensis*, Edeltanne *Abies nobilis* sowie Coloradotanne *Abies concolor*.

Es wurden immer nur die Nadeln einer Baumart, allein oder mit geringer Beigabe von Maiskörnern *Zea mays*, gefüttert. Das Nadelmaterial stammte aus der Umgebung Radolfzells, aus dem Schwarzwald (Weißtanne, Moorkiefer) und aus Vorarlberg (Zirbelkiefer) und wurde in lufttrockenem Zustand ad libitum angeboten. Um das Einwiegen des Futters zu präzisieren, wurden die Nadeln von den Ästen abgelöst oder

mitsamt feiner Triebe und Knospen kleingeschnitten. Letzteres ist gerechtfertigt, da auch Kiefernnahe im Kropf von Wildvögeln zu 5-20% der Trockensubstanz aus Triebstücken besteht (ZWICKEL 1966, PULLIAINEN 1970). Vorversuche mit ganzen Nadelbaumästen, die in eintägigem Abstand gewogen wurden, hatten durch Feuchtigkeitsschwankungen ungenaue Meßwerte ergeben.

Futter und Wasser wurden in Töpfe gefüllt und jeden Morgen (zwischen 8 und 10 Uhr) ausgewechselt. Die tägliche Körnerzufütterung betrug null bis 100 g Frischmais, bei den ♀ meist weniger als 50 g und bei den ♂ weniger als 70 g. Nicht in jedem Fall verzehrten die Vögel sämtlichen Mais. Ausschließliche Fütterung von Nadeln, die immer wieder ausprobiert wurde, führte bei allen Individuen zu beträchtlichem Körpergewichtsabfall, der durch die Maisbeigabe weitgehend kompensiert werden konnte.

### 2.3 Probenbehandlung

Vom Frisch- und Restnadelfutter eines jeden Tages wurden Stichproben für 24 Stunden bei 70°C getrocknet, um die verzehrte Trockenmasse zu bestimmen. Beim Mais wurde die täglich verzehrte Frischmenge ermittelt und bei allen Auswertungen mit konstanten Werten für den Wassergehalt und den Brennwert verrechnet. Diese Werte waren anhand von Stichproben hergeleitet worden.

Nachdem die Versuchsvögel morgens (bis etwa 9 Uhr) ihren Blinddarmkot abgegeben hatten, wurden die im Abteil befindlichen Exkremente, getrennt nach Walzen- und Blinddarmkot, vollständig aufgesammelt und gewogen. Es wurde unterstellt, daß diese Kotmenge aus dem verzehrten Material der vorausgegangenen 24 Stunden resultierte. Nach Trocknung von Stichproben wurden Walzen- und Blinddarmkotmenge und die Gesamtkotmenge (in g Trockensubstanz) ermittelt.

Für die Brennwertbestimmung wurden alle Futter- und Kotproben zu einem homogenen Pulver zermahlen. Die Messungen erfolgten mit einem Kalorimeter C 7000 der Firma IKA (Staufen). Blinddarm- und Walzenkot wurden getrennt behandelt (jeweils eine Verbrennung von etwa 1 g Trockensubstanz). Die Gesamtenergie des Kotes wurde durch Addition der Energiemengen beider Kotfraktionen eines Tages errechnet. Von dem Nadelfutter eines Versuches wurde jeweils von drei Proben der mittlere Brennwert bestimmt.

Zur stofflichen Charakterisierung des Nadelfutters wurde von jeder Baumart eine Mischprobe aus allen Versuchsreihen analysiert. Diese Analyse übernahm das Labor des Instituts für Vogelforschung (Wilhelmshaven). Es wurde der Gehalt folgender Stoffe bestimmt:

- Protein: Kjeldahl-Stickstoff x 6,25
- Fett: Soxhlet mit Petroläther BP 60
- Faser: als neutral detergent fibre (NDF) nach GOERING & VAN SOEST (1970)
- Asche: Verglühen bei 500°C für 24 Stunden.

## 2.4 Fehlerquellen

Bei der Auswertung und Interpretation der Daten muß eine Reihe von Fehlerquellen bedacht werden. Zu Beginn eines Versuches waren die Vögel noch von der vorherigen Fütterung in der Haltungsvoliere beeinflusst. Deswegen wurde der erste Versuchstag bei den Auswertungen weggelassen. Die Daten von offensichtlich kranken Vögeln wurden ebenfalls von der Auswertung ausgeschlossen. Dies war zweimal der Fall.

Außerdem resultierte sicherlich nicht jeden Tag bei jedem Tier die gesammelte Kotmenge exakt aus dem gemessenen Verzehr. Der Zeitpunkt der Fütterung und des Kotsammelns ließ sich, arbeitstechnisch bedingt, nicht konstant halten. Auch muß davon ausgegangen werden, daß in den Exkrementen Rückstände aus dem Abbau von Körpersubstanz enthalten sind (vor allem Harnsäure), die analytisch nicht von Nahrungsrückständen getrennt werden konnten.

Weitere Ungenauigkeiten sind beim Aufsammeln von Kot und Restfutter, beim Einwiegen des Materials sowie beim Ablesen, Eintragen und Runden von Daten denkbar. Die hinreichende Messgenauigkeit des Kalorimeters wurde zweimal im Verlauf der Analysen durch Verbrennung von Proben mit bekanntem Brennwert (Benzoesäure-Tabletten) bestätigt. Bei den Körpergewichtsangaben ist zu beachten, daß die Wägung am jeweils ersten Tag beim Umsetzen der Vögel in die Versuchsvoliere spät vormittags, also nach der ersten Futteraufnahme, erfolgte, an den übrigen Tagen dagegen früher, als die Vögel nüchtern waren. Der in einigen Fällen offensichtliche Gewichtsabfall vom ersten auf den folgenden Versuchstag dürfte hauptsächlich auf den Wiegezeitpunkt zurückzuführen sein.

## 3. Ergebnisse

In die Auswertungen gingen 952 Datensätze ein, die jeweils von einem Vogel und Versuchstag stammen und einem Punkt bei den folgenden Regressionanalysen entsprechen.

### 3.1 Verzehrs- und Kotmengen

Grundsätzlich fraßen alle Vögel die Nadeln aller getesteten Baumarten. Der Nadelverzehr stieg rasch an, wenn die gleichzeitig angebotene Maismenge reduziert oder weggelassen wurde. Wurde wieder Mais zugegeben, fiel der Nadelverzehr sofort ab (Abb. 1). Tab. 1 zeigt die erreichten Mittelwerte, wobei wegen des beträchtlichen Größenunterschiedes die Geschlechter getrennt betrachtet werden müssen.

Die Kotmengen hingen deutlich von den Verzehrsmengen ab. Die Maxima wurden bei allen Werten der Hähne und beim Blinddarmkot der Hennen an Tagen erreicht, als kein Mais zugefüttert wurde. Die Verzehrs- und Kotmengen der Hähne waren im Durchschnitt doppelt so groß wie die der Hennen.

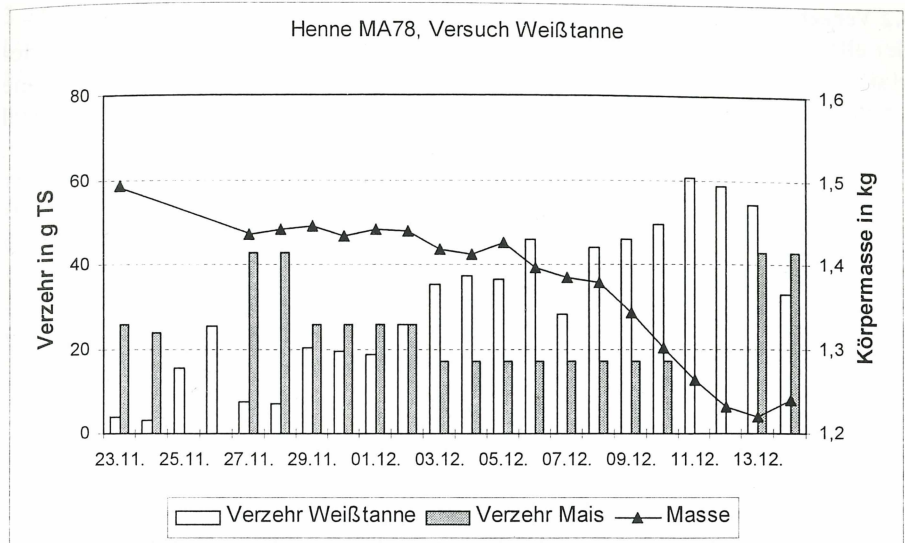


Abb. 1: Entwicklung von täglichem Verzehr (in Gramm Trockensubstanz, Säulen, linke Ordinate) und Körpermasse (Kurve, rechte Ordinate) einer Henne, Winter 2001/02. - Fig. 1: Daily food consumption (g dry matter, coloumns, scale on the left) and body mass (kg, line, scale on the right) of a female capercaillie in winter 2001/02.

Tab. 1: Tägliche Verzehrs- und Kotmengen von Hähnen und Hennen (in Gramm Trockensubstanz). Daily food consumption and feces of male and female capercaillies (g dry matter).

|                   |              | Mittelwert | SD   | Max |
|-------------------|--------------|------------|------|-----|
| Hähne<br>(n=463)  | Verzehr      | 123,9      | 41,6 | 257 |
|                   | Gesamtkot    | 77,1       | 36,7 | 190 |
|                   | Blinddarmkot | 11,5       | 8,0  | 52  |
|                   | Walzenkot    | 65,6       | 30,4 | 144 |
| Hennen<br>(n=489) | Verzehr      | 62,9       | 24,7 | 145 |
|                   | Gesamtkot    | 38,5       | 19,7 | 95  |
|                   | Blinddarmkot | 5,4        | 3,6  | 21  |
|                   | Walzenkot    | 33,1       | 17,0 | 80  |

3.2 Verzehr und Körpermasse der Versuchsvögel

Bei allen getesteten Baumarten war zu beobachten, daß bei starker Reduktion des Maisanteils oder bei alleiniger Nadelfütterung kein Auerhuhnindividuum seine Körpermasse konstant halten konnte. Abb. 1 zeigt hierfür ein typisches Beispiel (Junghenne, Futter Weißtanne). Wurde nach dem zweiten Tag der Mais weggelassen, stieg sofort der Nadelverzehr an, und das Körpergewicht nahm ab. Bei neuerlicher Maisbeigabe stabilisierte sich das Gewicht bis zum 02.12. Wurde dann der Mais stufenweise bis auf null reduziert, nahm der Vogel trotz des stark gesteigerten Nadelkonsums kontinuierlich ab. Die Maisbeigabe am 13.12. ließ das Gewicht wieder ansteigen. Da Körpermasseabbau vermieden werden sollte, wurde im zweiten Versuchswinter fast ständig eine geringe Menge Mais beigefüttert. Hierdurch gelang es, das Gewicht mehr oder weniger stabil zu halten (Beispiel in Abb. 2).

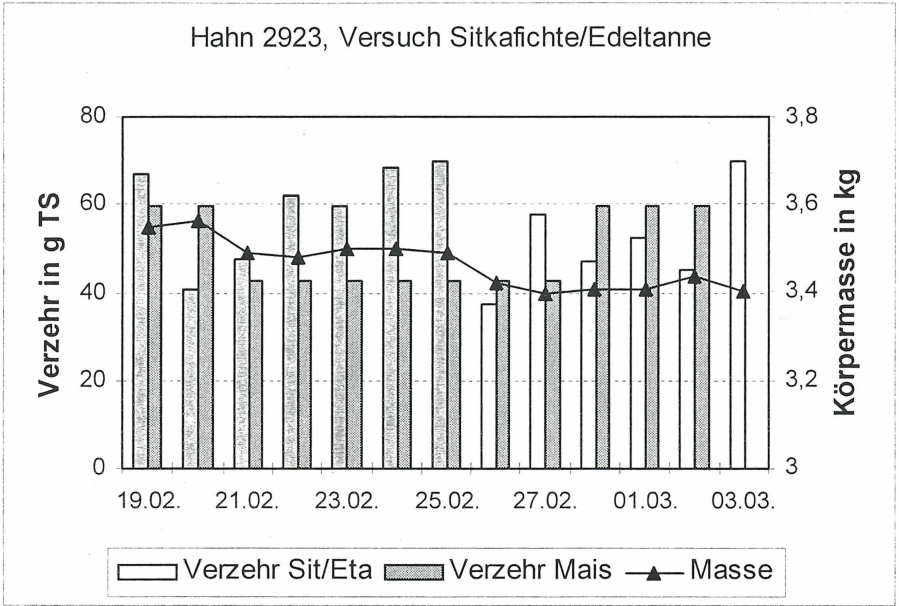


Abb. 2: Entwicklung von täglichem Verzehr (in Gramm Trockensubstanz, Säulen, linke Ordinate) und Körpermasse (Kurve, rechte Ordinate) eines Hahns, Winter 2002/03. - Fig. 2: Daily food consumption (g dry matter, coloumns, scale on the left) and body mass (kg, line, scale on the right) of a male capercaillie in winter 2002/03.

3.3 Charakteristika von Futter und Kot

Der durchschnittliche Trockensubstanzanteil des Nadelfutters betrug 43%, der von Mais 85,4%. Die Werte von Walzenkot und Blinddarmkot waren 35% und 25%. Die Energie- und Stoffgehalte zeigt Tab. 2.

Tab. 2: Charakteristika von Futter- und Kottrockensubstanz. *Characteristics of food and feces (dry matter).*

|               | Brennwert (kJ/g) | Faser (%) | Protein (%) | Fett (%) | Asche (%) |
|---------------|------------------|-----------|-------------|----------|-----------|
| Serb. Fichte  | 21,901           | 43,0      | 5,8         | 4,7      | 3,8       |
| Edeltanne     | 21,488           | 48,7      | 8,1         | 8,5      | 5,3       |
| Schwarzkiefer | 21,190           | 39,1      | 9,9         | 5,4      | 7,6       |
| Zirbelkiefer  | 21,142           | 48,9      | 8,7         | 7,9      | 3,7       |
| Moorkiefer    | 21,100           | 45,8      | 8,0         | 6,2      | 2,6       |
| Sitkafichte   | 21,033           | 30,9      | 7,3         | 1,6      | 3,8       |
| Weißtanne     | 20,924           | 52,5      | 9,7         | 4,1      | 4,2       |
| Douglasie     | 20,750           | 46,5      | 9,6         | 3,2      | 5,4       |
| Coloradotanne | 20,513           | 61,4      | 9,3         | 4,8      | 4,4       |
| Waldkiefer    | 20,510           | 48,7      | 8,1         | 8,5      | 5,3       |
| Fichte        | 20,316           | 40,9      | 9,2         | 2,0      | 6,7       |
| Europ. Lärche | 19,722           | 53,5      | 15,4        | 3,6      | 3,3       |
| Mais          | 18,647           |           |             |          |           |
| Walzenkot     | 18,644           |           |             |          |           |
| Blinddarmkot  | 22,261           |           |             |          |           |

Die Brennwerte der verfütterten Nadelarten liegen in einem recht engen Bereich beieinander, der von Mais etwas darunter. Beim Proteingehalt fallen Serbische Fichte (Minimum) und Europäische Lärche (Maximum) aus dem Rahmen, beim Fasergehalt entsprechend Sitkafichte und Coloradotanne. Fett- und Aschegehalt streuen insgesamt stärker als Protein- und Fasergehalt. Die Energiegehalte der Kotsorten, Mittelwerte aus jeweils mehr als 500 Messungen, differieren um etwa 3,6 kJ/g. Der Blinddarmkot ist also deutlich energiereicher als der Walzenkot.

3.4 Umgesetzte Energie und umgesetzte Trockensubstanz

Als Weiser für die Qualität des Futters wurde nicht die verdauliche, sondern die umgesetzte (umsetzbare) Energie herangezogen, da bei Vögeln Kot und Harn gemeinsam

ausgeschieden werden und in der vorliegenden Arbeit nicht voneinander getrennt werden konnten:

$$\text{Umsetzbare Energie} = \text{Energie in der Nahrung} - \text{Energie im Kot} - \text{Energie im Harn.}$$

Sie wird im folgenden in Kilojoule pro Tag und Auerhuhn (kJ/d), in Kilojoule pro Tag in Bezug auf das metabolische Körpergewicht eines Auerhuhns (kJ/d/kg<sup>0.75</sup>) oder in Prozent der Bruttoenergie der Nahrung ausgedrückt. Auf dem Analyseweg ergab sich zwangsläufig ein analoger Wert für die Futtertrockensubstanz, der hier in Anlehnung an KARASOV (1990, „assimilated mass“) als „umgesetzte Trockensubstanz“ (in g/d oder in Prozent der verzehrten Trockensubstanz) bezeichnet wird. Es wurde zunächst überprüft, wie die umgesetzte Energie mit der umgesetzten Trockensubstanz zusammenhängt (Abb. 3). Hierzu wurden die Versuchsvögel nach Geschlecht und Alter in vier Gruppen eingeteilt. Negative Umsatzwerte traten auf, wenn die Kotmenge oder Kotenergie die verzehrte Menge bzw. Energie übertraf. Das konnte auf den genannten Fehlerquellen beruhen, aber auch richtig sein, wenn ein Vogel nichts oder wenig fraß und gleichzeitig Körpersubstanz abbaute.

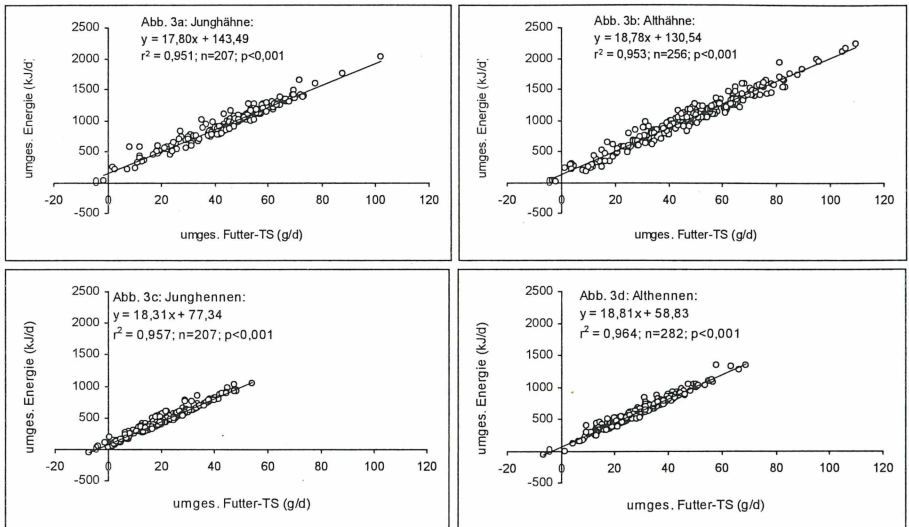


Abb. 3: Zusammenhang zwischen der täglich umgesetzten Energie (y) und der umgesetzten Futtertrockensubstanz (x) für alle Futterkombinationen (Nadeln mit unterschiedlichem Maisanteil). - Fig. 3: Correlation between the energy metabolized per day (y) and the assimilated food dry matter (x) for all combinations of food (needles with varying amount of maize).

Für jede Tiergruppe ergab sich eine enge Beziehung zwischen der umgesetzten Energie pro Tag und der umgesetzten Trockensubstanz. Die Geradensteigungen entsprechen theoretisch dem Brennwert von 1 g Futter und sind daher in etwa gleich. Die Konstante ergibt sich jeweils aus dem Vergleich der Energie, die im Harn ausgeschieden wird, mit der Energie, die in einer der Harnmenge entsprechenden Futtermenge steckt (Futterenergie minus Harnenergie). Da Vogelharn überwiegend aus Harnsäure mit einem Brennwert von 11,5 kJ/g besteht (BELL, in KARASOV 1990), das Futter aber einen Brennwert von etwa 18-19 kJ/g hat, ist die Konstante positiv. Infolge der Körpergrößenunterschiede sind die Werte der Hähne etwa doppelt so hoch wie die der Hennen. Die errechneten Gleichungen führen innerhalb der Geschlechter zu ähnlichen Umsatzwerten (Tab. 3).

Tab. 3: Umsetzbare Energie (in kJ/d), errechnet aus den Gleichungen in Abb. 3. *Metabolizable energy (kJ/d), calculated from equations in fig. 3.*

| umgesetzte Futter-TS (g/d) | Junghähne | Althähne | Junghennen | Althennen |
|----------------------------|-----------|----------|------------|-----------|
| 10                         | 322       | 318      | 260        | 245       |
| 20                         | 500       | 506      | 444        | 435       |
| 30                         | 678       | 694      | 627        | 623       |
| 40                         | 856       | 882      | 810        | 811       |
| 50                         | 1034      | 1070     | 993        | 999       |
| 60                         | 1212      | 1257     | 1176       | 1187      |
| 70                         | 1390      | 1445     |            |           |
| 80                         | 1568      | 1633     |            |           |
| 90                         | 1746      | 1821     |            |           |
| 100                        | 1924      | 2009     |            |           |

Für den folgenden Vergleich der Baumarten als Auerhuhnnahrung wurde zunächst die umsetzbare Energie in Prozent der Nahrungsenergie verwendet. Hierzu wurde der Zusammenhang zwischen diesem Parameter und dem umgesetzten Anteil der Trockensubstanz überprüft (Abb. 4). Dies war auch notwendig, um eigene Daten mit solchen aus der Literatur, die unterschiedliche Bezugsbasen für die Verwertbarkeit der Nahrung haben, vergleichbar zu machen. Es ergaben sich auch hier sehr enge Korrelationen. Da für jedes Kollektiv der hypothetische „Zielwert“ der Geraden gleich ist (und bei 100/100 liegt), sind Unterschiede in den Steigungen auf die leicht unterschiedlichen Konstanten der Geraden zurückzuführen. Aus den Regressionsgleichungen errechnen sich sehr ähnliche Werte für die vier Gruppen (Tab. 4), weshalb für alle Tiere eine gemeinsame Regression berechnet wurde:

$y = 0,948x + 5,2; r^2 = 0,974; p < 0,001; n = 952$  (ohne Abbildung).

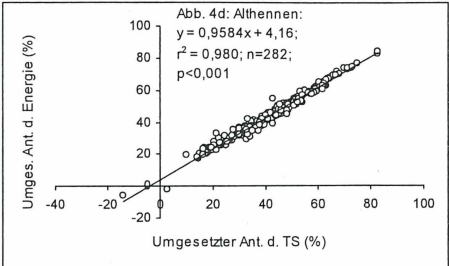
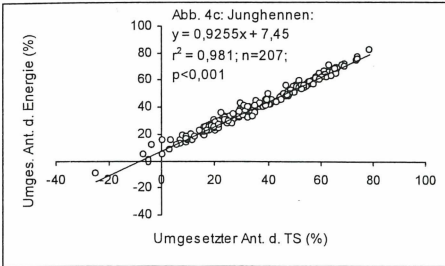
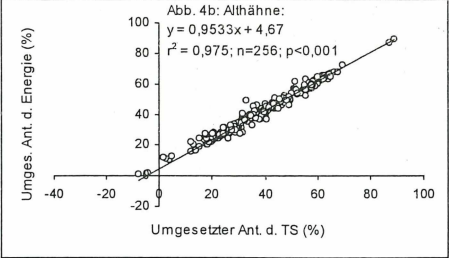
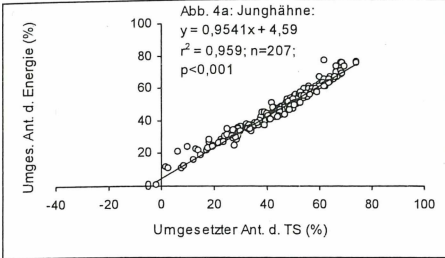


Abb. 4: Zusammenhang zwischen dem Anteil umgesetzter Energie (y) und dem Anteil umgesetzter Futtertrokensubstanz (x), jeweils mit hypothetischem Zielwert der Geraden bei (100/100). - Fig. 4: Correlation between the proportion of energy metabolized (y) and the proportion of assimilated food dry mass (x), assuming that the regression line aims at (100/100).

Tab. 4: Umsetzbare Energie (in %), errechnet aus den Gleichungen in Abb. 4. Metabolizable energy (%), calculated from equations in fig. 4.

| umgesetzte Futter-TS (%) | Junghähne | Althähne | Junghennen | Althennen |
|--------------------------|-----------|----------|------------|-----------|
| 10                       | 14,1      | 14,2     | 16,7       | 13,7      |
| 20                       | 23,4      | 23,7     | 26,0       | 23,3      |
| 30                       | 33,2      | 33,3     | 35,2       | 32,9      |
| 40                       | 42,8      | 42,8     | 44,5       | 42,5      |
| 50                       | 52,3      | 52,3     | 53,7       | 52,1      |
| 60                       | 61,8      | 61,9     | 63,0       | 61,7      |
| 70                       | 71,4      | 71,4     | 72,2       | 71,2      |
| 80                       | 80,9      | 80,9     | 81,5       | 80,8      |
| 90                       | 90,5      | 90,5     | 90,7       | 90,4      |

### 3.5 Einfluß der Maisbefütterung auf die umsetzbare Energie der Nahrung

LINDÉN (1984a, 1988) berichtet aus seinen Versuchen mit Auerhühnern, daß der Anteil umsetzbarer Energie sank, wenn der Anteil an Kiefernadeln am Verzehr erhöht und der Anteil an Pelletfutter und Hafer reduziert wurde. Umgekehrt war in der vorliegenden Arbeit zu erwarten, daß sich der zugefütterte Mais, der zu etwa 70% der Trockensubstanz aus leicht verdaulicher Stärke besteht (AECKERLEIN 1986), positiv auf die umsetzbare Energie des Futters auswirken würde. Dieser Einfluß wurde für alle Baumarten zusammengenommen, aber zunächst getrennt für Junghähne, Althähne, Junghennen und Althennen, geprüft (Abb. 5). Es ergab sich für jede Tiergruppe eine abgesicherte positive Beziehung zwischen dem Anteil des Mais an der verzehrten Energie und deren Umsetzbarkeit. Setzt man in die Geradengleichungen bestimmte Maisanteilswerte ein, so ergeben sich für die vier Gruppen recht ähnliche Werte (Tab. 5).

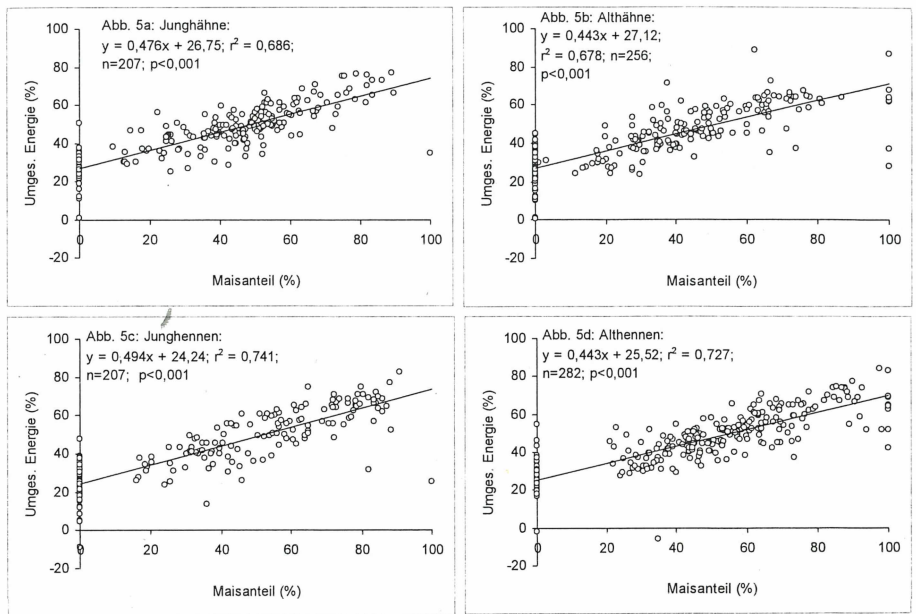


Abb. 5: Zusammenhang zwischen dem Maisanteil an der verzehrten Energie und deren Umsetzbarkeit. - Fig. 5: Metabolizable energy (%) depending on the proportion of maize in gross energy intake.

Die Regression für alle Daten zusammen zeigt Abb. 6. Der Mittelwert bei reinem Nadelverzehr ( $x=0$ ) beträgt  $25,8 \pm 8,5\%$  ( $n=264$ ) und deckt sich fast mit dem errechneten y-Achsenabschnitt (26%). Ausreißer beruhen wahrscheinlich auf den genannten

Fehlerquellen und konnten nachträglich nicht bereinigt werden. Die Fälle mit reinem Maisverzehr ( $x=100$ ) liegen bis auf zwei alle unterhalb des Zielwertes der Geraden, ihr Mittelwert ist  $57,5 \pm 17,5\%$  ( $n=18$ ). Zur Bestimmung der Umsetzbarkeit von Mais wurde eine neue Regression nur für  $x < 95$  errechnet:  $y = 0,474x + 26,03$ ;  $r^2 = 0,755$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 931$ .

Setzt man in diese Gleichung  $x=100$  ein, dann erhält man die Umsetzbarkeit der Energie von Mais (in Kombination mit Nadelfutter), nämlich 73,4%.

Tab. 5: Umsetzbarer Anteil der Nahrungsenergie (in %), errechnet aus den Gleichungen in Abb. 5. *Metabolizable energy (%)*, calculated from equations in fig. 5.

| Maisanteil x (in %) | Junghähne | Althähne | Junghennen | Althennen |
|---------------------|-----------|----------|------------|-----------|
| 10                  | 31,5      | 31,6     | 29,2       | 30,0      |
| 20                  | 36,3      | 36,0     | 34,1       | 34,4      |
| 30                  | 41,0      | 40,4     | 39,1       | 38,8      |
| 40                  | 45,8      | 44,8     | 44,0       | 43,2      |
| 50                  | 50,6      | 49,3     | 48,9       | 47,7      |
| 60                  | 55,3      | 53,7     | 53,9       | 52,1      |
| 70                  | 60,1      | 58,1     | 58,8       | 56,5      |
| 80                  | 64,8      | 62,6     | 63,8       | 61,0      |
| 90                  | 69,6      | 67,0     | 68,7       | 65,4      |

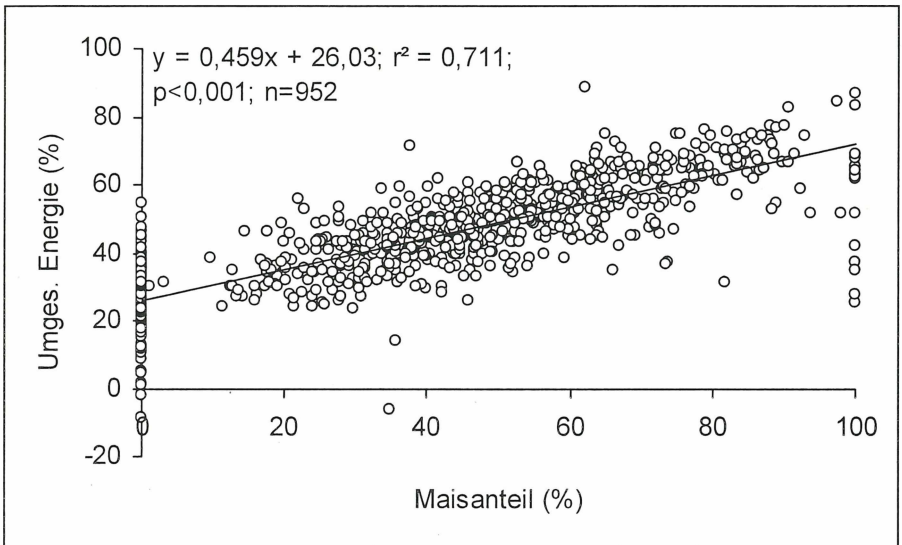


Abb. 6: Zusammenhang zwischen dem Maisanteil an der verzehrten Energie und deren Umsetzbarkeit, für alle Vögel zusammen. - Fig. 6: *Metabolizable energy (%) depending on the proportion of maize in gross energy intake, for all birds combined.*

### 3.6 Umsetzbarkeit der Energie der Nadeln

Aufgrund des starken Maiseinflusses auf die Verwertbarkeit der Nahrung mußten Qualitätsunterschiede der Nadelarten in Abhängigkeit vom Maisanteil geprüft werden. Zu diesem Zweck wurde für jede Baumart entsprechend Abb. 6 eine Regression dergestalt berechnet, daß der „Zielpunkt“ der Geraden bei (100/73,4) liegt (Abb. 7). Hierbei wird unterstellt, daß die Umsetzbarkeit von (fast) reinem Mais von der Nadelart unabhängig ist. Auf diese Weise liefert die errechnete Konstante auch für solche Baumarten näherungsweise die Umsetzbarkeit der Energie aus Nadeln, für die der x-Bereich größere Datenlücken aufweist (vor allem bei Douglasie, Edeltanne, Schwarzkiefer und Zirbelkiefer). Aus dem fixen Zielwert für  $x=100$  und der Lage der Einzelwerte ergibt sich die Geradensteigung. Diese bestimmt die baumartenspezifische Konstante. Je besser eine Nadelart energetisch verwertbar ist, desto flacher verläuft die Gerade. Für die Moorkiefer war dieses Vorgehen wegen schlechter Abdeckung des x-Bereiches nicht sinnvoll, stattdessen wurde der Mittelwert für  $x=0$  herangezogen. Einen abschließenden Vergleich der Baumarten zeigt Abb. 8. Verrechnet man die Umsatzprozente (Abb. 8 oben) mit den Brennwerten der Nadelarten aus Tab. 2, dann erhält man die umsetzbare Energie in kJ pro Gramm Trockensubstanz (Abb. 8 unten). Die Werte für Mais lauten 73,4% bzw. 13,69 kJ/g.

Bezogen auf die umsetzbare Energie der Waldkiefer (5,76 kJ/g = 100%) ist die Douglasie um 14% besser, die Fichte um 21% schlechter einzustufen. Serbische Fichte, Zirbelkiefer, Schwarzkiefer und Sitkafichte liegen innerhalb von 5% Abweichung von der Waldkiefer. Von den übrigen einheimischen Arten erreichen Moorkiefer 92%, Lärche 89% und Weißtanne 85% des Waldkiefernwertes; Coloradotanne (87%) und Edeltanne (80%) reihen sich im unteren Bereich ein.

### 3.7 Energetischer Wert der Nadeln

Der energetische Wert eines Futters ergibt sich aus dem Gehalt an umsetzbarer Energie und der täglich verzehrbaren Menge. Er wird im folgenden als umgesetzte Energie pro Tag bei ad libitum-Angebot einer Nadelart hergeleitet und auf das metabolische Körpergewicht der Vögel bezogen. Dieses ist das am jeweiligen Tag gemessene Körpermasseminimum in kg, potenziert mit 0,75. Durch Verwendung dieser Bezugsgröße können Vögel unterschiedlicher Körpermasse in energetischer Hinsicht vergleichbar gemacht werden. Die mittlere Körpermasse (tägliches Minimum) betrug bei Althähnen 3,671, bei Junghähnen 3,351, bei Althennen 1,833 und bei Junghennen 1,692 kg.

Die umgesetzte Energie, die aus Nadeln stammt, wurde dadurch ermittelt, daß aus dem Gesamtenergieumsatz der Anteil des Mais mit der Umsetzbarkeit von 73,4% herausgerechnet wurde. Die Energie aus Nadeln (in kJ/d/kg<sup>0,75</sup>) wurde mit dem Maisanteil am Verzehr korreliert, wobei sich erwartungsgemäß eine abgesicherte negative Beziehung ergab (mit Zwang der Geraden durch 100/0):

$$y = 254,6 - 2,546x; r^2 = 0,413; n = 925; p < 0,001 \text{ (ohne Abb.)}.$$

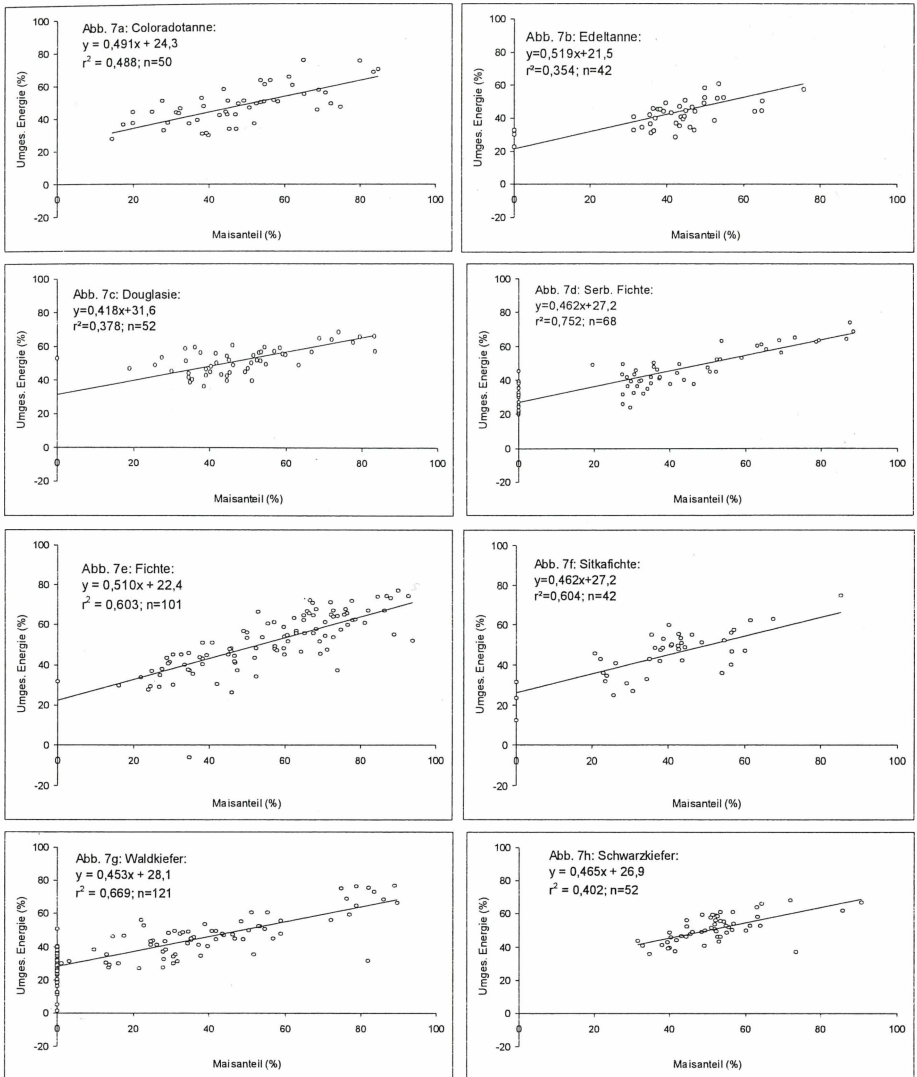
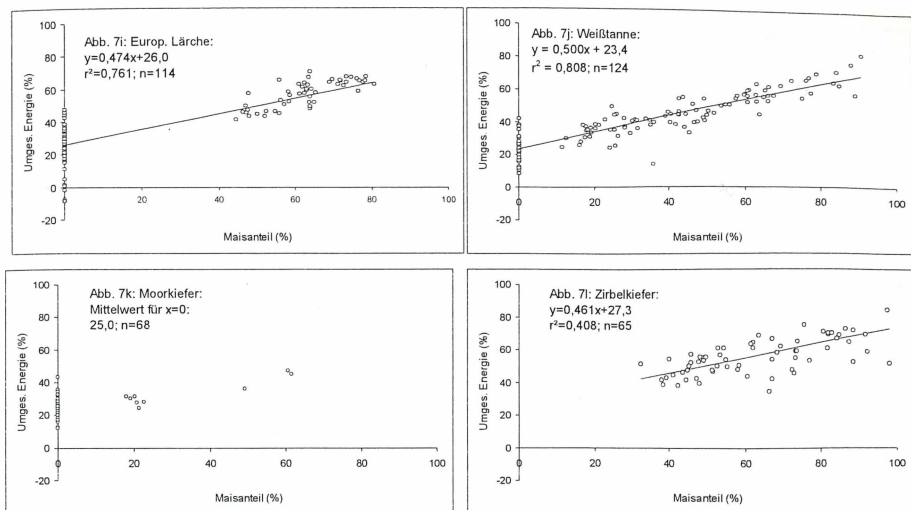


Abb. 7 (Seite 16 & 17): Zusammenhang zwischen umgesetzter Energie (%) und Maisanteil (standardisierte Regressionen mit dem Zielpunkt 100/73,4). - Fig. 7 (Page 16 & 17): *Metabolizable energy (%) depending on the proportion of maize in gross energy intake (assuming that the regression lines aim at 100/73.4).*



Für die Baumarten wurden analog Abb. 7 Einzelregressionen berechnet, die alle den hypothetischen Zielpunkt (100/0) haben. Die Konstante liefert dann die Energie, die Auerhühner aus reiner Nadelnahrung pro Tag und  $\text{kg}^{0,75}$  umsetzen (Abb. 9).

Zur Bewertung der Ergebnisse wurde der tägliche Bedarf an umsetzbarer Energie zur Aufrechterhaltung der Körpermasse (Erhaltensbedarf) hergeleitet. Dazu wurden alle Versuchsabschnitte von mindestens fünf Tagen herausgegriffen, in denen das Körpergewicht des jeweiligen Auerhuhns gleich blieb, was 320 Versuchstage ergab. Die umgesetzte Energie betrug an diesen Tagen im Durchschnitt  $359,7 \text{ kJ/d/kg}^{0,75}$  ( $\text{SD}=116,3$ ).

Wie Abb. 10 zeigt, erreichte die Waldkiefer mit 85,3% des Erhaltungsbedarfes den höchsten Wert. Unter den einheimischen Baumarten folgen Moorkiefer (77,3%), Weißtanne (66,2%), Europäische Lärche (55,9%) und Fichte (49,2%). Ähnlich hohe Werte wie bei der Waldkiefer gab es für Serbische Fichte und Douglasie. Die übrigen Exoten liegen alle unter 65%.

## 4. Diskussion

### 4.1 Beurteilung der Messwerte

Die umsetzbare Energie wird weltweit zur Beurteilung von Geflügelfuttermischungen herangezogen (SCHEUNERT & TRAUTMANN 1976). Auch in energetischen Studien an Rauhfußhühnern ist sie eine gebräuchliche Größe, hergeleitet aus den täglichen Verzehr- und Kotmengen (z. B. GASAWAY et al. 1978, PAULI 1978, ZBINDEN 1980, LINDÉN 1984a,

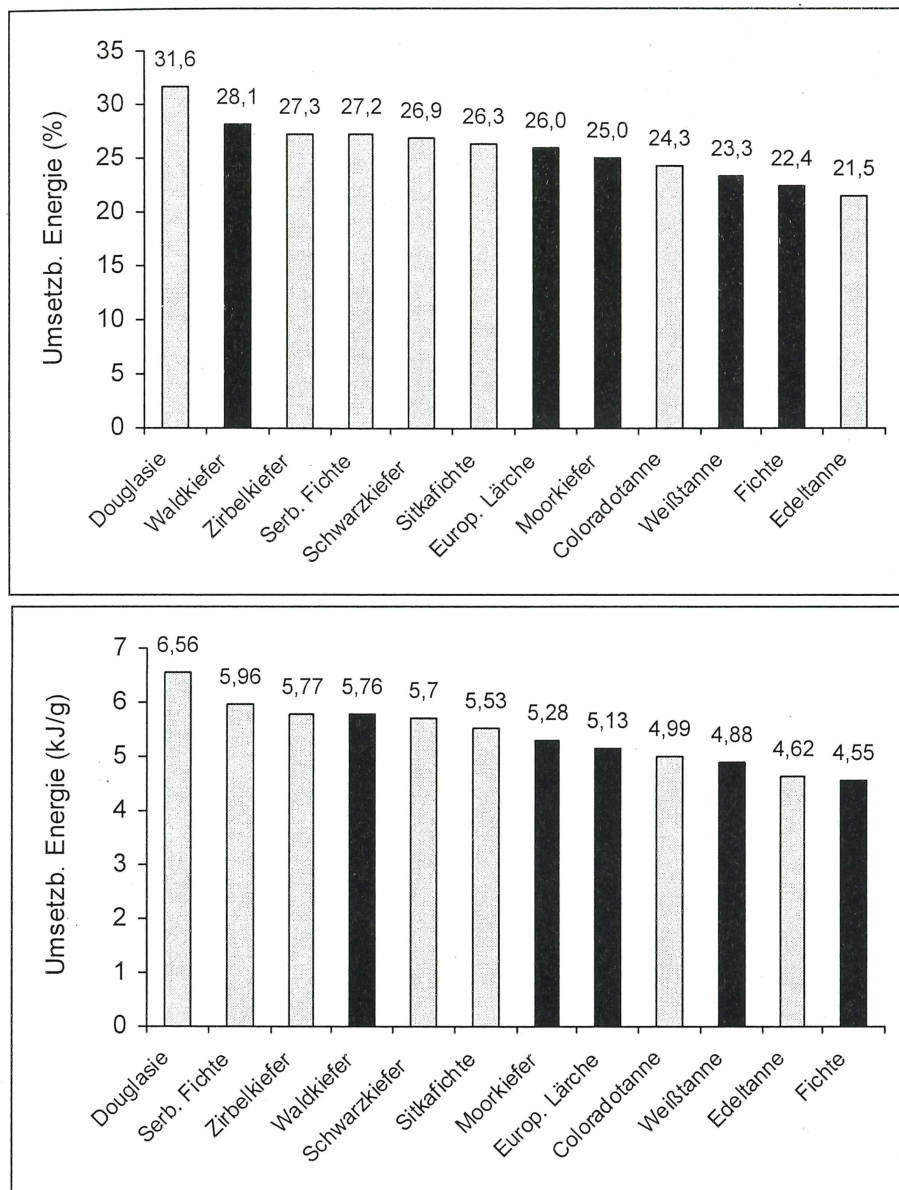


Abb. 8: Gehalt an umsetzbarer Energie (in % der Bruttoenergie – oben – und in kJ pro Gramm Trockensubstanz – unten) der Nadeln von 12 Koniferennadeln (schwarz: einheimische Arten, grau: fremdländische Arten). - Fig. 8: Metabolizable energy (% of gross energy – above – and kJ/g dry matter – below) in needles of 12 conifer species (black – indigenous species, gray – exotic species).

SJÖBERG & LINDÉN 1991, ANDREEV & LINDÉN 1994). Die in der vorliegenden Arbeit gemessenen Brennwerte (Tab. 2) passen in den Rahmen der Werte aus anderen Studien (kJ/g): Fichte 21,13, Weißtanne 21,05 (ZBINDEN 1980), Waldkiefer 19,6 (RODRIGUÉZ & OBESO 2000), 25,2 (ANDREEV & LINDÉN 1994) und 24,3 (SJÖBERG & LINDÉN 1991), Drehkiefer 22,3 (PENDERGAST & BOAG 1971). Die Schwankungsbreite beruht auf standörtlich verschiedenen Gehalten an Stoffgruppen in den Nadeln.

Auch die vorliegenden Brennwerte für Auerhuhnkot sind plausibel. So nennen ANDREEV & LINDÉN (1994) 19,1 kJ/g für Walzenkot und 26,2 kJ/g für Blinddarmkot. Die Werte für Walzenkot, der überwiegend aus unverdaulichen Gerüstsubstanzen besteht, liegt geringfügig unter den Nadelbrennwerten, während der Energiegehalt von Blinddarmkot höher als diese ist. Nach KIRCHGESSNER (1996) betragen die Brennwerte für Protein 23,8, für Fett 39,7 und für Zellulose 17,8 kJ/g. Die höheren Brennwerte von Blinddarmkot können mit einer Eiweißbeteiligung aus Darmsymbionten und mit einer Anreicherung von ätherischen Ölen und ähnlichen Substanzen erklärt werden (vgl. Analysedaten bei ANDREEV 1988). Auf letzteres deuten auch die je nach Baumart unterschiedliche Farbe, Konsistenz und der Geruch des Blinddarmkotes hin. Nach Verzehr von Waldkiefer z. B. war der Blinddarmkot der Versuchsvögel deutlich klebriger als nach dem Verzehr von Fichte, Tanne, Lärche oder Moorkiefer.

Die von uns errechneten Umsatzprozente sind ebenfalls plausibel. So geben ANDREEV & LINDÉN (1994) für gezüchtete Auerhühner, die etwa 20% Kiefernadeln und 80% Hafer und Pelletfutter gefressen hatten, einen Wert von 64% umgesetzter Energie an. Die Gleichung in Abb. 6 ergibt für einen Maisanteil von 80% eine Umsetzbarkeit von 62,8%. SJÖBERG & LINDÉN (1991) errechneten für ein Futtermisch aus Waldkiefer, Drehkiefer und Hafer Umsatzwerte von 52-57% der Energie. Herbivore Vogelarten erreichen oft nur 25% oder weniger, Fleischfresser dagegen Werte um 85% (BEZZEL & PRINZINGER 1990, KARASOV 1990). Fichtenhühner *Canachites canadensis* setzten 29% der Energie von *Pinus contorta*-Nadeln (PENDERGAST & BOAG 1971), Birkhühner etwa 20% der Energie von Fichten- und Weißtannennadeln um (ZBINDEN 1980).

Die enge Beziehung zwischen umgesetzter Energie und umgesetzter Trockensubstanz (Abb. 3) macht deutlich, daß zur energetischen Beurteilung der Winternahrung von Rauhfußhühnern die umgesetzte Trockensubstanz ausreicht. Diese ist leicht zu messen und erlaubt eine präzise Berechnung der umgesetzten Energie, wenn diese als Parameter benötigt wird. Die aufwendige Kalorimetrie von Futter und Kot ist im Grund nicht erforderlich. Auch der umgesetzte Anteil der Nahrungsenergie kann sehr präzise durch den umgesetzten Anteil der Trockensubstanz vorhergesagt werden (Abb. 4). Zu beachten ist hierbei, daß die Verwertbarkeit der Energie und die der Trockensubstanz vom Betrag her unterschiedlich sind, worauf auch KARASOV (1990) hinweist. Dieser Umstand beruht wie der positive y-Achsenabschnitt in Abb. 3 auf der Beteiligung von Harn an den aufgesammelten Exkrementen.

Die Streuung der Umsatzwerte ist durch Differenzen zwischen den getesteten Individuen und durch Meßfehler bedingt. Hier spielt vor allem der Umstand eine Rolle, daß Kot-

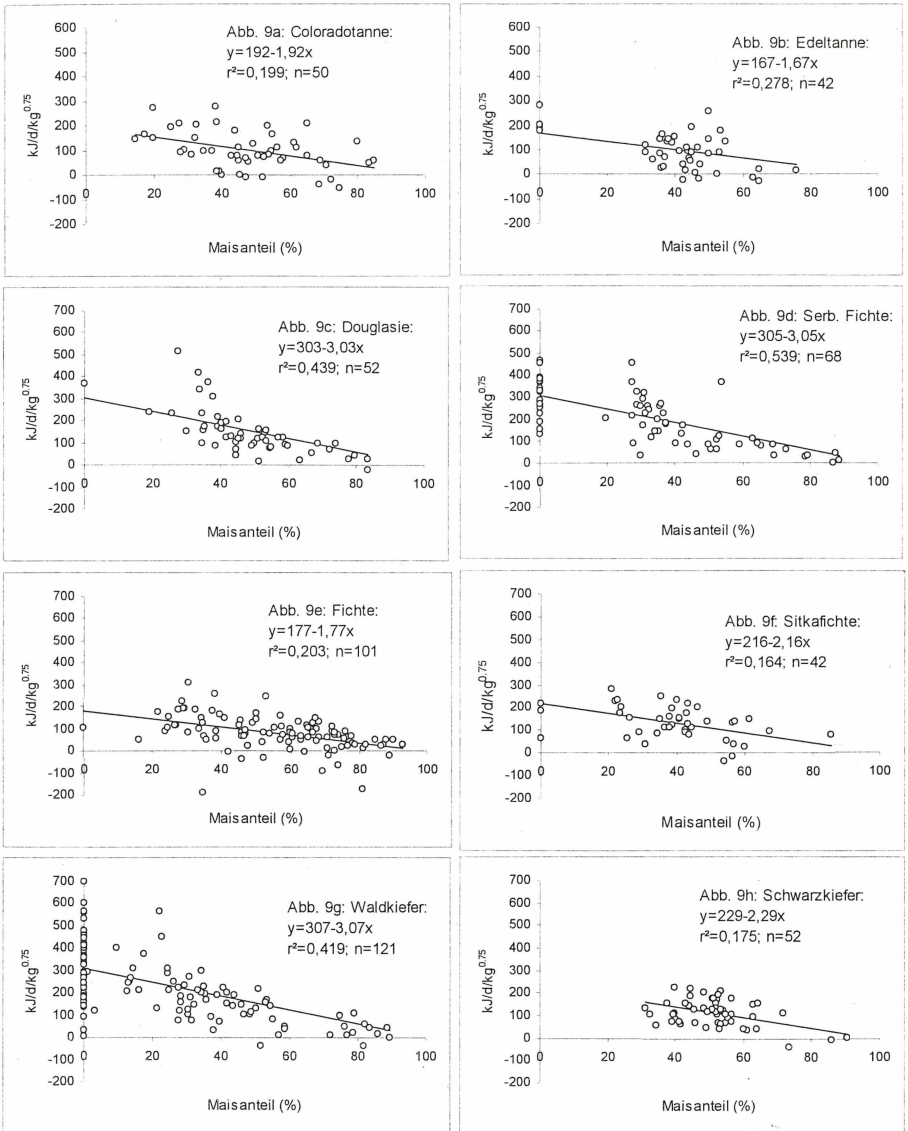


Abb. 9 (Seite 20 & 21): Zusammenhang zwischen täglich umgesetzter Energie aus Nadeln (y) und dem Maisanteil am Verzehr (standardisierte Regressionen mit dem Zielpunkt 100/0). - Fig. 9 (Page 20 & 21): Metabolizable energy per day from conifer needles (y) depending on the proportion of maize in gross energy intake (assuming that the regression lines aim at 100/0).

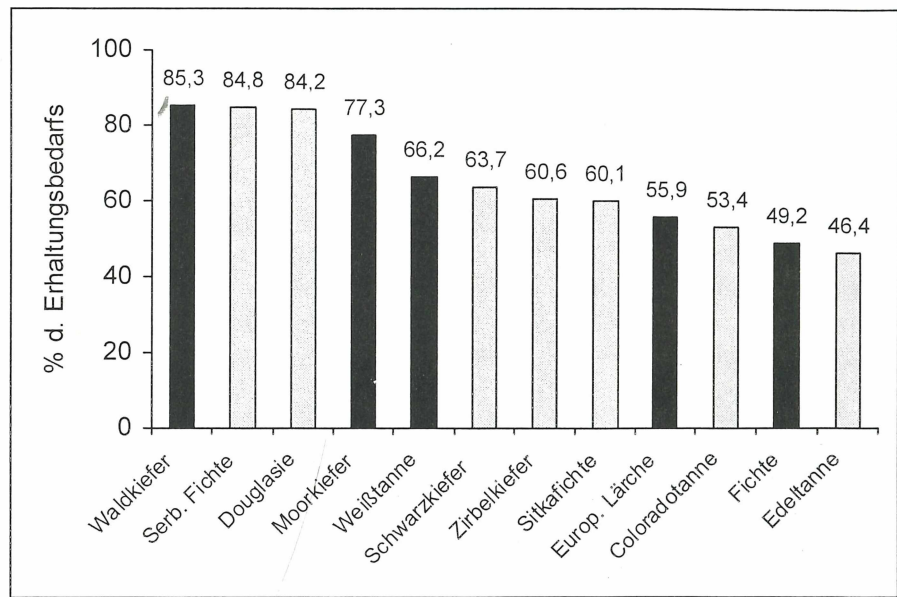
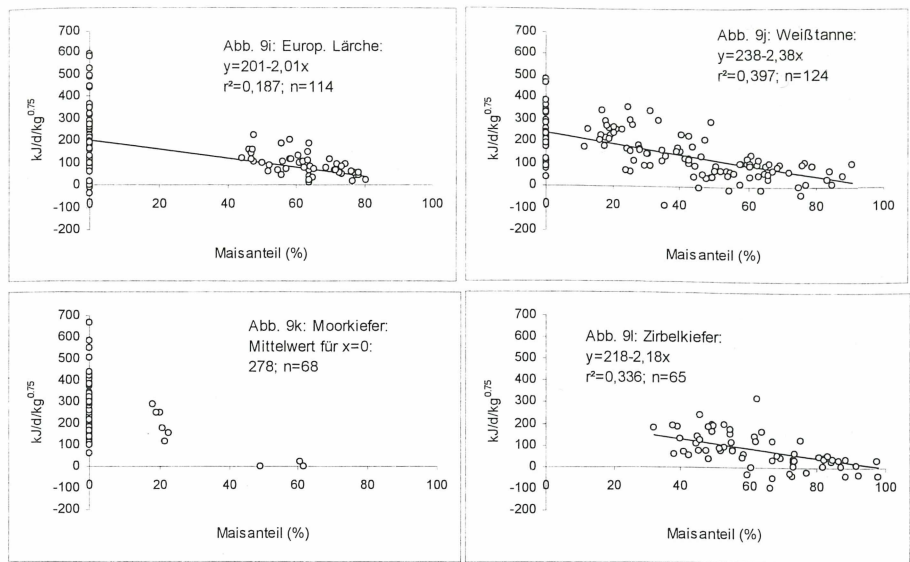


Abb. 10: Energetischer Wert der Nadelarten in Prozent des Erhaltungsbedarfes von etwa 360 kJ/d/kg<sup>0.75</sup>). - Fig. 10: Energetic value of conifer needles in % of the energy required for maintenance (approx. kJ/d/kg<sup>0.75</sup>).

und Verzehrsmengen nicht in jedem Fall exakt korrespondierten. Durch Regressionsanalysen wurde dieser Streuung Rechnung getragen. Die Unterschiede zwischen Hähnen und Hennen in Bezug auf die Verzehr- und Kotmengen glichen sich durch die Berechnung der prozentualen Umsetzbarkeit der Nahrung oder durch Berücksichtigung des metabolischen Körpergewichts aus, so daß die Umsatzwerte aller Individuen als ein Kollektiv behandelt werden konnten.

#### 4.2 Körpermasseabnahme der Versuchsvögel

Die Körpergewichtsentwicklung konnte nicht als Weiser für die Qualität der Nadelarten herangezogen werden, da alle Vögel bei ausschließlicher Nadelfütterung, unabhängig von der Baumart, rasch abnahmen. Dies bestätigt, daß in Gefangenschaft aufgewachsene Rauhfußhühner eine ungenügende Verdauungsleistung in Bezug auf Winternahrung haben, was mit reduzierten Organen, vor allem mit kürzeren Blinddärmen, erklärt werden kann (PENDERGAST & BOAG 1971, ZBINDEN 1980, MOSS 1983, LIUKKONEN-ANTTILA et al. 2000). Diesem Problem begegneten die in 4.1 genannten energetischen Studien ebenfalls durch Zugabe leicht verdaulichen Futters (z. B. Hafer, Pellets). Keine der von uns angebotenen Nadelarten war in der Lage, den Erhaltungsbedarf der Versuchsvögel zu decken (Abb. 10), was die in 3.2 beschriebene Körpermassenentwicklung erklärt.

Bei reiner Nadelfütterung mußten die Vögel Körperreserven für die Energieversorgung heranziehen. Dies erfolgte hauptsächlich durch Abbau von Eiweiß, was regelmäßig an der Reduktion des Brustmuskels festzustellen war. Folge war eine vermehrte Harnausscheidung, die die Energiebilanz verfälscht: Die Umsetzbarkeit der Nahrung wird niedriger, da die mit dem Verzehr verrechnete Exkrementmenge ansteigt. Solche Fehler sind in den dargestellten Umsatzwerten enthalten. Körpergewichtsabnahme machte sich allerdings meistens erst über eine Periode von mehreren Tagen deutlich bemerkbar, so daß bei tageweiser Auswertung der Verzehr- und Kotmengen dieser Fehler hier vernachlässigt wird. Auch war in diesen Phasen der Nadelverzehr meistens sehr hoch (Abb. 1), so daß sich ein höherer Harnanteil in den Exkrementen von wenigen Gramm bei der Berechnung der Umsetzbarkeit kaum auswirken dürfte. Aus Abb. 3 und dem Brennwert von Harnsäure (11,5 kJ/g) läßt sich abschätzen, daß Hähne täglich etwa 20 g und Hennen 10 g Harn abgaben, was nach Tab. 1 nur ein Viertel der mittleren Exkrementmenge ergibt.

Zudem ist nicht sicher, ob bei jedem Vogel jeden Tag das tatsächliche Körpermasseminimum gemessen wurde. Nach unseren Wiegedaten kann die Körpermasse eines Auerhahnes allein durch Kropffüllung und Kotabgabe um bis zu 200 g am Tag schwanken. ANDREEV & LINDÉN (1994) halten echte Körpermassenverluste von etwa 10 g pro Tag für akzeptabel bei energetischen Untersuchungen an Auerhühnern.

4.3 Umsetzbarkeit der Energie der Nadelnahrung

Das Problem der ungenügenden Verdauungsleistung unserer Versuchsvögel erschwert die Interpretation der Eignung der Baumarten als Auerhuhn-Winternahrung. Der Unterschied zu Wildvögeln kann am Beispiel der Waldkiefer beurteilt werden:

Nach 3.4 entspricht der Wert der Waldkiefer von 28,1% umgesetzter Energie einem Umsatz von 24,2% der Trockensubstanz. ANDREEV & LINDÉN (1994) schätzten die Umsetzbarkeit von Waldkiefernadeln bei wilden Auerhühnern im finnischen Winter auf 32% der Trockensubstanz. Die Leistung von Auerhühnern aus dem Raum St. Petersburg beträgt 35% (KLAUS et al. 1986). Unsere Versuchsvögel erbringen also nur etwa drei Viertel der Verdauungsleistung dieser Wildvögel. Aus Mitteleuropa liegen keine Vergleichsdaten aus dem Freiland vor, doch ist es wahrscheinlich, daß auch Wildvögel unserer Breiten eine bessere Nahrungsausnutzung erzielen. Unterstellt man lediglich ein höheres Niveau der Umsatzraten bei Wildvögeln, dann dürften auch bei diesen ähnliche Relationen zwischen den Baumarten bestehen.

Der **energetische Wert** des Futters hängt wesentlich von der täglich verzehrbaren Menge und diese wiederum von der Aufenthaltsdauer der Nahrung im Verdauungstrakt ab. Je leichter ein Futter verdaulich ist, desto rascher ist der Durchsatz (KARASOV 1990). Dieser Zusammenhang läßt sich im Prinzip für die 12 getesteten Baumarten bestätigen (Abb. 11). Für die Nadelarten, die in nennenswertem Umfang ohne Mais verfüttert wurden, sind die täglichen Verzehrsmengen in Tab. 6 dargestellt. Bei den beiden Kiefern und der Serbischen Fichte, die eine relativ hohe Umsetzbarkeit der Energie haben, wurden tendenziell höhere Verzehrsmengen registriert als bei Weißtanne und Lärche, was sich besonders bei den Maxima zeigt. Vor allem der Vergleich der Lärche mit den beiden Kiefernarten ist aufschlußreich, da die Vögel in den betreffenden Versuchen viele Tage lang reines Nadelfutter erhielten und somit gezwungen waren, ihren Verzehr auch tatsächlich zu steigern und dem wirklichen Maximum anzunähern.

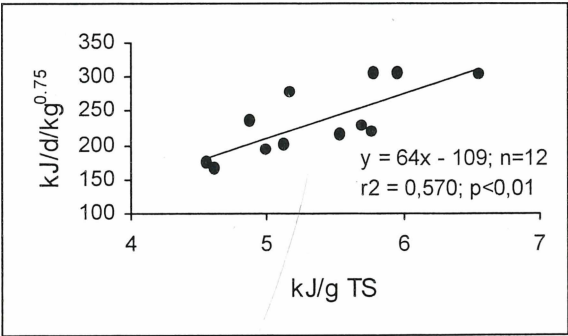


Abb. 11: Zusammenhang zwischen dem Gehalt an umsetzbarer Energie der Nadeln (x, Werte aus Abb. 8) und der täglich für Auerhühner umsetzbaren Energie (y, Konstanten aus Abb. 9) bei ad libitum-Fütterung (12 Baumarten). -

Fig. 11: Correlation between the content of metabolizable energy of needles (x, values from fig. 8) and the total energy

metabolized per day and bird (y, intercept values from fig. 9), when needle food was offered ad libitum (12 tree species).

Tab. 6: Nadelverzehrsmengen von Hähnen und Hennen an Tagen ohne Maisbeifütterung (in Gramm Trockensubstanz). *Amount of conifer needles (g dry matter) consumed by male and female capercaillies on days without supplemental maize.*

|        | Baumart       | Anzahl Fälle | Mittelwert | SD   | Max |
|--------|---------------|--------------|------------|------|-----|
| Hähne  | Europ. Lärche | 30           | 97         | 38,4 | 164 |
|        | Weißtanne     | 14           | 113        | 27,2 | 149 |
|        | Serb. Fichte  | 11           | 122        | 39,5 | 174 |
|        | Moorkiefer    | 34           | 162        | 40,6 | 257 |
|        | Waldkiefer    | 27           | 141        | 51,7 | 234 |
| Hennen | Europ. Lärche | 33           | 45         | 22,4 | 97  |
|        | Weißtanne     | 16           | 65         | 22,6 | 94  |
|        | Serb. Fichte  | 10           | 80         | 17,8 | 112 |
|        | Moorkiefer    | 34           | 66         | 27,5 | 118 |
|        | Waldkiefer    | 24           | 80         | 16,5 | 110 |

Die Waldkiefer, die in Abb. 8 (unten) nur an vierter Stelle liegt, schneidet beim energetischen Wert am besten ab (Abb. 10). Die Moorkiefer rückt vom siebten auf den vierten Platz vor und übertrifft die anderen einheimischen Arten deutlich. Serbische Fichte und Douglasie erreichen ähnliche Werte wie die Waldkiefer. Relativ schlechte Werte haben Europäische Lärche und Fichte.

Als Faktor, der den energetischen Wert der Nadelarten beeinflusst, kommt deren stoffliche Zusammensetzung in Frage, ist doch die von Pflanzennahrung insbesondere mit dem Fasergehalt negativ korreliert (z. B. ZBINDEN 1980). In der vorliegenden Arbeit ergaben sich allerdings für keine der analysierten Stoffgruppen (Tab. 2) gesicherte Zusammenhänge mit dem energetischen Werten aus Abb. 9 (Regressionsanalysen, jeweils  $p > 0,05$ ). Möglicherweise war die Mischprobe aus allen Versuchen nicht geeignet, die Zusammensetzung des jeweils verzehrten Futters an einzelnen Tagen oder in einzelnen Versuchsreihen wiederzugeben. Für die Fragestellung dieser Arbeit ist eine Begründung für die gefundenen Unterschiede zwischen den Baumarten auch nicht notwendig.

Der energetische Wert ist als Grund für die erwähnte Vorliebe unserer Versuchsvögel für die Moorkiefer (SCHROTH et al. in Vorber.) unwahrscheinlich. Bei reiner Nadelfütterung übertraf der Wert dieser Baumart mit 77,3% des Erhaltungsbedarfes zwar deutlich Weißtanne und Fichte, lag aber 8 Prozentpunkte niedriger als der der Waldkiefer (Abb. 10). Als Erklärung für die Präferenz könnte der Geschmack in Frage kommen. ELLISON (1976) hat außerdem für das Fichtenhuhn gezeigt, daß auch die physikalische Beschaffenheit der Nadeln ein Selektionsfaktor sein kann.

#### 4.4 Ökologische Beurteilung der Ergebnisse

Die ungenügende Verdauungsleistung unserer Versuchsvögel zeigt, daß die **Aussetzung gezüchteter Auerhühner** im Herbst und Winter des ersten Lebensjahres, wie zumeist bei Wiedereinbürgerungsaktionen praktiziert, äußerst problematisch ist. Die Tiere schaffen die abrupte Umstellung von leicht verdaulichen Futter auf Nadeln nicht, verhungern oder fallen in geschwächtem Zustand sehr schnell Beutegreifern zum Opfer (vgl. auch LIUKKONEN-ANTTILA et al. 2000). Für solche Projekte ist eine längere Vorbereitung auf Naturnahrung und eine Gewichtskontrolle vor der Freilassung notwendig.

Auch im Zusammenhang mit der Erhaltung von Wildpopulationen muß die energetische Qualität der Winternahrung als Engpaß diskutiert werden. Zunächst kann festgehalten werden, daß **eingebürgerte Baumarten** grundsätzlich nicht als Winternahrung für Auerhühner ausscheiden. Serbische Fichte und Douglasie erreichen sogar einen ähnlichen energetischen Wert wie die Waldkiefer (Abb. 10). Die fünf übrigen getesteten Exoten liegen im Wertebereich von Fichte, Europäischer Lärche und Weißtanne. SJÖBERG & LINDÉN (1991) stellten in Skandinavien für die aus Nordamerika stammende Drehkiefer ebenfalls die Eignung als Auerhuhn-Winternahrung fest. Der Anteil der Sitkafichte am Kropfinhalt schottischer Auerhühner nahm im Lauf der Zeit offensichtlich zu (MOSS & PICOZZI 1994), was auf eine Gewöhnung der Vögel an neue Baumarten hindeutet. Andererseits wurde die Sitkafichten-Fläche in Schottland stark zu Lasten der Waldkiefer ausgedehnt, so daß die Auerhühner möglicherweise gezwungen sind, auf Sitkafichten auszuweichen, die energetisch deutlich schlechter einzustufen sind als Waldkiefern (Abb. 10). Schottland hat 99% seiner ursprünglichen Kiefernwälder verloren (HANCOCK 2003).

Ähnlich kritisch muß in vielen mitteleuropäischen Auerhuhngebieten der **Anstieg des Fichtenanteils** gesehen werden, da die Fichte nur 58% des energetischen Wertes der Waldkiefer erreicht. Für den Schwarzwald sind die Flächen dieser beiden Baumarten in Abb. 12 dargestellt (nur Altersklassenwald). Die großen Fichtenflächen in den jüngeren Altersklassen bedeuten, daß die für Auerhühner besonders interessanten Altbestände in den nächsten Jahrzehnten sehr stark von der Fichte dominiert sein werden. Gleichzeitig droht die Waldkiefer langfristig zu verschwinden, da ihre Fläche zu den jüngsten Altersklassen hin kontinuierlich abnimmt. Der **Verlust der Waldkiefer** bedeutet gleichzeitig einen Rückgang geeigneter Sommerhabitate für Auerhühner, da diese Lichtbaumart in der Regel auch die notwendige Bodenvegetation ermöglicht (SCHROTH 1994, LIESER & ROTH 2001). Der Gesamtwert der Kiefer für das Auerhuhn kann auch nicht von der energetisch günstigen Douglasie erreicht werden, da diese Baumart zumeist in dunklen, einschichtigen Beständen erzogen wird.

Sind Auerhühner gezwungen, sich im Winter viele Wochen lang von energetisch ungünstigen Nadelbäumen wie Fichte oder Sitkafichte zu ernähren, so ist ein übermäßiger Abbau von Körperreserven zu erwarten, zumindest in strengen Winterabschnitten und in Streßsituationen (z. B. bei menschlichen Störungen). In solchen

Fällen ist zu erwarten, daß die Vögel in schlechter Kondition in die Balz- und Legezeit kommen, was die Reproduktion beeinträchtigt. Ein langfristig schädigender Effekt auf die Populationen ist hiedurch nicht auszuschließen.

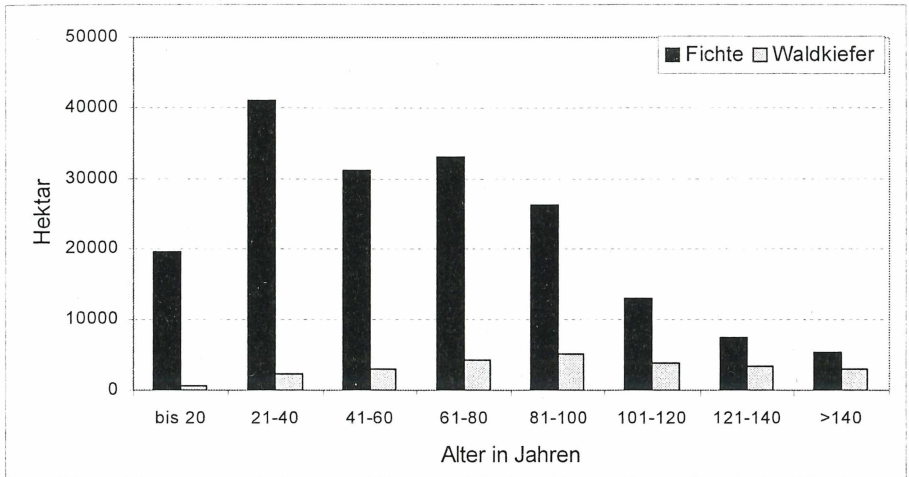


Abb. 12: Flächen, die die Baumarten Fichte (177.000 ha) und Waldkiefer (16.000 ha) im Altersklassenwald des Wuchsgebietes Schwarzwald (ca. 349.000 ha) einnehmen (Stand ca. 1990, FVA Baden-Württ. 1993). - Fig. 12: Areas covered by Norway spruce *Picea abies* (177.000 ha) and Scots pine *Pinus sylvestris* (16.000 ha) in even-aged managed forests of the Black Forest (ca. 349.000 ha) in 1990 (FVA Baden-Württ. 1993).

Die **regional unterschiedliche Gewichtung der Baumarten** im Nahrungsspektrum von Auerhühnern (siehe 1.) kann nach der vorliegenden Arbeit nicht durch die energetische Verwertbarkeit erklärt werden. Die Baumartenzusammensetzung der betreffenden Wälder, d. h. das Nahrungsangebot, und methodische Schwächen (Diskussion z. B. bei LIESER 1996) beeinflussen wahrscheinlich stark die Ergebnisse der zitierten Arbeiten, so daß keine echten Präferenzen der Vögel zum Ausdruck kommen. Aus der im Experiment festgestellten Vorliebe für die Moorkiefer darf man nicht ableiten, daß diese Baumart essentiell für Auerhühner im Schwarzwald ist. Diese Kiefer kam dort von jeher nur punktuell auf Moorstandorten in den Hochlagen vor (SCHMID & BOGENRIEDER 1998). Das Auerhuhn war dagegen über lange Zeiträume flächenhaft und auch in tieferen Lagen verbreitet (LIESER & ROTH 2001), wo es keinen Zugang zu Moorkiefern hatte.

## 5. Zusammenfassung

Auerhühner nutzen in verschiedenen Regionen Mitteleuropas unterschiedliche Nadelbaumarten als Hauptnahrungsquelle im Winter. In zwei Jahren (jeweils Oktober bis März) wurde an gezüchteten Auerhühnern die energetische Verwertbarkeit von Koniferennadeln als möglicher Grund für eine Selektion untersucht. Getestet wurden 12 Baumarten (5 einheimische, 7 exotische) an insgesamt 28 Individuen (je 14 Hähne und Hennen). Aus dem täglichen Verzehr und den entsprechenden Exkrementen wurde die umsetzbare Energie als Weiser für die Qualität der Nadeln ermittelt.

Die Nadeln aller Baumarten, auch der exotischen, wurden von den Auerhühnern gefressen. Bei reiner Nadelfütterung zeigten alle Vögel, unabhängig von der Baumart, eine rasche Körpergewichtsabnahme, die durch eine geringe Maiszufütterung verhindert werden konnte. Dies zeigt eine unzureichende Verdauungsleistung der verwendeten Zuchtvögel, die im Fall der Fütterung von Waldkiefer nur drei Viertel der Leistung von Wildvögeln erreicht.

Mit zunehmendem Maisanteil am Verzehr stieg die umsetzbare Energie der Nahrung linear an, da Mais überwiegend aus leicht verdaulicher Stärke besteht. Die Nadelqualität mußte daher in Abhängigkeit vom Maisanteil beurteilt werden. Der Gehalt an umsetzbarer Energie der Nadeln lag zwischen 21,5 und 31,6% der Bruttoenergie bzw. zwischen 4,55 und 6,56 kJ/g TS. Bezieht man die täglich umsetzbare Energie bei ad libitum-Fütterung auf den Erhaltungsbedarf eines Auerhuhns von 360 kJ/d/kg<sup>0,75</sup>, dann ergibt sich folgende Reihung der Baumarten: Waldkiefer (85,3% des Erhaltungsbedarfes), Serbische Fichte (84,8%), Douglasie (84,2%), Moorkiefer (77,3%), Weißtanne (66,2%), Schwarzkiefer (63,7%), Zirbelkiefer (60,6%), Sitkafichte (60,1%), Europäische Lärche (55,9%), Coloradotanne (53,4%), Fichte (49,2%), Edeltanne (46,4%). Von den einheimischen Baumarten ist damit die Waldkiefer die energetisch günstigste für Auerhühner und vor allem der Fichte deutlich überlegen. Der Wandel der Anteile dieser Baumarten im Schwarzwald wird als Rückgangsfaktor für die dortige Auerhuhnpopulation diskutiert. Die im Rahmen unseres Projektes festgestellte Präferenz für die Moorkiefer hat vermutlich andere Ursachen als den energetischen Wert der Nadeln. Dies gilt auch für die regional unterschiedliche Wahl der Winternahrung durch freilebende Auerhühner. Einige eingebürgerte Baumarten wie die Douglasie sind aus energetischer Sicht als Auerhuhnnahrung durchaus geeignet.

## 6. Literatur

- AECKERLEIN, W. (1986): Die Ernährung des Vogels. Ulmer, Stuttgart, 130 S. – ALMAŞAN, H.A. (1970): Beitrag zur Kenntnis der Nahrung des Auerhahns (*Tetrao urogallus* L.) während der Balzzeit. Z. Jagdwiss. 16: 7-13. – ANDREEV, A.V. (1988): Ecological energetics of palaeartic tetraonidae in relation to chemical composition and digestibility of their winter diets. Can. J.

- Zool. 66: 1382-1388. – ANDREEV, A.V. & H. LINDÉN (1994): Winter energetics of the capercaillie a methodological approach. *Ornis Fennica* 71: 33-42.
- BERDUCOU, C. (2003): Un arbre, un oiseau - *Pinus uncinata* et grand tétras. *Arborescences* 96: 28. – BEZZEL, E. & R. PRINZINGER (1990): Ornithologie. Ulmer, Stuttgart, 2. Aufl., 552 S. – BOTEV, N., I. KOLEV & N. NINOV (1993): Basic morphologic signs, feeding and reproduction of the capercaillie *Tetrao urogallus* L. in Bulgaria. *Trans. IUGB-Congr.* 21, Halifax: 144-147. – BRÉZARD, J.-M. (1980): Le grand tétras *Tetrao urogallus* L. dans la réserve domaniale de chasse du Mont Valier. Office National des Forêts, Saint-Girons (unveröff. Bericht).
- ELLISON, L.N. (1976): Winter food selection by Alaskan spruce grouse. *J. Wildl. Manage.* 40: 205-213.
- Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Hrsg. (1993): Der Wald in Baden-Württemberg im Spiegel der Bundeswaldinventur 1986-1990. Freiburg.
- GASAWAY, W.C., R.G. WHITE & D.F. HOLLEMAN (1976): Digestion of dry matter and absorption of water in the intestine and cecum of rock ptarmigan. *Condor* 78: 77-84. – GEHRINGER, F. (1978): Etude sur le régime alimentaire hivernal et les fluctuations d'une population de grand tétras dans le Jura. Bibliothèques et Musées, Neuchâtel: 105-117. – GOERING, H. K. & P.J. VAN SOEST (1970): Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *US Dep. Agriculture Handbook* 37. – GREMMELS, H. (1986): Das Verdauungssystem der Rauhfußhühner - eine Übersicht zur Physiologie und Mikroanatomie dieses Organsystems. *Z. Jagdwiss.* 32: 96-104.
- HANCOCK, M. (2003): Experimental burning, cutting and cattle grazing in a Scottish native pinewood important for western capercaillie *Tetrao urogallus*. *Grouse News* 26: 9-10. – HEINEMANN, U. (1989): Zur Winternahrung des Auerhuhns (*Tetrao urogallus* L.) im Harz. *Z. Jagdwiss.* 35: 35-40.
- KARASOV, W. H. (1990): Digestion in birds: chemical and physiological determinants and ecological implications. *Studies in Avian Biology* 13: 391-415. – KIRCHGESSNER, M. (1996): Tierernährung. DLG Verlag, Frankfurt a. M., 9. Aufl., 533 S. – KLAUS, S., A.V. ANDREEV, H.H. BERGMANN, F. MÜLLER, J. PORKERT & J. WIESNER (1986): Die Auerhühner, *Tetrao urogallus* und *Tetrao urogalloides*. A. Ziemsen Verlag, Neue Brehm Bücherei 86, Wittenberg Lutherstadt, 276 S. – KOLB, A. (1998): Auerhühner im mittleren Schwarzwald. *Der Schwarzwald* 1/98: 3-5. – KULZER, M. (2002): Das Nahrungsspektrum von Auerwild (*Tetrao urogallus* L.) im Winter. Untersuchungen im Schwarzwald anhand von Kotanalysen mit Hilfe der Gefriermikrotomie. Diplomarb. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg i. Br., 118 S.
- LECLERCQ, B. (1987): L'alimentation hivernale et printanière du Grand Tétrás (*Tetrao urogallus*). *Bull. Mens. Off. Nat. Chasse* 112: 19-26. – LIESER, M. (1996): Zur Nahrungswahl des Auerhuhns (*Tetrao urogallus*) im Schwarzwald. *Ornithol. Beob.* 93: 47-58. – LIESER, M. & K. ROTH (2001): Auerhuhn (*Tetrao urogallus*, Linnaeus, 1758). In: HÖLZINGER, J. & M. BOSCHERT (Hrsg.): Die Vögel Baden Württembergs. Bd. 2.2, Ulmer, Stuttgart: 54-77. – LINDÉN, H. (1984a): Annual patterns in the ecological energetics of the capercaillie *Tetrao urogallus* in captivity. *Finn. Game Res.* 42: 19-27. – LINDÉN, H. (1984b): The role of energy and resin contents in the selective feeding of pine needles by the capercaillie. *Ann. Zool. Fennici* 21: 435-439. – LINDÉN, H. (1988): The paradoxically low energy requirements of capercaillie in winter. *Proc. XIX Congr. Int. Orn.*, Ottawa: 2490-2499. – LIUKKONEN ANTTILA, T., R. SAARTOALA & R. HISSA (2000): Impact of hand rearing on morphology and physiology of the capercaillie (*Tetrao urogallus*). *Comp. Biochem. Physiol.* 125: 211-221.

- MOSS, R. (1983): Gut size, body weight, and digestion of winter foods by grouse and ptarmigan. *Condor* 85: 185-193. – MOSS, R. & N. PICOZZI (1994): Management of forests for capercaillie in Scotland. *Forestry Commission Bulletin* 113, London, 29 S.
- PAULI, H. R. (1978): Zur Bedeutung von Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit der wichtigsten Nahrungspflanzen des Birkhuhns *Tetrao tetrix* in den Schweizer Alpen. *Ornithol. Beob.* 75: 57-84. – PENDERGAST, B.A. & D.A. BOAG (1970): Seasonal changes in the diet of spruce grouse in central Alberta. *J. Wildl. Manage.* 34: 605-611. – PENDERGAST, B.A. & D.A. BOAG (1971): Nutritional aspects of the diet of spruce grouse in central Alberta. *Condor* 73: 437-443. – PENDERGAST, B.A. & D.A. BOAG (1973): Seasonal changes in the internal anatomy of spruce grouse in Alberta. *Auk* 90: 307-317. – PULLIAINEN, E. (1970): Composition and selection of winter food by the capercaillie (*Tetrao urogallus*) in northeastern Finnish Lapland. *Suomen Riista* 22: 67-73.
- RINTAMÄKI, H., L. KARPLUND, H. LINDÉN & R. HISSA (1984): Sexual differences in temperature regulation and energetics in the capercaillie *Tetrao urogallus*. *Ornis Fennica* 61: 69-74. – RODRIGUEZ, E. & J.R. OBESO (2000): Diet of the Cantabrian capercaillie: geographic variation and energetic content. *Ardeola* 47: 77-83.
- SANIGA, M. (2002): Seasonal variation in the diet of capercaillie *Tetrao urogallus* in the West Carpathian Mountains. *Die Vogelwelt* 123: 25-32. – SCHEUNERT, A. & A. TRAUTMANN (1976): *Lehrbuch der Veterinär-Physiologie*. Paul Parey, Hamburg, Berlin, 6. Aufl., 988 S. – SCHMID, J. & A. BOGENRIEDER, A. (1998): Spirken-Moorwälder im Schwarzwald. Das Steerenmoos bei Faulenfürst (Gemeinde Schluchsee). Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz, N. F. 17/1: 29-58. – SCHROTH, K.-E. (1994): Zum Lebensraum des Auerhuhns (*Tetrao urogallus* L.) im Nordschwarzwald. Mitt. FVA Baden Württ. 178: 1-133. – SCHROTH, K.-E., M. LIESER & P. BERTHOLD (in Vorber.): Zur Winternahrungswahl des Auerhuhns (*Tetrao urogallus*) - Versuche zur Bevorzugung von Koniferenarten in Gefangenschaft. – SJÖBERG, K. & H. LINDÉN (1991): Needles of *Pinus sylvestris* and *P. contorta* as food for captive capercaillies (*Tetrao urogallus*): preference tests and analyses of needle chemistry. *Scand. J. For. Res.* 6: 137-143. – STORCH, I., C. SCHWARZMÜLLER & D. VON DEN STEMMEN (1991): The diet of capercaillie in the Alps: a comparison of hens and cocks. *Trans. IUGB Congress* 20, Gödöllő: 630-635.
- TÖPFER, T. (2003): Energetische Verwertbarkeit von Nadeln eingebürgerter Koniferenarten als Winternahrung des Auerhuhns (*Tetrao urogallus*). Diplomarb. TU Dresden, 40 S.
- WILHELM, G.J. (1982): Ergebnisse von Lösungsuntersuchungen an einer Auerwildpopulation in den Vogesen. *Z. Jagdwiss.* 28: 162-169.
- ZBINDEN, N. (1980): Zur Verdaulichkeit und umsetzbaren Energie von Tetraoniden-Winternahrung und zum Erhaltungsbedarf des Birkhuhns (*Tetrao tetrix*) in Gefangenschaft mit Hinweisen auf Verdauungsversuche. *Die Vogelwelt* 101: 1-18. – ZWICKEL, F.C. (1966): Winter food habits of capercaillie in north east Scotland. *Brit. Birds* 59: 325-336.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Ökologie der Vögel. Verhalten Konstitution Umwelt](#)

Jahr/Year: 2006-2010

Band/Volume: [28](#)

Autor(en)/Author(s): Lieser Manfred, Töpfer Till, Schroth Karl-Eugen,  
Berthold Peter

Artikel/Article: [Energetische Beurteilung von Koniferennadeln als  
Winternahrung von Auerhühnern Tetrao urogallus 1-29](#)