

ZUR SOLIFLUKTIONSGRENZE IN DEN GEBIRGEN JAPANS

LUDWIG ELLENBERG

Mit 3 Abbildungen und 2 Photos

Summary: Concerning the solifluction boundary in the mountains of Japan.

Japan may be divided into four periglacial morphological regions (fig. 2). Region 1 is an area of cool winters and heavy snowfall where periglacial forms seldom appear and then hardly ever below the timber-line. Region 2, in central Hokkaido, has a cold winter climate. In most parts the terrain is gently sloped and strongly influenced by periglacial processes. Region 3 is distinguished by a cool winter climate and little snowfall. Here, periglacial forms are not widely spread, but they reach far below the timber-line, e. g. in central Honshu by approx. 800 metres and in north-east Hokkaido by approx. 1200 metres. In region 4, an area with a mild winter climate, periglacial forms are of little importance.

In Japan the appearance of periglacial forms at a relatively low altitude and below the timber-line is related to the marked seasonal differences of temperature. At a level where woods can thrive in warm and humid summers, periglacial forms (especially sorted steps, -rings, -nets and stripes) may appear in relatively cold winters, provided that the soil is not protected by dense plant or snow cover. Therefore the lower boundary of the periglacial stage in Japan is more difficult to define than in European mountain ranges; it also has a different qualitative significance.

The knowledge gained as a result of investigations in Japan is compared with that of conditions in the north-eastern Appalachians, where the climate is very similar to that of Japan in region 3. Here, too, periglacial forms appear regularly within the upper woods.

As a preliminary hypothesis it is assumed that within the perenially humid, temperate and subtropical climate zones one may generally differentiate between the following regions (fig. 3):

1. Mountain ranges with a difference of less than 15 °C between the average temperature of the warmest and coldest months (temperature amplitude) and a lower boundary of the periglacial stage above the timber-line.

2. Mountain ranges with a temperature amplitude between 15 ° and 22 °C and a lower boundary of the periglacial stage at the altitude of the timber-line.

3. Mountain ranges with a temperature amplitude above 22 °C and a lower boundary of the periglacial stage below the timber-line, i. e. with periglacial forms appearing regularly within the upper woods. So far mountain ranges of region 3 have been studied the least.

Das Klima in den Gebirgen der gemäßigten humiden Beiten ist großenteils humid, hinsichtlich der thermischen Verhältnisse jedoch sehr unterschiedlich, nämlich:

1. ausgeprägt ozeanisch mit ausgeglichenem Jahresgang der Temperatur; die Differenz der Mitteltemperaturen der wärmsten und kältesten Monate (Temperatur-Amplitude) ist kleiner als 15 °C.

2. abgeschwächt ozeanisch mit einer Temperatur-Amplitude zwischen 15 ° und 22 °C.

3. thermisch kontinental mit Unterschieden der sommerlichen und winterlichen Temperatur, die 22 °C übersteigen. Solche Bedingungen sind nicht nur im Innern der Kontinente, sondern auch an ihrer Ostseite gegeben.

Die Unterschiede im thermischen Jahresgang (Abb. 1) wirken sich auf die Art und Höhenlage der Solifluktionsgrenze¹⁾ aus und gestatten eine verschiedene Gliederung der morphologischen Höhenstufe, die durch solifluidale Prozesse bestimmt oder zumindest mitgestaltet wird.

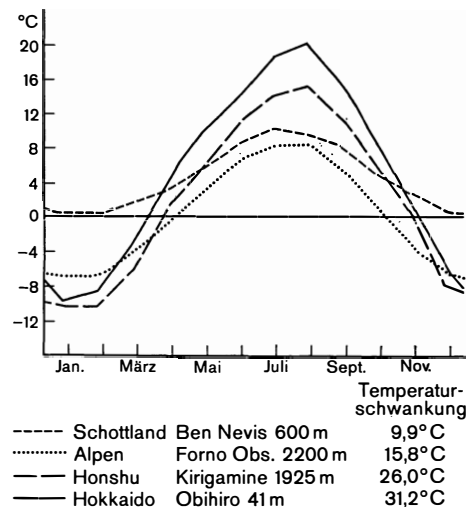


Abb. 1: Jahresgang der Temperatur in Schottland, den Alpen und Japan

Temperature régime in Scotland, the Alps and Japan

In Schottland (als Beispiel für den 1. Fall) verläuft die auf etwa 50–100 Höhenmeter erkennbare Solifluktionsgrenze im Mittel 150 bis 300 m über der klimatischen Waldgrenze. Solifluktionserscheinungen innerhalb der Waldstufe gehören hier zu den großen Ausnahmen. Im Bereich der 300 bis 600 m. ü. M. gelegenen Waldgrenze ist keine Solifluktionsflecken-Region

¹⁾ Nach H. POSER (1954, S. 173) ist die Solifluktionsgrenze durch das unterste geschlossene Vorkommen der Solifluktionserscheinungen bestimmt; nach P. HÖLLERMANN (1964, S. 111) liegt sie dort, wo eindeutige Formen der Hangsolifluktion auf allen dafür geeigneten Böschungen zuerst regelhaft auftreten. Zum Begriff Solifluktionsgrenze, bzw. Strukturbodengrenze siehe auch C. TROLL (1944), W. KLAER (1962), S. HASTENRATH (1960), K. KAISER (1965), C. RATHJENS (1965), K. GRAF (1973) u. a.

ausgebildet. Die Untergrenzen von Solifluktionsercheinungen und Strukturböden können nahe zusammenrücken oder sogar zusammenfallen (D. KELLETAT 1970).

Für die europäischen Alpen (2.) läßt sich die modellartige Gliederung von P. HÖLLERMANN (1967, p. 174/175) heranziehen: Im Bereich der obersten Waldstufe und etwas über sie hinaus reichend treten Solifluktionsercheinungen fleckenweise und nur bei überdurchschnittlicher Begünstigung auf. Die solifluidale Bodenversetzung ist hier eine Ausnahme. Oberhalb der eigentlichen Solifluktionsgrenze, die meist im Bereich der Waldgrenze anzusetzen ist oder wenig über ihr liegt, beginnt eine Höhenstufe, in der Formen der gebundenen und gehemmten Solifluktion vorherrschen. In noch höherer Lage, im Bereich der sich auflösenden Vegetationsdecke, treten diese Formen zwar noch auf, doch zu ihnen gesellen sich auch Formen der ungebundenen Solifluktion mit Strukturböden, die oberhalb der Rasenobergrenze dominieren. In größter Höhenlage treten Solifluktionsformen nur noch spärlich auf, weil die Steilheit des Reliefs und der Mangel an Feinerde sowie perennierender Schnee oder Eis eine derartige Formbildung hemmen.

Für Gebirge im humiden, aber nicht kontinentalen Bereich der gemäßigten Zone scheinen die für Schottland und die Alpen genannten Verhältnisse allgemein gültig zu sein (siehe z. B. zitierte Lit. bei K. GRAF 1973).

Der Habitus der Periglazialstufe in Gebirgen mit ausgeprägt kontinentalem Jahresgang der Temperatur wurde bisher selten beschrieben und soll hier am Beispiel von Japan²⁾ dargestellt werden.

I. Periglazialmorphologische Gliederung Japans

Die periglazialmorphologischen Verhältnisse sind in den japanischen Gebirgen nicht einheitlich. Ihre regionalen Verschiedenheiten (Abb. 2) sind klimabedingt und werden durch das Relief modifiziert.

1. In West-Hokkaido sowie im nördlichen und zentralen Teil von Ura-Nippon sind die Sommer feucht und warm (Hokkaido) bzw. heiß (Ura-Nippon) und die Winter sehr schneereich und relativ kalt (Hokkaido, Januar im Tiefland -8° bis -2° °C), bzw. kühl (Ura-Nippon, Januar im Tiefland -2° bis 2° °C). Beobachtungen an den Bergen Rishiri, Yôtei San, Chôkai San, Shirouma Dake und Haku San (L. ELLENBERG 1976c) lassen folgende Gemeinsamkeiten erkennen:

²⁾ Japanische Autoren, besonders K. KOBAYASHI und T. KOAZE befaßten sich bei ihren periglazialmorphologischen Untersuchungen vorwiegend mit den Einzelformen und ihrer Entstehung, weniger mit der Höhenlage der Solifluktionsgrenze. Wenn sie diese überhaupt erwähnen, setzen sie sie meist mit der klimatischen Waldgrenze in Analogie zu Ergebnissen europäischer Arbeiten gleich.

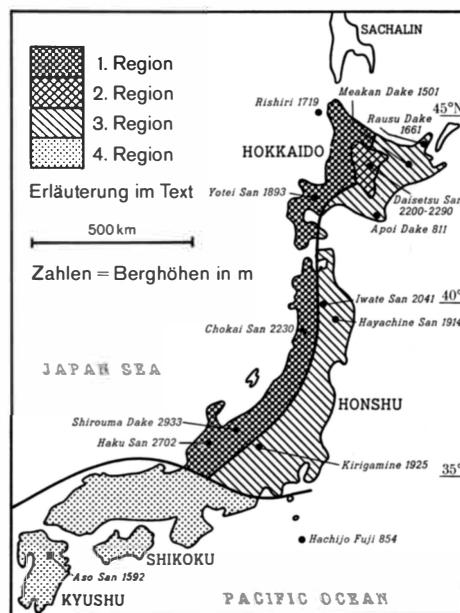


Abb. 2: Periglazialmorphologische Gliederung Japans
Peri-glacial morphological division of Japan

Periglazialformen treten – vom Schnee unterdrückt – spärlich auf und zwar fast niemals unterhalb der klimatischen Waldgrenze. Oberhalb derselben sind Periglazialformen (meist Terrassetten und Bülden) auf windexponierte und/oder früh ausapernde Standorte beschränkt.

2. In Zentral-Hokkaido sind die Sommer feucht und warm und die Winter schneereich und sehr kalt (Januar im Tiefland ca. -10° °C). Beobachtungen im Gebiet des Daisetsu San (T. KOAZE 1958, 1965; L. ELLENBERG 1976 b, u. a.) zeigen generell:

Periglazialformen sind weit verbreitet und treten häufig auf. Die Untergrenze von Periglazialprozessen fällt nicht mit der klimatischen Waldgrenze zusammen, sondern liegt tiefer. Strukturböden, Terrassetten und Bülden liegen, je nach Schneebedingungen, Vegetation, Substrat und Relief oft dicht nebeneinander in gleicher Meereshöhe.

3. In Ost-Hokkaido sowie im nördlichen und zentralen Teil von Omote-Nippon sind die Sommer wie in der erstgenannten Region feucht und warm (Hokkaido) oder heiß (Omote-Nippon), die Winter jedoch relativ schneereich und kalt (Hokkaido, Januar im Tiefland -10° °C bis -4° °C), bzw. kühl (Omote-Nippon, Januar im Tiefland -4° bis 4° °C). Beobachtungen an den Bergen Rausu Dake, Meakan Dake, Apoi Dake, Iwate San, Hayachine San, Kirigamine, die in Abschnitt II aufgeführt werden, zeigen folgende Übereinstimmung:

Periglazialformen treten nicht häufig auf, sind aber weiter verbreitet als in der 1. Region. Die Formung vollzieht sich regelhaft auch weit unterhalb der Waldgrenze, sofern die Pflanzendecke nicht zu dicht ausgebildet ist. Strukturböden und andere Solifunktionsformen sind in ihrer Ausprägung und Häufigkeit wie in der 2. Region nicht nach der Höhenlage gestuft. Die für die Alpen gültige innere Gliederung der Periglazialstufe läßt sich hier nicht beobachten.

4. Im westlichen Teil von Ura- und Omote-Nippon sowie in Shikoku und Kyushu sind die Sommer feucht und heiß und die Winter unterschiedlich feucht, aber überall schneearm und mild (Januar im Tiefland -2°C bis 10°C). Erwartungsgemäß zeigten Beobachtungen auf Hachijōjima und am Aso San folgende Tatsachen:

Im allgemeinen treten Periglazialformen wegen mangelnder Winterkälte nicht auf. Ansätze von Periglazialprozessen wirken auf windexponierten Grat- und Gipfellagen.

Bei dieser Gliederung Japans in vier periglazialmorphologische Regionen wurde die Bedeutung des Kammeises (jap. shimobashira) nicht berücksichtigt. Morphogenetisch wichtige Prozesse werden in winterlich milden bis kühlen und schneearmen Klima durch Kammeis induziert, also im südlichen Teil der 3. und in großen Teilen der 4. Region (Y. DAIGO 1947, M. SCHWIND 1967, L. ELLENBERG 1974 a).

II. Beobachtungen an Bergen im winterlich schneearmen, kühlen bis kalten Bereich Japans (3. Region)

Der Rausu Dake (Lokalisation der Berge in Abb. 2) ist ein 1661 m hoher Vulkan, an dem bis 1200 m ü. M. dichte Mischwälder mit Zwergbambus (*Sasa*) als Unterwuchs vorherrschen. Darüber werden die Hänge mehr und mehr von Latschen (*Pinus pumila*) eingenommen. Über 600 m Höhe sind an den Bäumen an der S-Seite des Berges, die während des Winters im Windschatten liegt, Verformungen durch Schneedruck erkennbar. Bei 900 m treten an der S-Seite auf einer Verflachung vulkanische Dämpfe aus; schwefelhaltiges Wasser hat hier die Vegetation bis auf wenige Reste zerstört. Im andesitischen Schutt finden sich 15–25 cm weite Steinpolygone, nicht tiefer als 5 cm sortiert und nur dann deutlich sichtbar, wenn die Innenfläche feucht ist. Die Komponenten der Schuttumrandungen haben maximale Längen von 3–6 cm. Bei leichter Neigung des Geländes können streifenartige Sortierungen entstehen. Die beschriebene Fläche war bei der Beobachtung seit einem Monat schneefrei. In größerer Meereshöhe, wo Periglazialformen wenig überraschen, kommen sie überall dort vor, wo *Pinus pumila* wegen heftiger sommerlicher S-Winde fehlt und der Schutt nicht ausschließlich grobe Fraktionen aufweist. Noch unterhalb der Gehölgrenze hat sich

unter diesen Bedingungen eine 4 ha große Hangpartie mit Terrassetten gebildet.

Kawayu Onzen ist ein niedriges Hügelland zwischen Rausu Dake und Meakan Dake mit sehr lückenhafter Pflanzendecke, das nur 170 m ü. M. liegt. Heiße Quellen (Onzen) treten an mehreren Stellen zutage und Fumarolentätigkeit ist häufig. Im engsten Umkreis dieser heißen und giftigen Exhalationen können keine Pflanzen gedeihen. Etwas abseits wächst fleckenweise *Pinus pumila* auf den Schuttflächen. Krähenbeere (*Empetrum*) und Sumpfporst (*Ledum palustre*) ergänzen die Bestände und vermitteln den Eindruck einer bodensauren Zwergstrauchheide. Erst außerhalb des vulkanischen Einflusses gesellen sich Birken dazu und schließlich Fichten mit Farnen als Unterwuchs. Die den Fumarolen am nächsten gelegenen Latschengebüsche sind durch 1–5 m breite, unbewachsene Schuttflächen getrennt (Komponenten meist zwischen 2 und 5 cm, Feinmaterial fast fehlend). In diesen kann man polygonale und ringförmige Sortierungen mit Durchmessern von etwa 20 cm finden. Anscheinend handelt es sich hauptsächlich um Horizontalverschiebungen, die von Initialzentren ausgehen. Die Sortierungsformen liegen auf einem sanft abgedachten Schuttfächer. Wirkung fließenden Wassers ist vielerorts festzustellen, und eine von Zeit zu Zeit erfolgende Umlagerung der obersten Schuttpartien scheint eine bessere Ausprägung der Sortierungen zu verhindern.

In der oberen Waldstufe des Meakan Dake wachsen Latschen, Birken, Haseln, Kiefern und Eiben. Die scharf ausgeprägte Waldgrenze ist nicht klimabedingt, sondern wurde durch vulkanische Einflüsse und Ungunst des Substrats herabgedrückt und liegt bei nur 1000 m ü. M. Unmittelbar über ihr setzen Periglazialformen ein. Bremsblöcke (P. HÖLLERMANN 1964, p. 77) liegen an den fast vegetationsfreien Schutthängen verstreut. Ihre Durchmesser betragen 40–80 cm; Stau-Schuttwälle an ihrem oberen Ende sind weniger gut ausgebildet als freie Flächen unterhalb, die kein grobes Material zeigen und bis zu 2 m lang sind. Die Hindernisse werden von den groben Schutt Komponenten umflossen. An vielen nicht zu steilen Hangpartien (bis zu 25° Neigung) breiten sich Felder von Steinstreifen aus. Sie sind in etwa 1230 m ü. M. am deutlichsten ausgeprägt. Nirgends sind die Streifen angewölbt; nur andeutungsweise erhebt sich der kantige GrobSchutt stellenweise höher als das Feinmaterial. Der Streifenabstand beträgt maximal 12 cm (Photo 1). Feine Partikel mit weniger als 5 mm im Durchmesser können mit den Händen abgehoben werden und sind ungefähr 3 cm tief in die GrobSchuttunterlage eingebettet. Außerhalb der Feinmaterialanreicherung erreichen die Komponenten 8 cm Durchmesser. An der W-Seite des Berges fehlen Sortierungen in Form von Steinstreifen, hingegen finden sich an einigen Stellen zwischen großen Andesitblöcken unregelmäßige Treppböden, am deutlichsten bei 1380 m. Würde man das



Photo 1: Steinstreifen am Meakan Dake auf 1230 m ü. M. Pflanzendecke durch vulkanischen Einfluß zerstört
Sorted stripes on Meakan Dake (1230 m ab. s. l.). Vegetation cover devastated by vulcanism

Gefälle des Hanges ausgleichen, wäre er 42° steil. Unter dem groben Material auf den einzelnen Horizontalfächchen steht ab 2–5 cm Tiefe nur noch feines Material an; das grobe ist an den Vegetationskanten der Stufenstirnen angereichert. Auch unterhalb der Waldgrenze finden sich stellenweise solche Stufen, und zwar auf spärlich bewachsenen Flächen.

Der *Apoi Dake* ist ein aus Serpentin aufgebauter Vorberg der Hidaka Range. Er steigt über den Küstenterrassen des Kap Erimo bis 811 m auf. Der Einfluß sommerlicher Winde aus S und SW macht sich oberhalb des Fichten- und Kiefernwaldes bemerkbar und läßt an Hängen und Graten ab 360 m ü. M. nur einen Rasen (*Hypochoero-Caricetum*, T. OHBA 1968) gedeihen. Eingeschaltet sind dort einige Terrassetten, umstanden von Latschen, Birken, Haseln und Lärchen. An einem 26° geneigten Hang, der gegen SW abfällt, sind die Stufen unregelmäßig ausgebildet. Isolierte Kanzeln herrschen vor; die Sortierungstiefe mißt maximal 6 cm. Einflüsse von Spülprozessen sind festzustellen; z. B. sind Rasenkanten durchbrochen und ermöglichen Schutt-Transport von den Barflächen hangabwärts. Die Formen zeigen große Ähnlichkeit mit denen auf Cheju Dô in Südkorea (L. ELLENBERG 1976 a).

Oberhalb der Gebiete mit Periglazialformen wächst an windgeschützten Standorten wieder geschlossener Wald.

Im 17. Jh. hatte der *Iwate San* seine letzten Eruptionen. Heute äußert sich vulkanische Aktivität in Fumarolen am Hauptkrater und einigen Hangpartien, ergänzt durch mehrere Onzen. Der Vulkan besteht aus andesitischem Material, das z. T. pyroklastischen Schutt bildet. Stellenweise ist er mit verwitterter Asche vermengt. Über Amahari Onzen wurde bei 1190 m der Wald durch Fumarolentätigkeit auf natürliche Weise vollständig vernichtet. Im Nahbereich der Schwefelquellen ist das Substrat extrem sauer und vegetationsfrei. Nur einzelne Steine sind flechtenüberzogen. Auf horizontalen Flächen erfolgen hier Frostsorrierungen in Form von Steinpolygonen mit geringem Durchmesser. Etwas abseits der Quellen, aber noch im Bereich häufig auftretender Dampfwolken, tragen Hänge nur schütterer Bewuchs von Seggen. Hier konnten sich Terrassetten bilden, bei denen die Vegetation zu girlandenförmigen Sichelkanten angeordnet ist (Photo 2). Sie bedecken alle Hänge zwischen 10° und 30° Neigung. Grobmaterial (Durchmesser bis 5 cm) ist über verwitterter Asche angereichert, die von 3 cm Tiefe an homogen und feinkörnig erscheint. Oberhalb der Waldgrenze treten wegen des sehr locker gepackten, wasserdurchlässigen Schutts nur ganz vereinzelt Periglazialformen auf. Dieser Befund ist ähnlich wie am *Fuji San* (3776 m), der trotz seiner großen Höhe fast frei von Periglazialformen ist.

Der 1914 m hohe *Hayachine San* sitzt einem W-E-verlaufenden Grat auf und bildet die höchste Erhebung des Kitakami-Berglandes, das aus paläozoischen Gesteinen aufgebaut ist, Fichten und Laubbäume mit dichtem Zwergbambus-Unterwuchs herrschen an der S-Seite bis 1400 m vor. Darüber gesellen sich häufiger Tannen hinzu und – besonders im Bereich großer Blöcke – Latschen mit Umrahmungen von *Rhododendron*. Nur bis maximal 1600 m ü. M. steigt der Wald an den Hängen empor, und seine obersten Partien zeigen Schädigungen durch den sommerlichen Wind. In geschützten Rinnen kann dichter, buschiger Bewuchs bis zum Grat ansteigen. Über und unter der windbeeinflussten Waldgrenze finden sich zwischen den Blöcken einige kleine Flächen mit Terrassetten. Diese bedecken jedoch Hangpartien nie geschlossen wie am *Apoi Dake*, denn der hier anstehende Serpentin zerfällt in viel größere Bruchstücke, die die Ausbildung von Periglazialformen erschweren. Auf Barflächen zwischen Latschengebüschen sind einige Steinpolygone entstanden. Ihre Durchmesser liegen durchweg unter 25 cm. Das an den Seiten angereicherte Material (Durchmesser bis 3 cm) reicht in schmalen Rissen maximal 4 cm tief. Bei leichter Hangneigung verzerren sich die Polygone in Richtung der Fallinie. Der Gipfelgrat ist an felsigen und windexponierten Standorten vegetationsfrei, im übrigen aber dicht mit



Photo 2: Girlandenförmige Terrassetten am Iwate San bei 1190 m. Wald durch Fumarolentätigkeit zerstört
Small garland-like solifluction terraces on Iwate San (1190 m). Forest devastated by fumaroles activity

Latschen bestanden. Periglazialformen treten seltener auf als an der S-Abdachung. Die N-Seite ist steil und liegt völlig im sommerlichen Windschatten. Der Wald reicht hier bis zum Grat hinauf, 300 m höher als an der gegenüberliegenden Seite. Periglazialformen konnten an diesem Waldhang nirgends gefunden werden.

Das Kirigamine-Bergland ist aus Andesiten aufgebaut und z. T. von Aschen des Norikura Dake und Ontake überweht worden. Es reicht bis 1925 m ü. M. Von 1600 m an aufwärts gibt es Wald nur in Form junger Aufforstungen, obwohl die klimatische Waldgrenze ca. 700 m höher als der Gipfel liegen würde. Neben vermoorten Senken ist die vom Relief her wenig akzentuierte Bergregion von Grasland bedeckt, dessen Entstehung zumindest teilweise anthropogen ist (A. MIYAWAKI, T. OHBA et al 1967). Anrisse in der Pflanzendecke sind ab 1760 m häufig festzustellen. Terrassetten gibt es oberhalb 1800 m. Es handelt sich meist um Stufen mit unbewachsenen, bis 150 cm breiten Horizontalflächen und bis 100 cm hohen, dicht bewachsenen Steilhängen. Das grobe Material ist in den obersten 8 cm angereichert. An einigen Terrassen vollzieht sich nach Starkregen eine Umformung durch Abspülung. Grobes Material wird durch Breschen in den Vegetationskanten auf tiefere Flächen hin abtransportiert. Die winterliche Verlagerung und Sortierung der Gesteinsfragmente auf den Barflächen durch Kammeis und Eislamellen wurde von M. TAKEBE (1973) nachgewiesen. Von 75 durch K. KITAZAWA (1969) erfaßten Formen liegen 57 an windexportierten Hängen. Beim Aufreißen der Pflanzendecke scheint der

Wind ein wesentlicher Faktor zu sein. An den Innenkanten der Terrassenflächen wird seine Wirkung auch an scheinbar vollkommen ausgebildeten Formen deutlich: eine rückwärtige Vergrößerung der Horizontalflächen durch Ausblasen der anstoßenden Hangpartien kann beobachtet werden. Rasenabschälung (C. TROLL 1973) ist im schneearmen Japan übrigens auch im Tiefland ein wichtiger Prozeß (L. ELLENBERG 1974 a).

Periglazialformen finden sich auch an dem nur wenige Kilometer westlich gelegenen Hachibuse Yama, der bezüglich Höhe, Relief, Klima, geologischen Verhältnissen und Vegetation dem Kirigamine ähnelt. Hier herrschen ebenfalls Terrassetten vor. Daneben sind aber auch Formen der ungebundenen Solifluktion nicht selten. K. KOBAYASHI (1956) untersuchte Steinstreifen in 1650 m Höhe ü. M. und wies ihre rezente Weiterbildung nach. M. TAKEBE (1973) stellte die Verbreitung der Formen (stone rings, -pits, -pavements, -terraces, -stripes, -garlands, block streams) in einer Kartenskizze dar und maß die durch Auffrieren und Schmelzen vollzogenen Bewegungen in Sortierungsformen.

Es läßt sich zusammenfassend feststellen, daß Periglazialformen in Japan spärlicher auftreten als beispielsweise in den europäischen Alpen. Diese Tatsache erklärt sich aus leicht einsehbaren Gründen:

1. Die Berge erreichen nicht alpine Höhen und die rezente Schneegrenze wird nirgends erreicht. Sie läge im zentralen Teil Honshus ca. 300 m über dem Fuji San bei etwas über 4000 m ü. M.

2. Stratovulkane, die den Großteil der japanischen Berge darstellen, weisen steile Hänge auf, die für die Entstehung von Periglazialformen ungünstig sind. Prägnant können Frostwechselprozesse hier nur in der Kraterregion wirken.

3. Auch bei nichtvulkanischen Bergen überwiegen steile Abdachungen. Einerseits ist das durch die relativ geringe, auf die Gipfelregion beschränkte glaziale Reliefprägung während des Quartärs zu erklären, andererseits durch die starke fluviale Abtragung (hohe Niederschläge, die z. T. als Starkregen niedergehen) bei großer tektonischer Aktivität.

4. Die Substratverhältnisse sind häufig ungünstig. Im lockeren Andesitschutt z. B. versickert das Wasser und läßt Frostprozesse weniger effektiv erscheinen.

5. Die lange Andauer mächtiger Schneedecken – dies gilt besonders für die 1. Region – verhindert die Einwirkung des Frostes auf den Boden.

6. Die sommerliche Formung durch Spülprozesse infolge von Starkregen kann entstandene Periglazialformen nicht nur umgestalten, sondern sogar teilweise vernichten.

7. Die Pflanzendecke ist in der oberen Waldstufe und oberhalb der klimatischen Waldgrenze wegen der in Japan fast fehlenden Bergweidewirtschaft relativ geschlossen und beeinträchtigt frostinduzierte Bodenbewegungen bzw. mildert die Wirkung des Frostes am und im Boden.

So gestalten Periglazialprozesse das Relief nur in bescheidenem Ausmaß. An geeigneten Stellen wirken sie sich jedoch auch weit unterhalb der Waldgrenze aus. Strukturböden, verschiedene Arten von Terrassetten und Girlandenböden und selbstverständlich auch Bülden sind in Zentral-Honshu über 1800 m, in Nord-Honshu über 1000 m, in Südost-Hokkaido über 300 m und in Nordost-Hokkaido sogar in Meereshöhe zu finden. Periglazialformen treten also innerhalb der oberen Waldstufe auf, sofern die Pflanzendecke ihrer Anlage kein zu großes Hindernis entgegenstellt. Der Abstand zwischen Waldgrenze und Untergrenze möglichen Auftretens der Formen vergrößert sich von ca. 800 m in Zentral-Honshu (Waldgrenze 2600 m ü. M.) auf ca. 1200 m in Nordost-Hokkaido (Waldgrenze 1200 m ü. M.).

III. Ursache des Auftretens von Periglazialformen unterhalb der klimatischen Waldgrenze

In Schottland kommen Periglazialformen unterhalb der Waldgrenze kaum, in den europäischen Alpen nur in bescheidenem Umfang vor. Warum greifen Periglazialprozesse in Japan allgemein so tief in die Waldstufe hinunter?

Die feuchten und zugleich warmen Sommer in Japan (August-Mittel im Tiefland von Zentral-Honshu 26 °C, in Nord-Honshu 23 °C, in Zentral-Hokkaido 20 °C) gestatten Waldwuchs bis in relativ große Höhe,

Für die Obergrenze des Waldes ist in erster Linie die Länge der Vegetationsperiode und die Menge der sommerlichen Wärmezufuhr entscheidend. Die kalte Jahreszeit (Januar-Mittel im Tiefland von Zentral-Honshu 0 °C, in Nord-Honshu –5 °C, in Zentral-Hokkaido –10 °C) hat zwar Einfluß auf die Artenzusammensetzung der Bestände in der oberen Waldstufe, nicht jedoch auf ihre Höhenlage.

Periglazialformen dagegen entstehen in der kalten Jahreszeit und die Untergrenze ihres möglichen Auftretens bestimmt die winterliche Kälte. Bei den großen Jahresamplituden der Temperatur in Japan reichen formbildende Periglazialprozesse bis in die Waldstufe hinunter. Das Hinabreichen unter die klimatische Waldgrenze ist um so beträchtlicher (von 800 bis 1200 m), je größer die Temperaturdifferenz zwischen Sommer und Winter ist (von ca. 26 °C bis über 30 °C).

Die ungleich großen Amplituden im Jahresgang der Temperatur gestatten es meines Erachtens, die unterschiedlichen periglazialmorphologischen Verhältnisse in Schottland, den europäischen Alpen und Japan (bzw. in den einleitend genannten Kontinentalitätsbereichen) befriedigend zu erklären. In Schottland bilden bei kleiner Temperaturamplitude Wald und Solifluktionsformen voneinander getrennte Höhenstufen, d. h. die Solifluktionsgrenze liegt oberhalb der klimatischen Höhengrenze des Waldes. In den Alpen reicht der Wald wegen höherer Sommertemperaturen bis in größere Meereshöhe empor. Aber auch der höhenwärtige Schwankungsbereich periglazialer Prozesse vergrößert sich. Die Solifluktionsgrenze fällt oft mit der heutigen Waldgrenze zusammen oder liegt nahe oder unter ihr. Hierbei spielen möglicherweise anthropogene Veränderungen der Waldgrenze eine Rolle. In beiden Fällen bildet sich eine Untergrenze der Solifluktion, die im Gelände erkennbar bleibt, auch wenn sie nicht durchgehend zu verfolgen ist.

Anders sind die Verhältnisse in Japan, wo die Untergrenze der Solifluktionserscheinungen nicht selten weit unterhalb der Waldgrenze liegt. Dichte Vegetation in der oberen Waldstufe verhindert allerdings die Ausprägung von Periglazialformen, deren Auftreten ja an Stellen schütter Pflanzendecke gebunden ist, außer bei Formen der gebundenen Solifluktion. Daher kann man ihre Untergrenze meist nicht im Gelände kartieren. Auch qualitativ ist sie anders einzuschätzen als in Europa. In Japan spricht man besser nicht von einer periglazialen Höhenstufe und einer Solifluktionsgrenze, sondern von Periglazialerscheinungen, die bis zu einer in der Waldstufe verlaufenden klimatischen Untergrenze auftreten können.

Ein ähnliches Nebeneinander von dichter Waldvegetation und Periglazialformen an offenen Stellen, wie es von mir in den japanischen Gebirgen festgestellt wurde, ist in den boreal-kontinentalen Teilen Asiens zu beobachten. Hier gilt die Vergesellschaftung von Taiga mit Periglazialformen seit langem als normal und zwar überall dort, wo die Temperaturdifferenz

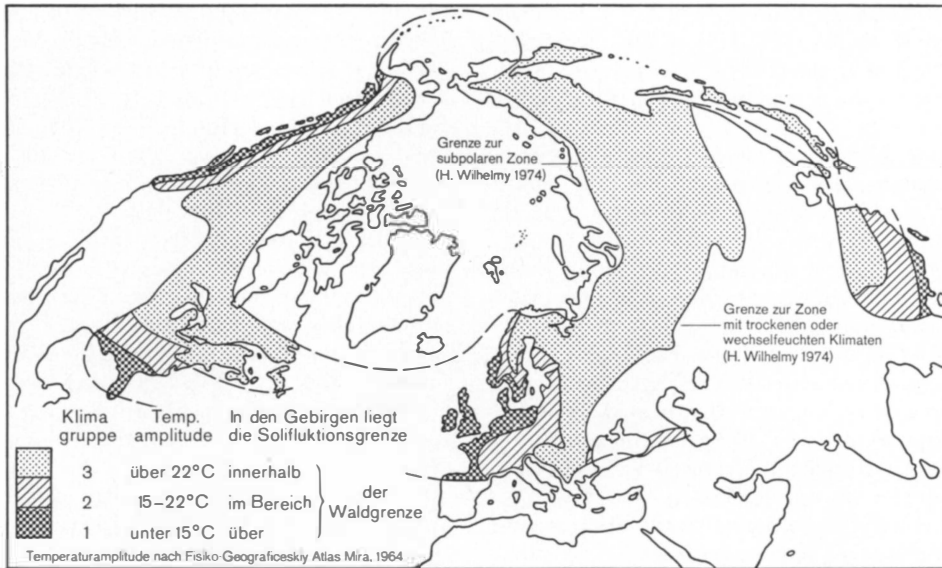


Abb. 3: Regionen mit unterschiedlicher Lage der Soliflukionsgrenze in den Gebirgen innerhalb der dauernd humiden Klimate des gemäßigt-subtropischen Raumes

Regions with varying position of the solifluctions in the mountains within the permanently humid climates of the temperate-subtropical area

zwischen Sommer und Winter größere Ausmaße annimmt, als sie in Europa üblich sind (siehe z. B. Karten p. 1010–1021 in B. FRENZEL 1959).

IV. Parallelen in den nordöstlichen USA

Wenn die dargelegte Erklärung für das Auftreten von Periglazialformen innerhalb der Waldstufe seine Richtigkeit hat, so sind in Gebirgen mit ähnlichem Klima wie in großen Teilen Japans ähnliche Verhältnisse zu erwarten.

Die nordöstlichen Appalachen entsprechen klimatisch dem nördlichen Omote-Nippon und Ost-Hokkaido. Sie sind dauernd humid, haben ähnliche Sommer- und Wintertemperaturen und einen ähnlichen Jahresgang der Temperatur. Beispielsweise läßt sich das Klima von Portland (Januar-Mittel -7°C , Juli-Mittel 19°C , Summe des Jahresniederschlags 1059 mm) mit dem von Kushiro in Ost-Hokkaido (Januar-Mittel $-7,1^{\circ}\text{C}$, Juli-Mittel $18,3^{\circ}\text{C}$, Summe des Jahresniederschlags 1048 mm) gut parallelisieren.

Über die periglazialmorphologischen Verhältnisse in diesem Raum liegen einige Untersuchungen vor, von denen hier auf die von E. ANTEVS (1932), R. L. and F. NICHOLS (1936), C. S. DENNY (1940), A. P. BUTLER Jr. and L. L. RAY (1946), R. S. SIGAFOSSE and D. M. HOPKINS (1951), M. T. U. SMITH (1962) und A. L. WASBURN et al (1963) hingewiesen sei. Wie auch weiter nördlich auf Newfoundland (E. P. HENDERSON 1968) kommen hier tiefgelegene Periglazialformen innerhalb der Waldstufe vor.

Einem Berg im Innern von Nordost-Hokkaido entspricht in klimatischer Hinsicht der 1917 m hohe Mount Washington³⁾ in New Hampshire ($44^{\circ}16'\text{NB}$, $71^{\circ}18'\text{WL}$). Eigene Beobachtungen an ihm sollen die aus der Literatur bekannten Befunde ergänzen.

Zeitweilige Eigenvergletscherung haben in den stark metamorphen Serien Kare und Trogtäler geschaffen. Die nordamerikanische Inlandeismasse, die zumindest zeitweilig die Presidential Range voll einbezog, verstärkte die glaziale Gestaltung, so daß heute breite Grate, flache behäbige Sättel und sanfte Hänge das Relief charakterisieren (R. P. GOLDTHWAIT 1940, 1970). Dieses Relief begünstigt die Anlage von Periglazialformen.

Weniger günstig sind die grobblockig zerfallenden Felsen (mica-schist), zwischen denen sich nur wenig Feinmaterial gesammelt hat. So ist die blockübersäte Gipfelkuppe gänzlich frei von periglazialen Sortierungsformen, trotz sehr spärlichen Bewuchs. Immerhin sind nördlich des Gipfels, z. B. bei Halfway House (1280 m) und Six Mile Post (1780 m), wo Laubwald

³⁾ Klimadaten des Mt. Washington Observatory, 1917 m ü. M.

mittlere Jahrestemperatur	$-2,7^{\circ}\text{C}$
Mitteltemperatur Februar	$-14,6^{\circ}\text{C}$
Mitteltemperatur Juli	$9,5^{\circ}\text{C}$
Temperaturamplitude	$24,1^{\circ}\text{C}$
Summe des Jahresniederschlags	1874 mm
mittlere Windgeschwindigkeit	56,5 km/h
Nebel an mehr als 300 Tagen pro Jahr	

noch in windgeschützten Senken wächst und im übrigen ein lückenhafter Latschenbestand den Boden bedeckt, Terrassetten unregelmäßigen Aussehens und unterschiedlicher Qualität zu finden. Spülprozesse scheinen an der Ausgestaltung der Formen wesentlich mitbeteiligt zu sein. Sortierungsformen im Schutt kommen vor, sind aber selten.

Bessere Bedingungen für die Entstehung von Periglazialformen sind südlich des Gipfels gegeben, wo der Wald in Höhen zwischen 1600 und 1700 m reicht. Am oberen Ende von Tuckerman Ravine (1750 m) und bei Bot Spur (1830 m) oberhalb der Waldgrenze, aber auch in deren Höhe (1660 m) sowie in tieferer Lage findet man deutliche Terrassetten und frostbedingte Sortierungen des Schuttmaterials, besonders großflächig bei Glen Boulder (1230 m). Die Treppenböden sind nie sehr regelmäßig, weil der Hang mit groben Blöcken überstreut ist. Vor allem an windexponierten Freiflächen nehmen sie aber innerhalb der oberen Waldstufe zusammenhängende Areale ein. Auf Terrassenflächen von über 50 cm Breite ist der Schutt regelhaft sortiert, d. h., das Grobmaterial in den obersten 3 cm und an den Stufenstirnen angereichert.

V. *Schlußfolgerung*

Als Arbeitshypothese sei eine Kartenskizze (Abb. 3) vorgelegt. In ihr sind die klimamorphologischen Zonen der dauernd humiden gemäßigten und subtropischen Klimate der Nord-Halbkugel nach H. WILHELMY (1974) dargestellt und in drei Regionen unterschiedlicher Temperatur-Jahresamplituden eingeteilt. Für Gebirge, die in der 1. Klimagruppe liegen (Temp.ampl. kleiner als 15 °C), liegt meiner Auffassung nach die Untergrenze der Solifluktion mehr oder minder weit oberhalb der klimatischen Höhengrenze des Waldes. In der 2. Region mit einer Temperaturamplitude zwischen 15 ° und 22 °C fällt sie mit der klimatischen Waldgrenze zusammen oder liegt in deren Bereich. In der wesentlich größeren 3. Region mit Temperaturamplituden über 22 ° (diese fehlt innerhalb der gemäßigten Breiten auf der Südhalbkugel) reichen Periglazialformen in den Gebirgen regelhaft in die Waldstufe hinunter. Der Begriff der Solifluktionsgrenze sollte hier also nicht unkritisch angewendet werden. Der Höhengürtel, in dem sowohl Wald als auch Periglazialformen nebeneinander in guter Ausbildung vorkommen können, ist um so breiter, je größer die jährliche Temperaturamplitude ist.

Literatur

- ANTEVS, E.: Alpine zone of Mt. Washington Range, Auburn, Maine, Merrill & Webber Co., 1932.
- BUTLER, A. P., Jr. and L. L. RAY: Modern polygonboden formation in Maine, in: Bull. Geol. Soc. Am. 57, 1946, S. 1183–1184.
- DENNY, C. S.: Stone-rings on New Hampshire mountains, in: Am. Jour. Sci. 238, 1940, S. 432–438.
- DAIGO, Y.: „Handatlas für die landwirtschaftliche Meteorologie Japans“ (japanisch), Tokyo, 1947.
- ELLENBERG, L.: Shimobashira – Kammeis in Japan, in: Geogr. Helv. 29/1, 1974 a, S. 1–5.
- : The periglacial stage in Europe (especially the Alps) and Japan – a comparison, in: Geogr. Rep. of Tokyo Metropolitan Univ. 9, 1974 b, S. 53–65.
- : Rezente Periglazialerscheinungen auf Cheju Dô, Südkorea, in: Geogr. Helv. 31/2, 1976 a, S. 69–74.
- : Rezente Periglazialerscheinungen im Gebiet des Daisetsu San in Nordjapan, in: Geogr. Helv. (im Druck), 1976 b.
- : Zur Periglazialmorphologie von Ura Nippon, der schneereichen Seite Japans, in: Geogr. Helv. S. 139–151, 1976 c.
- FRENZEL, B.: Die Vegetations- und Landschaftszonen Nord-Eurasiens während der letzten Eiszeit und während der postglazialen Wärmezeit, 1. Teil: Allgemeine Grundlagen, Akad. d. Wiss. und d. Lit. in Mainz, Abhdlgn. d. Math.-Nat. Kl. 13, 1959.
- GOLDTHWAIT, R. P.: Geology of the Presidential Range in New Hampshire, Acad. Sci. Bull. 1, 1940.
- : Mountain glaciers in the Presidential Range in New Hampshire, in: Jour. of Arctic and Alpine Research 2 (Univ. of Colorado, Boulder), 1970, S. 85–102.
- GRAF, K.: Vergleichende Betrachtungen zur Solifluktion in verschiedenen Breitenlagen, in: Z. Geomorph. N. F., Suppl. Bd. 16, 1973, S. 104–154.
- HASTENRATH, S.: Klimatische Voraussetzungen und großräumige Verteilung der Froststrukturböden, in: Z. Geomorph. N. F. 4, 1960, S. 69–73.
- HENDERSON, E. P.: Patterned ground in southeastern Newfoundland, in: Canad. Jour. of Earth Sci. 5, 1968, S. 1443–1455.
- HÖLLERMANN, P.: Rezente Verwitterung, Abtragung und Formenschatz in den Zentralalpen am Beispiel des oberen Suldentales (Ortlergruppe), Z. Geomorph. N. F., Suppl. Bd. 4, 1964.
- : Zur Verbreitung rezenter periglazialer Kleinformen in den Pyrenäen und Ostalpen, Gött. Geogr. Abhdlgn. 40, 1967.
- HÖVERMANN, J.: Über Strukturböden im Elbkurs (Iran) und zur Frage des Verlaufs der Strukturbodengrenze, in: Z. Geomorph. N. F. 4, 1960, S. 173–174.
- KAISER, K.: Ein Beitrag zur Frage der Solifluktionsgrenze in den Gebirgen Vorderasiens, in: Z. Geomorph. N. F. 9, 1965, S. 460–480.
- KELLETTAT, D.: Rezente Periglazialerscheinungen im Schottischen Hochland, in: Gött. Geogr. Abhdlgn. 51, 1970, S. 67–140.
- KITAZAWA, K.: „Strukturböden am Kirigamine, 2. Teil“ (japanisch), Research Group of Earth Science of Suwa Educational Primary School Teachers, 1969. S. 61–92.
- KLAER, W.: Untersuchungen zur klimagenetischen Geomorphologie in den Gebirgen Vorderasiens, Heidelberger Geogr. Arb. 11, 1962.

- KOAZE, T.: „Verteilung rezenter und fossiler Periglazialformen in Japan“ (japanisch), Meiji. Univ. Tokyo, unveröff. Manusk., 1958.
- : The patterned grounds on the Daisetsu Volcanic Group, Central Hokkaido (japanisch mit engl. summ.), in: Geogr. Rev. of Japan 38, 1965, S. 179–199.
- KOBAYASHI, K.: Periglacial morphology in Japan, in: Biul. perygl. 4, 1956, S. 15–46.
- MIYAWAKI, A., T. OHBA et al.: „Die Vegetation von Japan im Vergleich zu anderen Gebieten der Erde“ (japanisch), Enc. of Sci. and Techn. 3, Tokyo, 1967.
- NICHOLS, R. L. and F. NICHOLS: Polygonboden on Mt. Desert Island, Maine, in: Science, New. Ser. 83, 1936, S. 161.
- OHBA, T.: Über die Serpentin-Pflanzengesellschaften der alpinen Stufe Japans (japanisch mit dt. Zus.), in: Bull. of the Kanagawa Pref. Museum 1/1, 1968, S. 37–64.
- POSER, H.: Die Periglazialerscheinungen in der Umgebung der Gletscher des Zemmgrundes (Zillertaler Alpen), in: Gött. Geogr. Abhdlgn. 15, 1954, S. 125–180.
- RATHJENS, C.: Ein Beitrag zur Frage der Solifluktionsgrenze in den Gebirgen Vorderasiens, in: Z. Geomorph. N. F. 9, 1965, S. 35–49.
- SCHWIND, M.: Das japanische Inselreich, Bd. 1, Die Naturlandschaft, Berlin, 1967.
- SIGAFUSS, R. S. and D. M. HOPKINS: Frost-heaved tussocks in Massachusetts, in: Am. Jour. Sci. 249, 1951, S. 312–317.
- SMITH, H. T. U.: Periglacial frost features and related phenomena in the United States, in: Biul. perygl. 11, 1962, S. 325–342.
- TROLL, C.: Strukturböden, Solifluktion und Frostklimate der Erde, in: Geol. Rdsch. 34, 1944, S. 545–694.
- : Rasenabschälung (Turf Exfoliation) als periglaziales Phänomen der subpolaren Zonen und der Hochgebirge, in: Z. Geomorph. N. F., Suppl. Bd. 17, 1973, S. 1–32.
- WASHBURN, A. L., D. D. SMITH and R. H. GODDARD: Frost cracking in a middlelatitude climate, in: Biul. perygl. 12, 1963, S. 175–189.
- WILHELMY, H.: Geomorphologie in Stichworten, Teil 4, Kiel, 1974.

VERÄNDERUNGEN DES MESOKLIMAS DURCH SIEDLUNGEN IM RAUM NEUSTADT/WEINSTRASSE

Mit 4 Abbildungen, 2 Photos und 2 Tabellen

MICHAEL GEIGER

Summary: Meso-climatic changes in the Weinstrasse region south of Neustadt.

This study covering a rurally-structured area is intended to complement what have become fairly numerous investigations of urban climates within cities and agglomeration areas.

Making use of mobile instruments for measuring temperatures, minima and maxima thermometers and infra-red aerial photography, an investigation was carried out into the meso-climatic changes in the Weinstrasse region south of Neustadt. Corresponding with the size of settlement temperature rises of between 0.5 °C and 5 °C were registered. Settlements lying within and in front of the valley funnels of the Pfälzerwald alter the natural circulation of air. They block the fresh air on arrival, and warm it up so that it no longer proceeds to the Rhine Plain. This interference with the bioclimatically highly significant local wind systems ought to be taken account of adequately in future measures adopted by regional and town planners. In this regard meso-climatic mapping represents a necessary investigation of underlying factors.

I. Problemstellung

Die Erweiterung unserer Siedlungen, das krebsartige Auswuchern unserer Städte brachte vielen Menschen früher nie gekannte individuelle Wohnverhältnisse und Erholungsmöglichkeiten. Mit diesen Vorzügen

ergaben sich auch eine Reihe verschiedener Probleme. In manchen Gebieten schritt die Zersiedlung der Landschaft schon soweit fort, daß das ökologische Gleichgewicht der Naturlandschaft einschneidend gestört wurde.

Zu diesen Auswirkungen gehören auch die Veränderungen des Mesoklimas durch die menschliche Siedlungstätigkeit. Solche Veränderungen stellen sich meist erst allmählich ein. Die langsame Gewöhnung an die veränderten klimatischen Verhältnisse läßt uns die auslösenden Ursachen nicht sicher erkennen. Überdies glaubt man, solche Veränderungen der unberechenbaren langfristigen Wetterentwicklung zuschreiben zu können.

Seit einiger Zeit befaßt sich die Stadtklimatologie mit den Fragen der Beeinflussung des Klimas durch städtische Siedlungen (siehe u. a. BACH 1970, ERIKSEN 1971, 1975, FEZER 1975 b, KRATZER 1956, MIESS 1974, NÜBLER 1975, SEITZ 1975)¹⁾.

ERIKSEN (1971 s. 259ff.) führt die wesentlichsten anthropogen bedingten klimatischen Veränderungen in den Städten auf:

¹⁾ Die Literaturangaben beschränken sich hier auf einige Autoren, ein ausführliches Schriften-Verzeichnis findet der Interessierte bei ERIKSEN 1975, der auch die nichtdeutsche Literatur auswertet.