

## ZUR PERIGLAZIÄREN MORPHODYNAMIK AUF DEN ALEUTEN, SW-ALASKA

Mit 6 Abbildungen, 4 Tabellen und 5 Photos

EKKEHARD SCHUNKE

*Summary:* On periglacial morphodynamics in the Aleutian Islands, SW-Alaska

Based on field work in the Aleutian Island of Unalaska during the summers of 1996 and 1997, the paper deals with the effect of a highly oceanic frost climate on periglacial geomorphology. The periglacial features of Unalaska Island consist essentially of forms of frost-weathering, gelifluction, micro-scale ground patterning, of surface flattening, deflation, nivation, slush-flow action, and of fluvial morphodynamics. The occurrence and distribution of periglacial phenomena indicate specific altitudinal differentiations, the lowland of subpolar grassland (up to about 150 m a.s.l.) not showing morphodynamic effects of freezing action. Complementary measurements of basic climatic and hydrologic parameters in the high oceanic milieu of Unalaska Island show that the numerous pluvial discharge events during summer cause only limited fluvial action: the main valley formation is produced essentially during the snow-melt period. Finally, the periglacial geomorphological and frost-climatological position of the Aleutian Islands within the periglacial zone of the American-European Arctic and Subarctic, with its variation between highly continental to highly oceanic conditions, shows: the Aleutian Islands differ strongly from the continental periglacial regions (1) through a rather small variability of their periglacial features and (2) through minor frequencies, densities, and sizes of periglacial forms. The reason is mainly the relatively small intensity, duration, and depth of seasonal ground freezing.

*Zusammenfassung:* Die Arbeit bietet die wichtigsten Ergebnisse von Geländeuntersuchungen auf der Aleuten-Insel Unalaska in den Jahren 1996 und 1997 zur Frage nach den periglazialmorphologischen Auswirkungen des Frostklimas unter hoch-ozeanischen Bedingungen. Der periglaziale Formenschatz von Unalaska Island setzt sich im wesentlichen zusammen aus Formen der Kryoklastik, der Solifluktion, der (kleindimensionierten) Bodenmusterung, der Bodenglättung, der Gelideflation, der Nivation, der Naßschneelawinen-Bewegung sowie der fluvialen Morphodynamik. Seine Anordnung dokumentiert eine charakteristische Höhenstufung, wobei die Fußstufe der subpolaren Wiesen (bis ca. 150 m ü. M.) noch keine Merkmale einer direkten morpho-dynamischen Frostwirkung aufweist. Hinsichtlich der klimatischen und hydrologischen Faktoren des hoch-ozeanisch-periglazialen Milieus ergibt sich aus den durchgeführten Messungen, daß die häufigen pluvialen Abflußereignisse des Sommers nur eine geringe fluviale Abtragung bewirken: Die Talformung erfolgt im wesentlichen im Verlauf der Schneeschmelze. Die vergleichend-überregionale Einordnung der periglazialmorphologischen und frostklimatischen Stellung der Aleuten innerhalb des klimatisch von hochkontinental bis hochozeanisch variierenden Periglazialraumes der amerikanisch-europäischen Arktis und Subarktis dokumentiert: Die Aleuten heben sich erstens durch eine geringe Vielfalt des periglazialen Formeninventars insgesamt und zweitens durch die geringere Häufigkeit, Dichte und Größe der Periglazialformen von den kontinental geprägten Periglazialregionen signifikant ab. Ursache hierfür ist im wesentlichen die relativ geringe Schärfe des Frostregimes unter hochozeanischen Bedingungen.

### 1 Einleitung

Bei der Erforschung der Morphodynamik in den periglazialen Landschaftszonen und Höhenstufen der Erde erweisen sich vor allem die Kenntnisse über die Formen und Formungsprozesse in Regionen mit ozeanischem bis hochozeanischem Frostklima noch als sehr lückenhaft. Zur Erweiterung des Kenntnisstandes beizutragen, ist das Ziel dieser Arbeit, die der Frage nach der periglazialmorphologischen Wirksamkeit des ozeanisch geprägten Frostregimes auf den Aleuten nachgeht, und zwar am Beispiel von Unalaska Island, der zweitgrößten dieser Inseln an der Bering-See. Die folgenden Ausführungen basieren auf Feldarbeiten, die dort in den Monaten Juli bis September der Jahre 1996

und 1997 durchgeführt wurden. Geländebeobachtungen stehen auch von Unimak Island, Akutan Island und Unga Island zur Verfügung<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Der Autor dankt der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojektes, dem Alaska State Climate Center in Anchorage (Dr. D. W. POLLARD) und der U.S. Geological Survey Water Resources Division in Fairbanks (Dr. R. L. BURROWS) für die Überlassung von Klima- und Gewässerdaten aus SW-Alaska sowie der Ounalashka Corporation für die Erteilung der Forschungsgenehmigung. Dankbar erwähnt sei auch die Mitwirkung der cand. O. RIES und J. RICHTERS, Göttingen, bei den Geländearbeiten unter schwierigen äußeren Bedingungen.

Das unter 54°N und 168°W gelegene Untersuchungsgebiet Unalaska Island (vgl. Abb. 2), das seiner Lage jenseits der polaren Waldgrenze und seiner klimatischen Ausstattung nach zu den hochozeanischen Periglazialräumen der Arktis/Subarktis zählt (vgl. u. a. WASHBURN 1951), ist eine rund 3100 km<sup>2</sup> große Insel mit Hochgebirgsrelief, dessen mittlere Gipfelhöhen um 1100 m ü. M. liegen. Der Fußbereich wird von „subpolaren Wiesen“ (PASSARGE 1921, SCHMITHÜSEN 1959) eingenommen, die ab Höhen um 150 m ü. M. durch zwergstrauchreiche Gebirgstundra oder auch Barflächen ersetzt werden. Ab Höhen um 600 m ü. M. macht die geschlossene Vegetationsdecke immer mehr einer Fels- und Frostschuttlandschaft Platz, die bei Höhen um 850 m ü. M. in eine Schneefleckenlandschaft überleitet. Die Schneegrenze verläuft bei ca. 1050 m ü. M. Übertagt wird das Hochgebirgsrelief von der rund 40 km<sup>2</sup> großen Eiskappe des Vulkans Mount Makushin (2036 m ü. M.). Der geologisch-petrographische Bau besteht im wesentlichen aus extensiv gefalteten, zerbrochenen und von plutonischen Gesteinen intrudierten vulkanogenen und sedimentären Festgesteinen aus dem Paläozän bis Miozän (vgl. DREWES et al. 1961), bereichsweise von Basalten und andesitischen Lavamassen des Jungtertiärs überdeckt. Sie werden in den unteren bis mittleren Höhenlagen im allgemeinen von schluffig-sandigem lößähnlichem Lockermaterial verhüllt. Das Klima des Tieflandes ist nach Daten der Station Dutch Harbor gekennzeichnet durch Jahresmitteltemperaturen von 4,0°C, durch mittlere Jahresamplituden der Lufttemperatur von 11°C und durch Jahresniederschläge um 1560 mm, wovon 350 mm als Schnee fallen (vgl. Abb. 1). Die Insel hat 320 Regentage pro Jahr und weist oberhalb von 600 m ü. M. von Oktober bis Juni eine geschlossene Schneedecke auf. Von Bedeutung sind ferner die großen mittleren Windstärken von 30–40 km/h, mit Spitzengeschwindigkeiten von über 200 km/h.

Im folgenden wird die unter diesem hochozeanischen Klima herrschende periglaziäre Morphodynamik des Mikro- und Mesoreliefs dargestellt, bevor dann auf die mikro-klimatischen und hydrologischen Milieubedingungen eingegangen wird. Die Resultate der umfangreichen Feldarbeiten können hier nur in Auswahl und zusammengefaßt dargeboten werden.

## 2 Die periglaziäre Morphodynamik des Mikro- und Mesoreliefs

Die Untersuchungen in den verschiedenen Bereichen von Unalaska erbrachten zunächst, daß hinsichtlich der Häufigkeit des Vorkommens und hinsichtlich der Vergesellschaftungsdichte der als Kennformen des

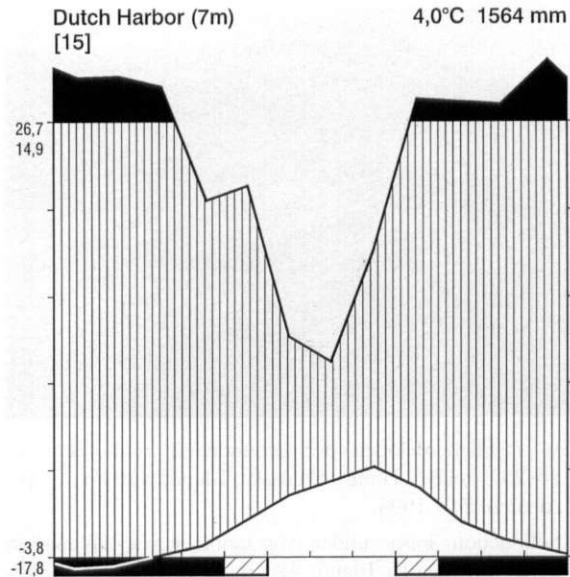


Abb. 1: Klimadiagramm Dutch Harbor, Unalaska Island, Aleuten

Climatic graphs for Dutch Harbor, Unalaska Island, Aleutian Islands

Frostklimas ausgewiesenen periglazialen Kleinformen bestimmte Formtypen dominieren, während andere völlig fehlen:

Die *Formen der Kryoklastik* setzen im wesentlichen in den Höhenlagen über 600 m ü. M. ein. Im Tiefland sowie auch in den Lavadecken des Hochlandes macht sich die rezente Frostverwitterung nur selten im Formenbestand bemerkbar. Die an den steilen Talflanken und Gebirgshängen über den Schutthalden und schuttbedeckten Hängen aufragenden Felsen mit Frostverwitterung erweisen sich als Arbeitsformen. Hierbei spiegelt der Habitus der Felsen die selektive Wirkung der kryoklastischen Bearbeitung wider. Die Halden, Haldenkegel und Kerbsturzkegel im Tiefland präsentieren sich weithin als Ruheformen. Aktive Schuttformen gibt es im Tiefland unterhalb von Steinschlag-, Erosions- und Lawinenrinnen. Hierbei sind vor allem jene am unteren Ende von Ravinen abgelagerten Schuttmassen, die auf den rasch ablaufenden Transport von Schnee-Wasser-Schutt-Lawinen („Naßschneelawinen“, „slush flow“) zurückgehen, überwiegend rezenten Alters und belegen somit, daß stellenweise die periglaziäre Morphodynamik des Hochgebirges auch gegenwärtig ihre Fernwirkung bis in die Fußregion der Gebirgsstöcke und Talflanken sendet. Erst in Höhenlagen oberhalb von 400–450 m ü. M. treten in größerem Umfang Frostschutthalden als Arbeitsformen auf. Sie sind in ihrer Ausprägung von der Gesteinsbeschaffenheit abhängig, indem sich die Schuttkörper der

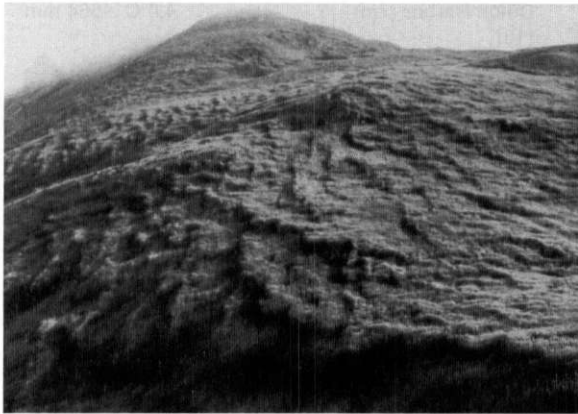


Photo 1: Fließberdeloben der gebundenen Solifluktion an 20–25° steilem Hang. Unalaska Island, 420 m ü. M., Aleuten (24.7.1996)

Solifluction lobes under vegetation cover, inclination 20–25°. Unalaska Island, 420 m a.s.l., Aleutian Islands (7/24/1996)



Photo 2: Fließberdediagonalstufen der halbgebundenen Solifluktion an 15–20° steilem Hang. Unalaska Island, 270 m ü. M., Aleuten (3.8.1996)

Diagonal solifluction steps with interrupted vegetation cover, inclination 15–20°. Unalaska Island, 270 m a.s.l., Aleutian Islands (8/3/1996)

Granodiorite, Syenite, Konglomerate, Tuffbrekzien vorwiegend aus sandig-grusigem Material zusammensetzen, während die Schutthalden der Granite, Gabbros, Quarzdiorite, Gneise und Basalte mehr aus blockigem Material bestehen. Eine entsprechende Differenzierung zeigen auch die autochthonen Schuttfelder, die jedoch wegen der Dominanz von Graten und Gipfeln relativ selten in größerer Ausdehnung anzutreffen sind. Hierbei dominieren sandig-grusige Schuttfelder gegenüber Blockfeldern. Die unterschiedliche Zusammensetzung des Detritus der verschiedenen Gesteine führt bekanntlich zu Unterschieden in den edaphischen Voraussetzungen für die Ausbildung der periglazialen Kleinformen an jenen Plätzen, an denen das Festgestein nicht von einer Decke aus vulkanogenen oder anderen Feinsedimenten verhüllt wird.

Die *Formen der Solifluktion* sind unter den periglazialen Formen auf Unalaska Island bei weitem am häufigsten. Ihre Verbreitungsuntergrenze liegt bei Höhen um 150–200 m ü. M. Hierbei werden sämtliche Formentypen der gebundenen, halbgebundenen und ungebundenen Solifluktion einschließlich der Wander- und Bremsblöcke, der Diagonalstufen und Halbloben angetroffen. Loben und Halbloben der gebundenen Solifluktion finden sich an den steilen vegetationsbedeckten Gebirgs- und Talhängen in Höhenlagen von oberhalb 250 m ü. M., wobei die derzeitige Aktivität der Solifluktion aus dem Überwälzen der Vegetationsdecke durch die Solifluktionsmassen ersichtlich wird. Diese Solifluktionsformen erreichen an ihrer Stirnseite Höhen von bis zu 1,2 m und sind oftmals dicht aufeinanderfolgend angeordnet und zwar überwiegend bei Hangneigungen von 15–25° (vgl. Photo 1). Die Formen

der halbgebundenen Solifluktion treten bereits in Höhen um 150 m ü. M. auf: in Gestalt von Fließberdestufen und -diagonalstufen mit Stirnhöhen von 50–70 cm. Sie finden sich dort, wo die geschlossene Vegetationsdecke von Barflächen unterbrochen wird. Auch sie sind meist in dichter, treppenförmiger Abfolge angeordnet, wobei auf den Stufenflächen oftmals eine Materialsortierung stattfindet. Die Fließberdestufen der halbgebundenen Solifluktion besetzen vor allem die flacheren Partien der niedrigen Plateaus und Zwischentalrücken mit Böschungen von 5–15°. Fließberdediagonalstufen der halbgebundenen Solifluktion überziehen manche Hänge in dichter Folge (vgl. Photo 2). Ganz ähnliche „Schrägenterrassen“ beschreibt LÖFFLER (1983, 71 und Abb. 10) von Macquarie Island. Eine Abhängigkeit der Fließberde- und Diagonalstufen von der Windwirkung, wie sie LÖFFLER (1983) und LÖFFLER et al. (1983) für große Terrassentreppen auf Macquarie Island aus der Windexposition der von ihnen besetzten Hänge ableiten, wurde auf Unalaska Island nicht festgestellt: Diese Solifluktionshänge weisen keine regelhafte Exposition gegenüber bestimmten Windrichtungen auf. Die Formen der ungebundenen Solifluktion in Gestalt von Schuttloben und Blockschuttströmen bleiben auf die vegetationsarmen Höhenlagen von über 600 m ü. M. begrenzt. Insgesamt steht die weite Verbreitung von Solifluktionsformen in Übereinstimmung erstens mit der für Unalaska Island ermittelten großen Anzahl von Frostwechseltagen, zweitens mit den hohen jährlichen Niederschlagssummen, drittens mit der bis ins Tiefland reichenden winterlichen Schneebedeckung und der hieraus erwachsenden Substratdurchfeuchtung sowie viertens mit der weiten Verbreitung





Photo 3: Steinstreifenfeld (Miniaturform) auf 3° geneigtem Plateau. Unalaska Island, 285 m ü. M., Aleuten (16.8.1997)  
Miniature patterned ground on a 3° inclined plateau. Unalaska Island, 285 m a.s.l., Aleutian Islands (8/16/1997)

einer fließfähigen Feinmaterialmatrix in den Schuttdecken.

Die *Formen der Bodenmusterung und -sortierung*, die auf Unalaska Island als Strukturböden, Zellenböden und Büldenböden vorkommen, bieten hinsichtlich der Verbreitung und Häufigkeit ein anderes Bild. Ihre Verbreitungsuntergrenze liegt zwar tiefer als die der Solifluktuationsformen, jedoch treten diese gleichfalls als sichere Kennformen des Periglazialklimas geltenden Formen bei weitem nicht so häufig in Erscheinung wie die der Solifluktuationsformen. Dies hat seine Ursachen in erster Linie in dem orographischen Umstand, daß in den vegetationsarmen höheren Reliefbereichen die Anteile von flachen Reliefpartien, auf denen sie sich ausbilden könnten, zurücktreten. Auf den meisten der für die Ausbildung solcher Formen geeigneten flachen Reliefpartien nämlich finden sich durchaus Struktur- oder auch Zellenböden, so daß ihre gegenüber den Solifluktuationsformen geringere Häufigkeit nicht klimatische Ursachen haben kann.

Von den vielfältigen Typen des Strukturbodens finden sich Steinpolygone, Steinstreifen, Feinerdeinseln und Feinerdestreifen, sämtliche als Kleinformen mit einem Durchmesser (bzw. Streifenabstand) von weniger als 50 cm ausgebildet. Sie existieren auch als Felder von einigen hundert Einzelformen (vgl. Photo 3). Wie zu Beginn der Frostperiode im September beobachtet wurde, ist an der Materialsortierung dieser Miniaturformen, die nur eine geringe Sortierungstiefe von 5 cm erreichen, auch die Nadeleisbildung beteiligt. Großformen des Strukturbodens wurden nicht angetroffen. Die Verbreitung der Strukturböden hat ihre Unter- grenze bei rund 150 m ü. M. Oberhalb von 800 m ü. M. setzt die Verbreitung von Strukturböden wegen

des Fehlens von flachen Reliefpartien und wegen des Mangels an Feinmaterial aus.

Zellenböden als Form der Bodenmusterung wurden in flächenhafter gehäufte Verbreitung nicht angetroffen. Vielmehr treten sie nur gelegentlich und einzeln in Gestalt von wenig markanten polygonalen Reißnetzen auf, deren Polygone Maschenweiten von 10–30 cm umspannen, wobei die Risse auch bei diesen Formen nur einen Tiefgang von wenigen Zentimetern aufweisen.

Die Büldenböden (Thufur) als weiterer charakteristischer Formtyp der Bodenmusterung treten auf Unalaska Island ebenfalls nur selten und undeutlich in Erscheinung. Ihre Verbreitungsuntergrenze liegt wie die der Strukturböden bei rund 150–200 m ü. M. Grabungen bis in 1 m Tiefe der Büldenböden zeigen, daß es Thufur gibt, die in 20–30 cm Bodentiefe kryo- turbat deformierte Tephralagen aufweisen. Hieraus läßt sich die Eindringtiefe des Bodenfrostes bei der Büldenbildung mit 20–30 cm bestimmen.

Die Struktur-, Zellen- und Büldenböden auf Unalaska Island sind wie die Solifluktuationsformen rezente Arbeitsformen. Die Struktur- und Büldenböden sind nach den Ergebnissen von Substratanalysen an das Vorhandensein eines ausreichend pelitischen Feinmaterialanteils von 20–40% im Sediment gebunden. Die granulometrische Analyse des Feinmaterials von 35 Proben aus unterschiedlichen Lockersubstraten (lößähnliche Sedimente, Verwitterungsdetritus) erbrachte Anteile der Ton- und Schlufffraktion von 22,9–63,2% und der Sandfraktion von 43,3–84,3%. Der für die Beurteilung der Frostempfindlichkeit entscheidende Pelitanteil beträgt 7,6–40,4%. Hierbei weisen die lößähnlichen Substrate mit 20,7–40,4% einen deutlich größeren Pelitanteil auf als die Verwitterungsprodukte der Festgesteine mit 7,6–21,4%. Nach CASAGRANDE (1934) gelten gleichförmig granuliert Lockersubstrate mit einem über 10prozentigen Pelitanteil als frostgefährdet. Da somit das in den unteren Höhenlagen von Unalaska Island weitverbreitete lößähnliche Lockersubstrat als stark frostgefährdet einzustufen ist, muß angesichts seiner weiten Verbreitung das Zurücktreten der Formen der Bodenmusterung und -sortierung im Falle der Büldenböden weniger edaphischer Ungunst als vielmehr der geringen Eindringtiefe des Bodenfrostes in den Tieflagen von Unalaska Island und im Falle der Strukturböden zum Teil auch edaphischer Ungunst des Verwitterungsdetritus zugeschrieben werden.

Die *Formen der Bodenglättung* in Gestalt der Pflasterböden treten auf den von sandig-grusigem Verwitterungsdetritus der anstehenden Festgesteine eingenommenen Barflächen der Plateaus und Zwischentalrücken





Photo 4: Rasenstufen der Gelideflation auf windexponiertem Flachhang, Unalaska Island, 230 m ü. M., Aleuten (5.8.1997)

Soil steps caused by gelideflation on wind-exposed gentle slope, Unalaska Island, 230 m a.s.l., Aleutian Islands (8/5/1997)



Photo 5: Nivationsnischen im Granodiorit, Unalaska Island, 870 m ü. M., Aleuten (18.7.1997)

Nivation hollows in granodiorit, Unalaska Island, 870 m a.s.l., Aleutian Islands (7/18/1997)

in Höhenlagen von 150–400 m ü. M. auf. Ihre Ausbildung ist bekanntlich an die Position von saisonalen Schneeflecken geknüpft, so auch auf Unalaska Island.

Den *Formen der Gelideflation* kommt bei der Gestaltung des rezenten Periglazialbereiches von Unalaska Island neben denen der Solifluktion eine wichtige Rolle zu. Rasenkliffs von bis zu 1,2 m Höhe sowie Windsichelrasen von 10–20 cm Höhe finden sich bis zu einer Verbreitungsuntergrenze von 150 m ü. M. hinab (vgl. Photo 4). Die Geländebeobachtungen erbrachten, daß derartige Formen durch die bodenfrostbedingte Beschädigung der geschlossenen Vegetationsdecke initiiert werden. Auf den so entstandenen Barflecken entfaltet die Nadeleisbildung, ein auf Unalaska Island häufiger bodenfrostdynamischer Vorgang, ihre bodenauflockernde und zum Teil vegetations-zerstörende Wirkung.

Durch Ausblasung des Feinmaterials schreitet die gelideflatorische Bodenabtragung bis zur Ausbildung von Rasenkliffs fort. Die Formen der Gelideflation finden sich in typischer Ausbildung vor allem in Paßlagen, da diese besonders stark der Windwirkung unterliegen. Die Gelideflation bildet in den unteren Höhenlagen die Grundlage für die Abtragung der Feinmaterialdecke über dem Verwitterungsdetritus und somit die Voraussetzung für die Ausbildung von Strukturböden an solchen Plätzen. Die weite Verbreitung der Gelideflationsformen in einem hochozeanischen Periglazialraum wie demjenigen der Unalaska Insel ohne jene dichte weidewirtschaftliche Beeinflussung, wie sie beispielsweise Island mit seiner extrem weiten Verbreitung der Gelideflationswirkung unter ozeanischen Klimabedingungen aufweist (vgl. FRIDRIKSSON 1963, SIGBJARNAR-

SON 1969, SCHUNKE 1975 u. a.), belegt, daß die Gelideflation sich auch ohne anthropogene Eingriffe in den Landschaftshaushalt nachhaltig bemerkbar machen kann – aus, wie bereits TROLL (1973) zusammenfassend feststellte, rein frostklimatischen Ursachen.

Auch den *nivalen Formen* kommt bei der Gestaltung des rezenten Periglazialraumes Unalaska Island eine wichtige Rolle zu. Dies gilt vor allem für die Höhenstufe der Schneeflecken ab 800–850 m ü. M., aber auch für die tiefer gelegenen Höhenstufen bis in Höhen um 600 m ü. M. hinab, in denen meist bis in den Sommer hinein saisonale Schneeflecken anzutreffen sind (vgl. Photo 5). Die saisonalen oder perennierenden Schneeflecken der Hochlagen spielen nicht allein wegen des in ihnen magazinierten Wassers eine Rolle für die Formung, sondern auch dadurch, daß im Umkreis von Schneemassen die tieferen Bodenpartien gefroren bleiben und somit als Wasserstauer fungieren. Dieser Umstand ist für die periglaziale Formung jener Bereiche von Unalaska Island von Belang, die von wasserdurchlässigen Gesteinen (Pyroklastika, Konglomerate) eingenommen werden. Nivationsformen, nämlich Nivationsnischen, Nivationswannen und kleine Kryoplanationsterrassen, finden sich in den Höhenlagen oberhalb von 600 m ü. M. zusammen mit den Erscheinungen der Kryoklastik (Frostschuttfelder, Frostschutthalden, Frostschuttkegel). Wie in den anderen Periglazialregionen läßt sich auch auf Unalaska Island an den Schneeflecken das Zusammenwirken der wasserstauenden Wirkung des Frostbodens im Umkreis von Schneeflecken mit dem subnivalen Abfluß und mit der Solifluktion vor den Schneeflecken, das zusammen mit der Frostverwitterung die Prozeßkombination der

Nivation ausmacht, beobachten. Die an Schneeflecken geknüpften geomorphologischen Prozeßkombinationen spielen auch bei der feineren Ausgestaltung der Täler von Unalaska Island eine Rolle.

Die Talformen der Insel sind dadurch gekennzeichnet, daß sie ihren Ursprung in der Regel an den Flanken der Gebirgsstöcke in Ravinen und Runsen haben, die zum Teil bis in den Sommer hinein schneegefüllt sind. Im weiteren Verlauf weisen diese Periglazialtäler, die eine Tiefe von durchschnittlich 5–15 m und eine Breite von 30–250 m besitzen, im Oberlauf zumeist Kerbform, im Mittellauf Muldenform und im Unterlauf stets Sohlentalförmigkeit auf. Schotter- und Felsterrassen treten so gut wie nicht auf. Der Talboden wurde und wird auf ganzer Breite tiefergelegt. Die Täler sind häufig abschnittsweise durch eine deutliche Asymmetrie ausgezeichnet, die in erster Linie gesteinsbedingt sein dürfte, da sich eine regelhafte Zuordnung der Steil- und Flachhänge zu bestimmten Expositionen nicht ermitteln ließ. Die Wasserführung ist teils perennierend, teils – trotz großer jährlicher Niederschlagsmengen – aber auch intermittierend. Ein wichtiges Kennzeichen sämtlicher näher untersuchter Täler sind Gefällsprünge von 1–5 m Höhe. Diese weisen die Täler als Formen aus, die noch nicht das Klimaxstadium erreicht haben. Dieses – im Gegensatz zu den Periglazialtälern anderer Periglazialregionen – noch völlig unreife Entwicklungsstadium der Periglazialtäler von Unalaska Island hat seine Begründung im wesentlichen in den bis heute andauernden tektonischen Vorgängen am Rande des tektonisch mobilen Aleuten-Grabens (vgl. DREWES et al. 1961, BEIKMAN 1980). Die tektonischen Impulse sind zusammen mit den Niederschlags- und Schnee-Verhältnissen die wesentliche Ursache für die große Dichte des Talnetzes und für die großen Taltiefen. Da für die Täler auf Unalaska Island anhand der glazialen Sedimente, in die sie im Oberlauf zum Teil eingeschnitten sind, ein postglaziales Alter nachgewiesen werden kann, muß davon ausgegangen werden, daß sie – anders als die großen Fjordtäler der Aleuten – die typisch postglaziale, mithin periglaziäre Talformung repräsentieren.

Auch die Hangformung ist wie die Talformung während der Schneeschmelze besonders stark wirksam. Die Steilhänge von Unalaska Island werden hauptsächlich von erosiver Zerschneidung geprägt. An hochgelegenen Steilhängen, in deren Kerben und Runsen bis in den Sommer hinein Schneeflecken bestehen, macht sich die Hangzerschneidung besonders deutlich bemerkbar. Eine Dominanz der aquatischen Hangformung gegenüber der solifluidalen läßt sich anhand der Geländebefunde nicht postulieren: Die Formungsareale beider Abtragungsvorgänge sind oftmals eng

Tabelle 1: Die Verbreitung der wichtigsten periglazialen Mikro- und Mesoformen auf Unalaska Island (Aleuten)

Occurrence of the main periglacial micro- and mesoforms of Unalaska Island (Aleutian Islands)

	<150 m ü.M.	150-600 m ü.M.	600-850 m ü.M.	850-1050 m ü.M.	>1050 m ü.M.
Blockfelder, Schutthalde	–	×	⊗	×	×
Pingos	–	–	–	–	–
Palsas	–	–	–	–	–
Strangmoore	–	–	–	–	–
Erdbüten (Thufur)	–	×	–	–	–
Frostspaltenmakropolygone mit Spalteneis	–	–	–	–	–
Frostspaltenmakropolygone ohne Spalteneis	–	–	–	–	–
Makrostrukturböden	–	–	×	–	–
Makrozellenböden	–	–	–	–	–
Miniatstrukturböden	×	⊗	×	×	–
Miniatzellenböden	–	×	×	–	–
amorphe Soliflukationsdecken	–	⊗	×	×	–
Soliflukationsterrassetten	–	⊗	×	×	–
Soliflukationsloben	–	⊗	×	×	–
Bremsblöcke, Wanderblöcke	–	×	–	–	–
Blockströme	–	–	×	×	–
Pflasterböden	–	×	×	⊗	–
Rasenkiffs	×	⊗	×	–	–
Steinpflaster mit Windkantern	–	×	–	–	–
Blockgletscher	–	–	–	–	–
Glatthänge	–	×	×	×	–
Tors	–	×	×	×	–
Nivations- und Kryoplanationsformen	–	–	×	⊗	–
Aquatische Formen (Sohlentäler, Ravinen, Runsen, Spülbahnen)	×	×	⊗	⊗	–
Asymmetrische Täler	–	×	×	×	–
Thermokarstformen	–	–	–	–	–

⊗ flächenhaft gehäuftes Vorkommen × vereinzeltes Vorkommen – kein Vorkommen

<150 m ü.M. Subpolares Wiesenland 850-1050 m ü.M. Nivalstufe  
150-600 m ü.M. Gebirgstundrastufe >1050 m ü.M. Glazialstufe  
600-850 m ü.M. Frostschuttstufe

miteinander verzahnt. Allerdings wurde eine Beschränkung der solifluidalen Substratversetzung auf die mittelsteilen bis flacheren Hangbereiche und auf die oberflächennahen Detrituspartien dieser Hänge konstatiert, während die aquatisch-erosive Formung bis in das anstehende Festgestein wirkt. Insgesamt sind an den Steilhängen von Unalaska Island drei Formungsbereiche zu unterscheiden: 1. der vornehmlich durch Solifluktion und zum Teil auch durch Ablation geprägte konkave Unterhang, 2. der durch erosive Zerschneidung, Stein-schlag, Rutschungen und Naßschneelawinen gestaltete Mittelhang und 3. der durch Ablation und Solifluktion gekennzeichnete konvexe Oberhang. Anstelle des zuletzt genannten Abschnittes weisen viele Steilhänge Felsformen auf, die an einer markanten Hangkante enden. Vereinzelt sind auch Glatthänge, denen ein solcher konvexer oberer Hangabschnitt oder ein von

Felsen eingemommener Oberhang fehlt, ausgebildet. Anhand der Zusammensetzung des Hangschuttes können alternierende Formungsphasen vermutet werden: Phasen mit überwiegend aquatischer und/oder solifluidaler Abtragung und Phasen mit äolischer Materialablagerung.

Hinsichtlich der periglaziären *Flächenformung* des Mesoreliefs in Gestalt von Kryopedimenten gilt für Unalaska Island, daß sie sich gegenwärtig und – nach Ausweis des Fehlens ausgedehnter Kryopedimente – auch vorzeitlich nicht reliefprägend bemerkbar macht.

Zusammengenommen ergeben die Untersuchungen des periglazialen Formenschatzes und die Kartierung seiner räumlichen Differenzierung, daß der Formungsstil des Reliefs von Unalaska Island durch das Zusammenwirken einer Vielzahl von Abtragungs- und Formungsprozessen gekennzeichnet ist. Hierbei sind Prozesse beteiligt, die direkt zu den Auswirkungen des Frostregimes gehören ebenso wie solche, die von diesem nur indirekt im Sinne einer quantitativen Modifikation beeinflusst werden. Zu den ersteren zählen die kryoklastischen, kryopedogenen, solifluidalen und nivalen Prozesse; zur Gruppe der letztgenannten gehören die gravitative Massenverlagerung, die Abspülung, die Windwirkung und die Flußerosion. Somit zeigt sich der in der Periglazialforschung im allgemeinen zu wenig berücksichtigte Sachverhalt, daß im Periglazialraum außer den klimaspezifischen frostdynamischen auch solche Abtragungs- und Formungsvorgänge Anteil an der Gestaltung des Mesoreliefs haben, die nicht unmittelbar vom Frostklima ausgelöst werden. Unter den Wirkungsbereichen der frostgesteuerten Prozesse nehmen diejenigen der solifluidalen Morphodynamik den größten Raum ein. Bei den nicht direkt von der Frostwirkung abhängigen Prozessen entfalten diejenigen der Deflation und der Abspülung die größte flächenhafte Wirkung. Als Prozeßbereiche der fluvialen Morphodynamik treten die Talböden mit den im Mündungsbereich der großen Täler ausgebildeten Akkumulationssohlen am prägnantesten in Erscheinung. Talsohlen mit Lateralerosion existieren in allen großen Tälern; in den kleinen Tälern sind sie oft nur undeutlich ausgebildet. Im Oberlauf der Täler nimmt die laterale Wirkung der fluvialen Morphodynamik zugunsten der Tiefenerosion an Deutlichkeit ab.

Es läßt sich ferner nicht übersehen, daß die kryopedogene Morphodynamik, die bekanntlich die als periglaziale Leitformen geltenden Formen der Bodenmusterung und -sortierung hervorbringt, auf Unalaska Island nur eine relativ geringe Relieffläche betrifft. Die marinen Formen außer acht gelassen, finden sich auf Unalaska Island Formen der Kryoklastik, der Solifluktion, der Bodenmusterung, der Bodenglättung, der

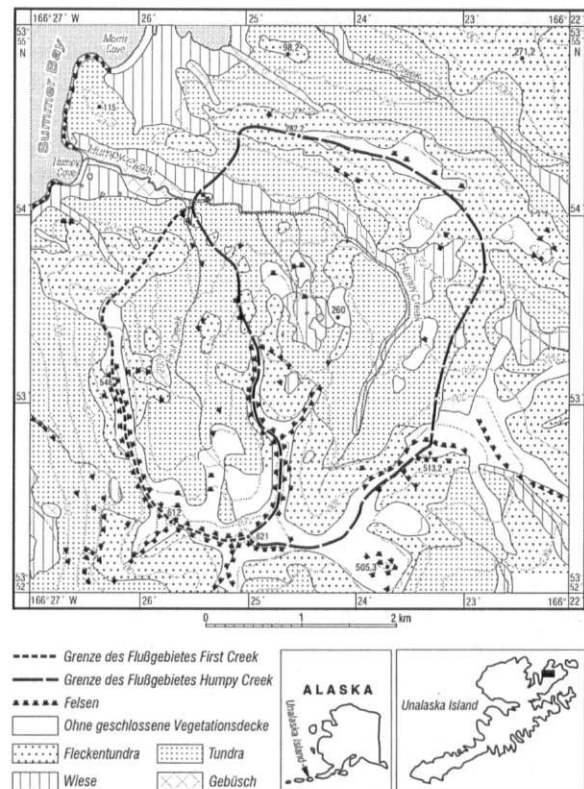


Abb. 2: Übersichtskarte: Die Flußgebiete Humpy Creek und First Creek (mit Bodenbedeckung). Unalaska Island, Aleuten

Map of Humpy Creek and First Creek catchments including vegetation cover. Unalaska Island, Aleutian Islands

Gelidefflation, der Nivation sowie Formen der Lawinen und Naßschneelawinen. Es fehlen die Formen der Strangmoore, der Palsas, der Pingos, der Frostspaltenmakropolygene, der Blockgletscher, der Kryopedimente und des Thermokarstes. Ihr Fehlen findet seine Erklärung weitgehend darin, daß die aktuellen Frostbedingungen auf den Aleuten nicht zur Ausbildung von kontinuierlichem oder diskontinuierlichem Permafrostboden führen. Die namentlich in der Fußstufe der subpolaren Wiesen relativ geringe geomorphologische Wirkung der zahlreichen Frostwechsel resultiert wahrscheinlich teils aus der geringen Eindringtiefe des Bodenfrostes, teils aus der edaphischen Ungunst des Lockermaterials sowie aus der klimatisch bedingten Geschlossenheit der Vegetationsdecke.

Weiterhin ergeben die Geländebeobachtungen hinsichtlich der periglaziären Morphodynamik eine hypsometrische Differenzierung. Hierbei lassen sich die folgenden morphodynamischen Höhenstufen unterscheiden (vgl. Tab.1):

– Die Fußstufe (subpolare Wiesen) mit fehlender oder stark retardierter kryoklastischer, kryopedogener,



solifluidaler, ablualer und gelideflatorischer Morphodynamik, jedoch mit deutlicher aquatisch-erosiver Morphodynamik, die bis in Höhen um 150 m ü. M. reicht;

- ein Stockwerk (Gebirgstundrastufe) mit kryopedogener, solifluidaler, gelideflatorischer und aquatisch-erosiver Morphodynamik, das bis in Höhen um 600 m ü. M. reicht;

- ein Stockwerk (Frostschuttstufe) mit kryoklastischer, solifluidaler, nivaler und aquatisch-erosiver Morphodynamik sowie mit retardierter kryopedogener und gelideflatorischer Morphodynamik, das bis in Höhen um 850 m ü. M. reicht;

- ein Stockwerk (Nivalstufe) mit dominanter kryoklastischer, nivaler, ablualer, aquatisch-erosiver Morphodynamik und retardierter kryopedogener, solifluidaler und gelideflatorischer Morphodynamik, das bis in Höhen um 1050 m ü. M. reicht und

- ein Stockwerk (Glazialstufe) der glaziären und glazialfluvialen Morphodynamik, das oberhalb von 1050 m ü. M. einsetzt.

Um einen genaueren Einblick in die Bedingungen der Reliefformung auf Unalaska Island zu erlangen, ist die quantitative Erfassung relevanter mikroklimatischer und hydrologischer Größen erforderlich. Auf die Ergebnisse solcher Messungen während der Geländearbeit wird im folgenden eingegangen.

### 3 Die Formungsbedingungen im periglazialen Milieu von Unalaska Island

Für die mikroklimatischen und hydrologischen Messungen im Gelände wurden zwei für Unalaska Island typische kleine Flußgebiete ausgewählt (Benennung dieser namenlosen Fließgewässer durch den Verfasser): 1. das Flußgebiet des Humpy Creek (8,8 km<sup>2</sup>) und 2. das Flußgebiet des First Creek (4 km<sup>2</sup>) (vgl. Abb. 2). Hier wurden gemessen: die Klimaelemente Einstrahlung (Globalstrahlung), Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Bodenoberflächen-Temperatur, Bodentemperatur bis 1 m Tiefe, Niederschlag sowie die hydrologischen Größen Fließgeschwindigkeit, Abflußmenge, Lösungsfracht und Suspensionsfracht. Zur instrumentellen Erfassung der genannten Parameter wurden nahe der Zusammenführung der beiden Fließgewässer insgesamt 8 Meßplätze installiert, wobei diese Lokalitäten so gewählt wurden, daß sie zum einen Unterschieden der Vegetationsdecke sowie zum anderen Unterschieden der Exposition gegenüber der Einstrahlung Rechnung tragen. Hierunter befand sich ein Meßplatz von 1,5 mal 1,5 m Fläche, auf dem die 18 cm hohe Vegetationsdecke und die obersten 10 cm der Rhizosphäre entfernt wurden, um zu Vergleichszwecken

auch die Bodentemperaturen ohne die isolierende Vegetationsdecke zu erfassen.

Die Messungen wurden als Terminbeobachtungen vorgenommen. Die kontinuierlichen Datenreihen umfassen die Zeiträume vom 21. Juli bis 13. September 1996 und vom 20. Juli bis zum 12. September 1997. Außer den durch die eigenen Feldarbeiten gewonnenen Klima- und Abflußdaten werden in die Auswertung einbezogen: 1. Klimadaten der Stationen Dutch Harbor, Shemya und Cold Bay in SW-Alaska, die vom Alaska State Climate Center (Anchorage) stammen und 2. Abflußdaten von fünf Flußgebieten in SW-Alaska (Kodiak-Region, Kuskokwim-Region, Adak Island), welche die U.S. Geological Survey Water Resources Division (Fairbanks) zur Verfügung stellte.

Die Lufttemperatur, die keine signifikante Beeinflussung durch den Gang der Einstrahlung erkennen läßt, sondern sich vornehmlich aus dem Luftmassenwechsel ergibt (vgl. Abb. 3), ist in den Meßperioden durch einen relativ ausgeglichenen Gang und durch geringe mittlere Tagesschwankungen von 3–5°C gekennzeichnet. Die maximalen Tagesschwankungen betragen an Strahlungstagen 13°C und an Bewölkungstagen 5°C. Hieraus ergibt sich erwartungsgemäß ein stark ozeanisch getöntes Thermoklima, was für die Beurteilung des Bodenfrostklimas von Belang ist.

Gleichfalls nur geringe tägliche Temperaturschwankungen verzeichnet die Bodenoberfläche, deren Temperaturen, anders als die Lufttemperatur, signifikant dem Strahlungsgang folgen (vgl. Abb. 3). Hier werden in der Vegetationsdecke tägliche Temperaturschwankungen von 0,8–4,4°C verzeichnet, an der nackten Bodenoberfläche solche von 8,7–13,4°C. Auch die Temperaturen im Boden unterliegen nur geringen Tagesschwankungen von durchschnittlich 0,8°C ( $\pm 0,7^\circ\text{C}$ ), maximal 4,1°C, in 10 cm Bodentiefe unter Vegetationsbedeckung und von durchschnittlich 1,6°C ( $\pm 1,3^\circ\text{C}$ ), maximal 5,2°C, in 10 cm Bodentiefe ohne Vegetationsdecke. Unter Vegetation macht sich der Tagesgang der Temperatur bis in 30 cm Tiefe (0,1°C) bemerkbar, im vegetationsfreien Substrat hingegen bis 40 cm Tiefe (0,1°C). In den tieferen Bodenschichten verläuft der Gang der Bodentemperatur ohne regelmäßige Tagesschwankungen. Aus dem Vergleich der Temperaturreihen im Boden mit und ohne Vegetationsdecke zeichnet sich der Einfluß der Vegetationsdecke auf den morphodynamisch relevanten Gang der Bodentemperaturen ab. Da nach den vorgenommenen Messungen die kurzfristigen Wärmewellen der bodennahen Luftschicht nur bis in eine relativ geringe Bodentiefe eindringen, kann davon ausgegangen werden, daß auch die Kältewellen nur einen geringen Tiefgang haben. Dies bedeutet für die Morphodynamik im sub-

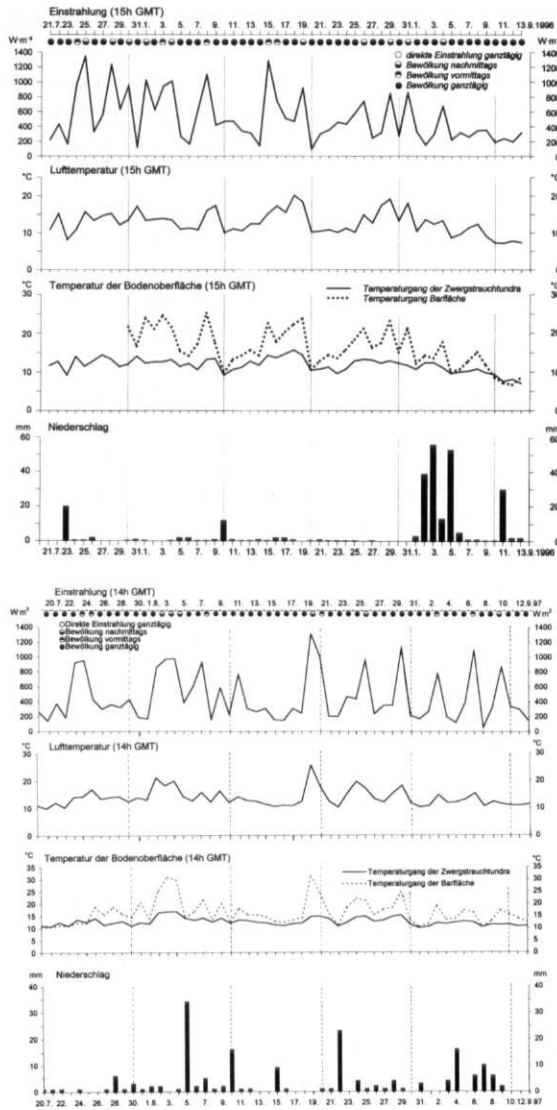


Abb. 3: Gang ausgewählter mikroklimatischer Parameter im Flußgebiet des Humpy Creek im Sommer 1996 (oben) und 1997 (unten). Unalaska Island, Aleuten

Curves of selected microclimatic parameters, summer 1996 (above) and 1997 (below), Humpy Creek catchment. Unalaska Island, Aleutian Islands

polaren Wiesenland eine nur geringe kryopedogene Tiefenwirkung. Im übrigen ergaben auch die oben angesprochenen Grabungen, daß die krypturbate Deformation von Tephralagen nur bis in Bodentiefen von 20–30 cm reicht.

Auskunft über das Frostklima geben die langfristigen Messungen der Station Dutch Harbor (7 m ü. M.). Hier wurden im Mittel (1990–1997) 113 Frostwechseltage und 21 Eistage pro Jahr verzeichnet, bei einer Kältesumme von nur 153 °C (vgl. Abb. 4). Auch hieraus läßt

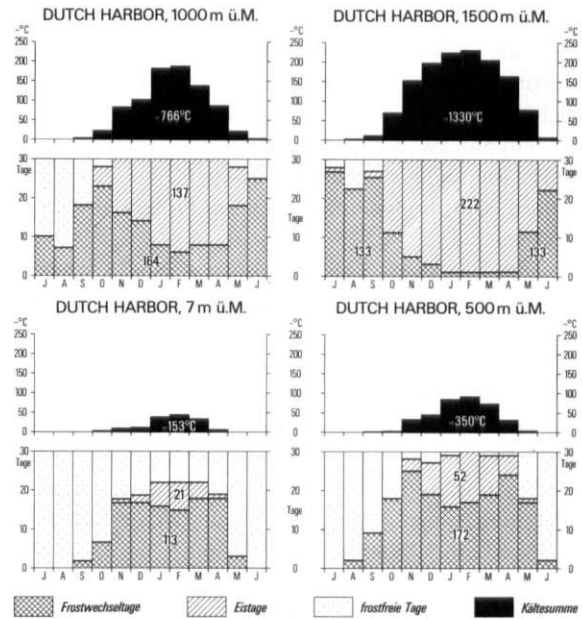


Abb. 4: Die Verteilung der Frostwechsel- und Eistage und der Kältesumme in Dutch Harbor in der Periode 1990–1997 in 7 m, 500 m, 1000 m und 1500 m ü. M. Unalaska Island, Aleuten

Number of days with freeze-thaw cycles and of freezing degree-days in Dutch Harbor, period 1990–1997, altitudes 7 m, 500 m, 1000 m and 1500 m a.s.l. Unalaska Island, Aleutian Islands

sich für das Bodenfrostklima der subpolaren Wiesen von Unalaska Island auf einen geringen Tiefengang des Frostes mit zahlreichen Frostwechseln, jedoch geringer Andauer des Bodenfrostes schließen. Unter Zugrundelegung eines Höhengradienten von 0,6°C/100 m vorgenommene Berechnungen der frostklimatischen Kennzahlen von Dutch Harbor für verschiedene Höhenlagen zeigen, daß bereits in 500 m Höhe ü. M. die Frostwechsel- und Eistage sowie die Kältesumme deutlich zunehmen (vgl. Abb. 4). In 1500 m Höhe ü. M. dann stehen pro Jahr 133 Frostwechseltagen 222 Eistage gegenüber, wobei sich die Kältesumme auf 1330 °C beläuft. Für die periglaziäre Morphodynamik relevant ist hierbei auch, daß mit zunehmender Höhe die Frostwechseltage auf die Übergangsjahreszeiten begrenzt bleiben, während die Wintermonate von ununterbrochenem Frost beherrscht werden. Diese deutliche Verschärfung des Frostregimes mit der Höhe begründet die festgestellte morphodynamische Höhenstufung.

In bezug auf die Niederschlagsverhältnisse ergaben die Messungen, daß während der beiden Untersuchungszeiträume nur wenige Tage ohne meßbaren Niederschlag blieben (vgl. Abb. 3). Insgesamt wurden

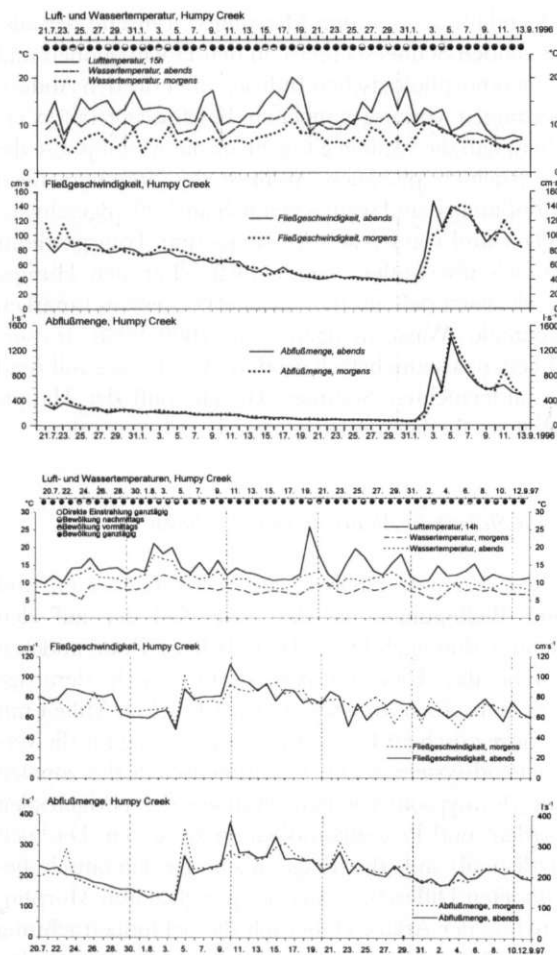


Abb. 5: Abflußmenge und Fließgeschwindigkeit des Humpy Creek im Sommer 1996 (oben) und 1997 (unten). Unalaska Island, Aleuten

Discharge and run-off velocity of Humpy Creek, summer 1996 (above) and 1997 (below). Unalaska Island, Aleutian Islands

im Meßzeitraum 1996 vier und im Meßzeitraum 1997 sechs markante Niederschlagsphasen verzeichnet. Die Tageswerte des Niederschlages betragen bis zu 56 mm. Hierbei wurden Niederschlagsintensitäten von 20 mm/h gemessen.

Die weiteren Untersuchungen über die hydrologischen Grundlagen der Morphodynamik auf Unalaska Island galten der Abflußmenge, der Fließgeschwindigkeit, der Suspensions- und Lösungsfracht und wurden kontinuierlich an den beiden Fließgewässern Humpy Creek und First Creek vorgenommen, außerdem stichprobenartig an vier benachbarten Fließgewässern. Da die Meßergebnisse der beiden Flüsse sich wenig unterscheiden, werden hier nur diejenigen vom Humpy Creek vorgestellt.

Bei der Aufnahme der Messungen am 21.7.1996 bzw. am 20.7.1997 waren die Gewässer in der Endphase des nivalen Abflusses im wesentlichen gesteuert durch das Abschmelzen des Restschnees auf den höher gelegenen Relieftteilen. Hierbei waren anfänglich Abflußmenge und Fließgeschwindigkeit am Abend größer als am Morgen – ein Indiz für die noch vorhandene nivale Beeinflussung des Abflußganges. Die beiden gemessenen Abflußgänge der Sommer 1996 und 1997 unterscheiden sich deutlich (vgl. Abb. 5): Im relativ trockenen Sommer 1996 sank die Abflußmenge nach der Schneeschmelze kontinuierlich bis auf Werte unter 100 l/s (Fließgeschwindigkeit: 0,5 m/s) ab, bevor dann mehrtägige Regenfälle von 169 mm (2.–6.9.1996) innerhalb von 3 Stunden Abflußmenge und Fließgeschwindigkeit auf Spitzenwerte von 1537 l/s bzw. 1,49 m/s brachten. Im Sommer 1997 mit größerer Häufigkeit, gleichmäßigerer Verteilung und kürzerer Andauer der Niederschlagsereignisse zeigt der Abfluß zwar viel häufigere, aber in ihrem Ausmaß geringere Schwankungen mit Spitzenwerten von 375 l/s bzw. 1,17 m/s (10.8.1997). Zudem lag der sommerliche Basisabfluß im trockenen Jahr 1996 mit Abflußmengen von unter 100 l/s und Fließgeschwindigkeiten um 0,5 m/s unter dem des Sommers 1997 mit Werten von 140 l/s bzw. 0,7 m/s.

Die Abflußgänge des benachbarten First Creek verhielten sich in den Meßperioden 1996 und 1997 ähnlich wie die des Humpy Creek, wobei die Abflußmengen ebenso wie die Fließgeschwindigkeiten geringer als die des Humpy Creek waren.

Für die Beurteilung der fluvialen Morphodynamik ergibt sich aus den Meßergebnissen, daß der sommerliche Basisabfluß häufig von pluvialen Abflußspitzen unterbrochen wird. Dies belegen im übrigen auch die oben angesprochenen langfristigen Abflußdaten von verschiedenen Flußgebieten der Kodiak-Region, der Kuskokwim-Region sowie von Adak Island in SW-Alaska. Aus dem regelmäßigen und häufigen Auftreten von pluvialen Spitzenabflüssen ergibt sich die Frage nach deren Wirksamkeit für den fluvialen Austrag.

Sämtliche untersuchten Fließgewässer, sowohl die beiden kontinuierlich beprobten als auch die nur stichprobenartig nach herausragenden Pluvialereignissen gemessenen, zeigen nach den Regenfällen keine nennenswerte Zunahme der Suspensionsfracht. Im Humpy Creek wurden im Sommer 1996 Konzentrationen der Suspensionsfracht von 8–43 mg/l und im Sommer 1997 solche von 7–18 mg/l registriert. Die Konzentrationen der Lösungsfracht weisen gleichfalls kaum nennenswerte Schwankungen auf. Sie betragen im Sommer 1996 28–66 mg/l und im Sommer 1997 45–57 mg/l, wobei der größte Anteil auf die Karbo-



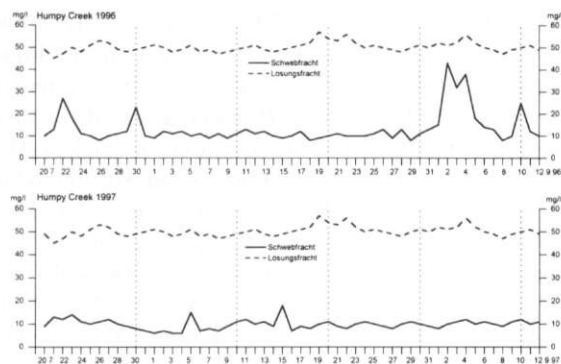


Abb. 6: Fluvialer Suspensions- und Lösungstransport im Humpy Creek im Sommer 1996 (oben) und 1997 (unten). Unalaska Island, Aleuten

Suspended and dissolved load of Humpy Creek, summer 1996 (above) and 1997 (below). Unalaska Island, Aleutian Islands.

nat-Fracht entfällt (vgl. Abb. 6). Selbst während des herausragenden Pluvialereignisses am 2.–6.9.1996, das Fließgeschwindigkeiten von 1,49 m/s und Abflußmengen von über 1500 l/s nach sich zog, erfolgte mit einer Erhöhung der Suspensionsfracht auf 43 mg/l keine nennenswerte Verstärkung des fluvialen Austrags. Zudem gab es trotz der größeren Fließgeschwindigkeiten keinen Grundfrachttransport. Ganz ähnliche Ergebnisse erbrachten die Untersuchungen am First Creek. Der gesamte Austrag an Suspension im Humpy Creek beträgt nach überschlägigen Berechnungen aus den oben angeführten Meßergebnissen im Sommer 1997 10 t. Dies entspricht einem Austrag von 1,2 g/m<sup>2</sup> (1996: 2,8 g/m<sup>2</sup>). In bezug auf die Lösungsfracht ergibt sich für den Meßzeitraum 1997 ein fluvialer Austrag von 6 g/m<sup>2</sup> (1996: 8 g/m<sup>2</sup>). Zusammengenommen belegen diese Daten im Vergleich zu den aus anderen Periglazialräumen vorgelegten Daten (vgl. u. a. ARNBORG et al. 1966, FLÜGEL 1981, SCHUNKE 1981, 1985, CLARK 1988, KIEL 1989, BARSCH et al. 1992), daß die pluvial gesteuerte fluviale Abtragung im hochozeanischen Klimaraum Unalaska Island trotz markanter Pluvialereignisse nur relativ geringe Werte erreicht. Angesichts der relativ großen Dimensionen der postglazialen Täler auf Unalaska Island bedeutet dies, daß den fluvialen Massentransport vor allem der nival gesteuerte Abfluß besorgen dürfte. Hieraus ergibt sich dann auch die Schlußfolgerung, daß es sich bei den Tälern hinsichtlich der Formung im wesentlichen um periglaziale Täler handelt.

Über den Verlauf der Schneeschmelze in den Hochlagen von Unalaska Island und ihre Auswirkungen auf die fluvialen Prozesse können anhand der vorliegenden Messungen keine präzisen Aussagen gemacht werden.

Jedoch läßt sich aus den Messungen während der ausklingenden Schneeschmelze in den Hochregionen und aus geomorphologischen Indizien über die den Abflußmessungen vorausgegangenen Hochwasserstände ersehen, daß die vorangegangene nivale Abflußphase die untersuchten pluvialen Abflüsse des Sommers nach Abflußmenge und wahrscheinlich auch Fließgeschwindigkeit und somit nach Erosions- und Transportkraft deutlich übertroffen haben dürfte. Für den Humpy Creek lassen sich aus den nivalen Wasserstandsmarken maximale Wassermengen von 7000–9000 l/s erschließen, also mehrfach größere Abflüsse als während der untersuchten Sommer. Diesen muß der Hauptanteil am fluvialen Austrag zugeschrieben werden.

#### 1 Die Stellung der Aleuten im Periglazialraum

Die regionale Analyse der Periglazialformen und ihrer Bedingungen ist das erste Ziel der auf den Aleuten durchgeführten Feldarbeiten. Zum anderen besteht das Forschungsziel darin, durch derartige Regionalstudien im arktisch/subarktischen Milieu mit hochozeanischem Frostklima einen Beitrag für die vergleichend-systematische Zusammenschau des zonalen (und des hypsometrischen) Wandels der periglazialen Formen- und Prozeßkombination zu leisten. Das zielt letztlich ab auf die Frage nach der klimatisch begründeten Differenzierung der periglaziären Morphodynamik der Arktis. Daher gilt die Schlußbetrachtung dieser Arbeit der zusammenfassend-überregionalen Bewertung der dargelegten Forschungsergebnisse auf Unalaska Island. Die nachfolgend vorgenommenen frostklimatischen Kennzeichnungen beruhen auf der Bearbeitung von langfristigen Daten, die die Meteorologischen Dienste Kanadas, Alaskas, Dänemarks, Islands und Norwegens zur Verfügung gestellt haben. Die Angaben zur Formenausstattung der amerikanischen und europäischen Arktis resultieren aus eigenen Feldforschungen in diesen Regionen.

Das Klima der amerikanisch-europäischen Arktis ist bekanntlich als ein polwärts und darüber hinaus in den verschiedenen Teilgebieten jeweils von Südwesten nach Nordosten an Schärfe der Ausprägung zunehmendes thermisches Jahreszeitenklima ausgewiesen, dessen räumliche Abwandlung bei relativ wenig veränderten Mitteltemperaturen des wärmsten Monats von 0°C bis 10°C vornehmlich durch die Variabilität der winterlichen Monatsmitteltemperaturen von 0°C bis –30°C bewirkt wird. Mit der Verschärfung des Frostregimes geht in der Regel eine Abnahme der jährlichen Niederschläge von rund 1500–2000 mm in der Randarktis bis auf unter 100 mm in der Hocharktis

Tabelle 2: Wichtige klimatische Parameter für Periglazialregionen unterschiedlicher Kontinentalität/Ozeanität in der amerikanisch-europäischen Arktis

Selected climatic parameters of periglacial regions with variable continentality/oceanity in the American and European Arctic

	Comwallis Island (Resolute)	Arctic Slope (Barter L. Prudhoe Bay)	Ost-Grönland (Scoresbysund)	Brooks Range (Aligun Pass)	Richardson Mts. (Fort McPherson)	Zentral-Island (Hveravellir)	Südost-Grönland (Angmagssalik)	Nord-Lapland (Vardø)	Süd-Grönland (Narsarsuaq)	Aleuten (Dutch Harbor)
Mittel-T. wärmster Monat (°C)	4	7	3	9	15	7	6	10	10	10
Mittel-T. kältester Monat (°C)	-34	-30	-18	-21	-30	-7	-8	-5	-6	-1
Kältesumme (-°C-d)	6200	5000	3100	3500	4400	1200	1400	700	1000	150
Wärmesumme (°C-d)	300	600	250	800	1400	800	700	1200	1500	1800
Frostwechseltage (d)	40	60	95	55	50	110	90	55	90	115
Eistage (d)	270	250	230	245	250	130	150	130	90	20
Niederschlag (mm)	140	200	470	370	340	750	770	600	600	1550
Schneeanteil (%)	58	65	78	55	66	71	55	55	50	12

einher. Für die frostdynamische Kennzeichnung dieses Periglazialraumes sind die Größen Kältesumme, Wärmesumme, Frostintensität, Anzahl der Frostwechseltage, Anzahl der Eistage, Andauer und Mächtigkeit der Schneedecke ausschlaggebend. An ihnen zeigt sich für die hier zum Vergleich herangezogenen Untersuchungsgebiete in Nord-Kanada, Nord-Alaska, Ost-Grönland, Nordwest-Kanada, Zentral-Island, Südost-Grönland, Nord-Lapland und Süd-Grönland zum einen die Abnahme der Schärfe des Frostregimes von den hochkontinentalen zu den hochozeanischen Periglazialregionen und zum anderen, daß der Untersuchungsraum der Aleuten unter den angeführten Regionen das am schwächsten ausgeprägte Frostregime aufweist (vgl. Tab. 2).

Um die räumliche Differenzierung des periglazialen Formenschatzes und seiner Morphodynamik in ihren Grundzügen zu skizzieren, wird die Verbreitung der wichtigsten Periglazialerscheinungen in den hier verglichenen Periglazialregionen der besseren Übersicht wegen in Tabellenform zusammengestellt, und zwar geordnet nach der oben benannten Schärfe des Frostregimes (vgl. Tab. 3). Andere Faktoren, wie beispielsweise petrographische und edaphische, müssen hier unberücksichtigt bleiben. Wie aus dieser zonalen Verbreitungsanalyse der Einzelformen hervorgeht, lassen von den „periglazialen Leitformen“ – den Formen der Bodenmusterung und des Bodenfließens – namentlich die Pingos und die Frostspaltenmakropolygone mit

Tabelle 3: Die Verbreitung der wichtigsten periglazialen Mikro- und Mesoformen in Periglazialregionen unterschiedlicher Kontinentalität/Ozeanität in der amerikanisch-europäischen Arktis unter zonalen Gesichtspunkten (Unalaska Island: <250 m ü.M.)

Occurrence of the main periglacial micro- and mesoforms in periglacial regions with variable continentality/oceanity in the American and European Arctic (Unalaska Island: <250 m a.s.l.)

	Comwallis Island (Nord-Kanada)	Arctic Slope (Nord-Alaska)	Ost-Grönland	Brooks Range (Nord-Alaska)	Richardson Mts. (Nordwest-Kanada)	Zentral-Island	Südost-Grönland	Nord-Lapland	Süd-Grönland	Unalaska Island (Südwest-Alaska)
Blockfelder, Schutthalde	⊗	–	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	–
Pingos	–	⊗	⊗	×	×	–	–	–	–	–
Palsas	×	×	×	×	×	×	–	⊗	–	–
Strangmoore	–	×	–	–	×	–	–	⊗	–	–
Erdbüten (Thufur)	×	×	×	×	×	⊗	×	⊗	–	×
Frostspaltenmakropolygone mit Spalteneis	⊗	⊗	⊗	×	×	–	–	–	–	–
Frostspaltenmakropolygone ohne Spalteneis	–	–	×	–	–	⊗	–	×	–	–
Makrostrukturböden	⊗	×	⊗	×	×	⊗	×	×	×	–
Makrozellenböden	×	×	×	–	–	×	×	×	×	–
Miniaturstrukturböden	⊗	×	×	×	×	⊗	⊗	⊗	⊗	×
Miniaturzellenböden	×	×	×	×	×	×	×	×	×	–
amorphe Solifluktsdecken	⊗	×	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	×	×	–
Soliflukts Terrassetten	⊗	×	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	×	×	×
Solifluktsloben	⊗	×	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	×	×	×
Brennsblöcke, Wanderblöcke	×	–	×	×	×	×	×	×	×	–
Blockströme	×	–	×	×	×	×	×	×	×	–
Pflasterböden	×	–	⊗	×	×	×	×	×	⊗	–
Rasenkülfis	×	–	×	–	–	⊗	×	–	×	×
Steinpflaster mit Windkantern	⊗	–	×	–	–	⊗	×	–	×	–
Blockgletscher	×	–	×	⊗	–	×	×	×	–	–
Glatthänge	–	–	×	×	×	×	×	×	–	–
Tors	×	–	⊗	×	×	×	×	×	–	–
Nivations- und Kryoplanationsformen	⊗	×	⊗	⊗	×	⊗	⊗	⊗	⊗	–
Aquatische Formen (Sohlentäler, Ravinen, Runsen, Spülbahnen)	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	×	×	×	×
Asymmetrische Täler	×	×	×	×	×	–	–	–	–	–
Thermokarstformen	×	⊗	×	×	⊗	×	–	–	–	–

⊗ flächenhaft gehäuftes Vorkommen    × vereinzeltes Vorkommen    – kein Vorkommen

Spalteneis eine Beschränkung auf die kontinentalen bis hochkontinentalen Klimagebiete erkennen. Alle anderen periglazialen Leitformen der Bodenmusterung und des Bodenfließens treten in fast sämtlichen hier angeführten periglazialen Großräumen auf. Dabei ist zum äquatorwärtigen Randbereich der Arktis hin, insbesondere im hochozeanischen Einflußbereich (Aleuten, Tiefland Islands) eine deutliche Verarmung des Formeninventars sowie eine Verringerung der periglazialen Formungsintensität festzustellen. Diese Verarmung des Formeninventars geht einher mit einer Abnahme der Dimension der periglazialen Leitformen. So werden in der ozeanisch geprägten Rand- und Subarktis die Kleinformen der Bodenmusterung dominant

Tabelle 4: Wichtige frostklimatische Parameter auf Island und den Aleuten

Selected frost-climatic parameters of Iceland and the Aleutian Islands

	ISLAND				ALEUTEN		
	Hochland (>250 m ü.M.)		Tiefland (<250 m ü.M.)		Tiefland (<250 m ü.M.)		
	Zentral Hv.	Marginal Grst.	Süd Vm.	Nord Mnbk.	West Sh.	Zentral D.H.	Ost C.B.
Jahresmittel-Temperatur (°C)	-1,2	0,1	4,8	2,6	3,6	4,0	3,2
Mitteltemperatur des kältesten Monats (°C)	-6,9	-5,8	1,5	-1,9	-0,7	-1,1	-2,3
Mitteltemperatur des wärmsten Monats (°C)	6,8	8,3	9,6	9,0	9,8	10,1	10,7
Absolute Minimum-Temperatur (°C)	-30,4	-30,0	-16,9	-22,9	-8,8	-17,8	-22,8
Zahl der Tage mit Mitteltemperatur unter 0°C (d)	190	161	49	117	48	55	74
Zahl der Tage mit Mitteltemperatur unter -10°C (d)	40	35	1	6	0	1	3
Kältesumme (-°C·d)	1175	992	152	472	139	153	198
Wärmesumme (°C·d)	765	1080	1895	1415	1779	1829	1941
Frostwechsellage (d)	108	99	65	92	94	113	126
Eistage (d)	130	115	21	70	31	21	56
Frostintensität (-°C·d <sup>-1</sup> )	6,2	6,1	2,8	3,7	2,3	2,8	3,5
Mittlerer Jahresniederschlag (mm)	748	347	1635	548	1693	1564	871
Schneeanteil am Jahresniederschlag (%)	71	65	33	55	22	12	14
Anzahl der Tage mit vollständiger Schneebedeckung des Bodens (d)	192	176	11	95	41	29	36
Maximale Schneedeckenhöhe im Jahr (cm)	87,7	39,6	11,6	28,1	35	23	26

Hv. Hveravellir (642 m ü.M.)

Grst. Grimsstadir (384 m ü.M.)

C.B. Cold Bay (32 m ü.M.)

Vm. Vestmannaeyjar (118 m ü.M.)

Mnbk. Mánárbaeki (17 m ü.M.)

D.H. Dutch Harbor (7 m ü.M.)

Sh. Shemya (29 m ü.M.)

gegenüber den Großformen, die im kontinentalen Periglazialklima vorherrschen.

Ausgehend vom Kriterium der flächenhaft-gehäuften Formenverbreitung und der Dominanz bestimmter Formen lassen sich verschiedene Formengemeinschaften ausmachen, die Unterschiede in der Schärfe und im Ozeanitätsgrad bzw. Kontinentalitätsgrad des Frostregimes widerspiegeln: In der Randarktis dominiert im frostwechselreichen ozeanischen Frostklima – im Tiefland von Island und auf den Aleuten – die Formengemeinschaft der kleindimensionierten Struktur-, Zellen- und Büldenböden, begleitet von Formen der Gelideflation. In der mehr kontinental geprägten Arktis – Nord-Lapland, Südost-Grönland und Zentral-Island – wird diese Formengemeinschaft mit zunehmender Verschärfung der Frostregimes durch die der Makrostrukturböden und der ungebundenen und halbgebundenen Solifluktion ersetzt, zu der zunehmend Frostspaltenmakropolygone ohne Spalteneis hinzutreten. Im kontinentalen Kernraum der arktischen Periglazialzone – Nordwest-Kanada, Ost-Grönland und Nord-Alaska – erweitert sich das Formenspektrum durch das Auftreten von Pingos und Frostspaltenmakropolygonen mit Spalteneis. Im hochkontinentalen, z. T. ariden

Frostklima der Hocharktis – Nord-Kanada und Nord-Grönland – treten Strukturböden und Solifluktionsformen zurück zugunsten von Formen der Kryoklastik und der Windwirkung. (vgl. FRISTRUP 1953, DAVIES 1961, MALAURIE 1968 u. a.).

Die Stellung der Aleuten im Periglazialraum, speziell im ozeanisch bis hochozeanisch geprägten Periglazialraum, läßt sich detaillierter verdeutlichen durch einen Vergleich mit dem Periglazialgebiet Island (vgl. Tab. 4). Dieser dokumentiert zunächst, daß die frostklimatische Ausstattung der Aleuten sich dergestalt ändert, daß zum Beispiel die Schärfe des Frostregimes, repräsentiert u. a. durch die Kältesumme, von Osten (Cold Bay) nach Westen (Shemya) abnimmt. Ferner zeigt sich, daß die Aleuten hinsichtlich der Ausprägung des Frostregimes dem Tiefland Süd-Islands nahe stehen, das innerhalb Islands die größte Ozeanität aufweist. Auch hinsichtlich der Formenausstattung gleicht der zonale Periglazialraum der Aleuten demjenigen Süd-Islands (vgl. hierzu PRIESNITZ u. SCHUNKE 1983, Abb. 6): Der hypsometrische Wandel der Formenausstattung und der Morphodynamik auf den Aleuten entspricht am ehesten dem der randlichen Hochlagen Islands, in denen das Frostregime wegen des ozeanischen Einflusses noch nicht jene Schärfe und Intensität aufweist wie im flächenhaften Hochland Zentral-Islands mit seinem schon relativ stark kontinental getönten Frostklima.

Die sich aus der hier mit der gebotenen Kürze vorgenommenen Einordnung des Periglazialraumes der Aleuten abzeichnende großräumige Differenzierung der periglazialen Leitformen der arktischen Periglazialzone zeigt zusammengefaßt, daß im Bereich ozeanisch getönten Frostklimas, wie es auf den Aleuten vorliegt, 1. die Vielfalt der klassischen Kennformen der periglazialen Morphodynamik gegenüber der Formenausstattung der kontinentalen Periglazialräume signifikant geringer ist und 2. die jeweiligen Periglazialerscheinungen, namentlich die der Bodenmusterung, in geringerer Häufigkeit, Dichte und Größe ausgebildet sind. Was die rezente Morphodynamik des Mesoreliefs unter ozeanischen Bedingungen angeht, so muß die fluviale Formung, die als ein wichtiger Anhaltspunkt für deren Bewertung gilt, trotz der durch die häufigen Pluvialereignisse induzierten Steigerung der Abflußmenge und der Fließgeschwindigkeit und somit der potentiellen Erosionskraft der Fließgewässer im wesentlichen dem nivalen Abflußgeschehen zugeschrieben werden. Hierbei entfaltet die fluviale Abtragung auch ohne das Vorhandensein von Permafrostboden, der verschiedentlich als eine essentielle Voraussetzung für die periglaziale Talbildung angesehen wird (vgl. BUDEL 1963), eine große reliefprägende Wirkung.



## Literatur

- ARNBORG, L., WALKER, H. J. a. PEIPPO, J. (1967): Suspended load in the Colville River. *Geogr. Annaler* 49A, 131–144.
- BARSCHE, D., GUDE, M., MAUSBACHER, R., SCHUKRAFT, G. u. SCHULTE, A. (1992): Untersuchungen zur aktuellen fluvialen Dynamik im Bereich des Liefdefjorden in NW-Spitzbergen. *Stuttgarter Geogr. Stud.* 117, 217–252.
- BEIKMAN, H. (1980): *Geologic Map of Alaska*. Reston (VA).
- BÜDEL, J. (1963): Klima-genetische Geomorphologie. *Geogr. Rundsch.* 15, 269–285.
- CASAGRANDE, A. (1934): Bodenuntersuchungen im Dienste des neuzeitlichen Straßenbaus. *Der Straßenbau* 25, 25–28.
- CLARK, M. (1998): Periglacial hydrology. In: CLARK, M. (Ed.): *Advances in Periglacial Geomorphology*, Chichester, 415–473.
- DAVIES, W. (1961): Surface features of permafrost in arid areas. *Folia Geogr. Danica* 9, 48–54.
- DREWES, H., FRASER, G., SNYDER, G. a. BARNETT, H. (1961): *Geology of Unalaska Island and adjacent insular shelf, Aleutian Island, Alaska*. U.S. Geol. Surv. Bull. 1028-S, 583–676.
- FLÜGEL, W. (1981): Hydrologische Studien zum Wasserhaushalt hocharktischer Einzugsgebiete im Bereich des Oobloyah-Tales, N-Ellesmere Island, N.W.T., Kanada. *Heidelberger Geogr. Arb.* 69, 311–382.
- FRIDRIKSSON, S. (1963): *Thaettir úr gróðursögu hálandisins sunan jökla* (engl. Zus.: On the vegetation of the highland). *Náttúrufræðingurinn* 33, 1–8.
- FRISTRUP, B. (1953): Winderosion within the Arctic desert. *Geogr. Tidsskrift* 52, 51–65.
- KIEL, A. (1989): Untersuchungen zum Abflußverhalten und fluvialen Feststofftransport der Jökulsá Vestri und Jökulsá Eystrí, Zentral-Inland. *Göttinger Geogr. Abh.* 85.
- LÖFFLER, E. (1983): Macquarie Island – eine vom Wind geprägte Naturlandschaft in der Sub-Antarktis. *Polarforschung* 53, 59–74.
- LÖFFLER, E., SULLIVAN, M. a. GILLISON, A. (1983): Periglacial landforms on Macquarie Island, Subantarctic. *Z. f. Geomorph.* N.F. 27, 223–236.
- MALAUURIE, J. (1968): *Thèmes de recherche géomorphologique dans le Nord-Ouest du Groenland*. Paris.
- PASSARGE, S. (1921): *Vergleichende Landschaftskunde*, H. 2: Kältewüste und Kältesteppe. Berlin.
- PRIESNITZ, K. a. SCHUNKE, E. (1983): The significance of periglacial phenomena in Iceland. *Polarforschung* 53, 9–19.
- SCHMITHÜSEN, J. (1959): *Allgemeine Vegetationsgeographie*. Berlin.
- SCHUNKE, E. (1975): Die Periglazialerscheinungen Islands in Abhängigkeit von Klima und Substrat. *Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl.*, 3. F., 30. Göttingen.
- (1981): Abfluß und Sedimenttransport im periglazialen Milieu Zentral-Inlands als Faktoren der Talformung. *Die Erde* 112, 197–215.
- (1985): Sedimenttransport und fluviale Abtragung der Jökulsá á Fjöllum im periglazialen Zentral-Inlands. *Erdkunde* 39, 197–205.
- SIGBJARNASON, G. (1969): Áfök og uppblástur (engl. Zus.: The loessial soil formation and soil erosion on Haukadalsheidi). *Náttúrufræðingurinn* 39, 68–118.
- TROLL, C. (1973): Rasenabschälung (turf exfoliation) als periglaziales Phänomen der subpolaren Zonen und der Hochgebirge. *Z. f. Geomorph.*, Suppl.-Bd. 17, 1–32.
- WASHBURN, A. L. (1951): *Geography and Arctic lands*. In: TAYLOR, G. (Ed.): *Geography in the Twentieth Century*. New York, 269–271.

## SIMULATING THE LONG-TERM LABOUR MARKET EFFECTS OF AN INDUSTRIAL INVESTMENT

A microsimulation approach

With 4 figures and 3 tables

URBAN LINDGREN

*Zusammenfassung:* Simulation langfristiger Arbeitsmarkteffekte einer industriellen Investition – Ein Mikrosimulationsansatz

Ziel der Studie ist es, die langfristigen Auswirkungen der Investition eines Unternehmens der Holz- und Papierindustrie auf den regionalen Arbeitsmarkt und seine sektorale Gliederung zu untersuchen. Zu Beginn der 90er Jahre führte ein schwedisches Unternehmen (SCA) eine neue Technologie zur Produktion hochwertiger Druckpapiere (LWC-Papier) in seiner Papiermühle in Ortvikén bei Sundsvall, Nordschweden, ein.

Die regionalökonomischen Effekte dieser Investition in Höhe von \$ 320 Millionen wurden empirisch untersucht (KLINT a. LINDGREN 1992; 1993). Es konnte gezeigt werden, daß der Hauptanteil der Investitionen in der Region bzw. in der Kommune Sundsvall verblieb (47%). Eine ex-ante Analyse der Langzeiteffekte der mit der Investition eingeführten Technologie auf die Teilarbeitsmärkte in der Kommune während der Einsatzzeit ist nicht möglich. Daher wird versucht, mittels eines Simulationsmodelles auf der Mikroebene verschiedene Szenarien zu entwickeln, um durch deren Vergleich einen Einblick in mögliche Langzeiteffekte zu erhalten. Als Basishypothese wird formuliert, daß nur bei anhaltender höherer Produktivität der Papiermühle die Konkurrenzfähigkeit sichergestellt werden kann. Ohne weitere Investitionen ist diese in absehbarer Zeit nicht mehr gewährleistet und die Papiermühle wird langfristig schließen.

Verglichen werden die Langzeiteffekte, die durch die Investitionen für die Herstellung von LWC-Papier eintreten mit denen, die ohne Investitionen zu erwarten wären. Zu diesem Zweck wurde ein Mikrosimulationsmodell entwickelt, mit dem die eintretenden Effekte auf die Teilarbeitsmärkte der Kommune abgeschätzt werden können. In diesem Modell werden für alle Einwohner die wahrscheinlichen Lebenspfade simuliert. Die Wahl der Mikroebene für das Modell erlaubt es, mögliche Auswirkungen eines Beschäftigtenrückgangs in der Papiermühle durch ausbleibende Investitionen und deren Auswirkungen auf andere Teilarbeitsmärkte, die Arbeitslosenzahlen sowie auf Wanderungs- und Pendlermuster zu simulieren.

Das Mikrosimulationsmodell basiert dabei auf der Verwendung von individuellen Attributen von ca. 103 000 Personen, die im Zeitraum 1990 bis 1993 in der Kommune Sundsvall lebten und arbeiteten sowie auf zahlreichen Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die aus weiterem sekundärstatistischem Material und landesweiten Prognosen abgeleitet wurden. Das Ergebnis der Simulationsstudien zeigt die nachhaltigen indirekten Arbeitsmarkteffekte, die durch eine Schließung der Papiermühle zu erwarten sind.

*Summary:* The aim of this article is to investigate the long-term local labour market impacts of an industrial investment. In the beginning of the 1990s the Swedish forest-based company SCA introduced a new technology for the production of high-quality paper (LWC-paper) in the Ortvikén papermill, which is situated in Sundsvall (northern Sweden).

The regional income injection in connection with the implementation of the investment has previously been investigated empirically by KLINT and LINDGREN (1992, 1993) and it was shown that a major share of the income injection trickled down locally in the municipality of Sundsvall.

The ex-ante analysis of the investment's long-term labour market effect throughout the economic life of the paper machine cannot, however, be carried out empirically. In this study the problem has been approached by means of simulation methodology and the comparisons between different possible future scenarios. The basic hypothesis is that papermills, which are resource-intensive operations and mainly compete by means of high productivity, cannot survive without high investment rates. This implies that the papermill will have to close if the upgrading of the production process is not continued. The long-term impacts are obtained by comparing a baseline scenario, in which the LWC-investment is implemented, and a counterfactual scenario of non-implementation.

In order to fulfill this task, a calibrated systems model based on microsimulation methodology has been developed. The model represents the population of Sundsvall individually, i.e. it simulates future life paths of every single person in the municipality. By using micro-orientated modelling the impacts of employment reduction at the papermill can be traced to other partial local labour markets (changed unemployment levels) and to the local population (changed migration and commuting patterns). The microsimulation model is calibrated on a micro dataset that contains a number of attributes on individuals who lived or worked in the municipality at some time between 1990 and 1993 (N = 103,000). The simulation results show that there are substantial indirect labour market effects, i.e. there are many occupation categories, not related to the papermill, that meet with increased unemployment in the case of the closure of Ortvikén.

## 1 Introduction

One of the central research topics in economic geography and regional economics concerns local impacts of economic activities. The pioneering works of BARFOD (1938), NORTH (1955), MYRDAL (1957), ISARD (1967) and LOWRY (1964) have propelled a wide range of theoretical and methodological development carried out within numerous empirical settings. Some studies have especially focused on impacts generated by temporally discrete income injections in terms of, for example, the upgrading of the manufacturing processes or the construction of entirely new operations (e.g. GREIG 1971; BROWNRIGG 1974; MCGUIRE 1982; GLASSON, VAN DER WEE a. BARRETT 1988; BERGDAHL, HOLM a. ÖBERG 1988; KLINT a. LINDGREN 1992; 1993 and ARMSTRONG 1993).

The local economic impacts of an investment project are multi-dimensional, i.e. the effects are nested at different levels. As regards the time perspective there are short-term and long-term effects. During the implementation phase of the investment project suppliers are contracted and their operations benefit from increased activities which, in turn, leads to enhanced income and additional employment. When the investment has been carried out the new facility is put into production and another type of effect appears. The use of the new equipment over a long period generates employment and income in the local economy via those who work at the plant.

The empirical point of departure for this study is a major investment programme carried out at the Ortviken papermill in Sundsvall, which is situated on the coast of Norrland (northern Sweden). The new production line was directed towards the manufacture of LWC-paper (Light Weight Coated) which is a form of thin paper covered initially with clay and then glazed to create a surface with good printing qualities. The investment amounted to \$ 320 million and was carried out 1989 and 1990 (KLINT a. LINDGREN 1992; 1993).

### 1.1 Aim of the study

The investment in the upgrading of the manufacturing process at the papermill has been shown to generate local economic impacts during the implementation phase. The economic life of a paper machine is here assumed to be 15 years, which hints at there also will be a long-term effect induced by its operation. The aim of this study is to investigate the long-term labour market effects of the LWC-investment in the municipality of Sundsvall by employing microsimulation methodology (the SIMSUND-model). The central question concerns

how unemployment in different partial local labour markets is affected by the closure of the Ortviken papermill.

### 1.2 Sources

Data used in this article stems from a database with individual attributes for the whole of Sweden's population during the period 1990 to 1993. The database is a result of linking and matching different registers at Statistics Sweden (e.g. Statistics on Regional Employment and Housing Census 1990) and enables every single, but unidentified, individual to be followed with respect to a number of attributes (Year of birth, Sex, Profession/occupation, Employment status, County, municipality and parish code of tenure, Educational level, County and municipality code of the place of work and Year of death). For the calibration of the SIMSUND-model a sample has been used containing all those individuals who ever lived and worked in the municipality of Sundsvall during 1990 to 1993 (103,000 persons).

## 2 Theoretical and methodological approach

In this study of the long-term effects of pulp and paper industry investments on employment within different local labour markets, the central question is related to the major field of regional modelling. Efforts made by geographers, demographers, economists and others, have resulted in a large number of models for policy-making and impact analyses. Most of them are macro-orientated representations of the regional economic system, production, employment and population (SNICKARS 1984). The methodological approach in this study is microsimulation, which is a modelling technique that can be used for the same purposes as conventional models.

Major advantages of microsimulation models include their possibilities for incorporating individual behaviour and micro-processes in the models, and for using theories of individual behaviour on the same level at which they are observed and formulated. Moreover, the heterogeneity of information can be fully represented in the model and maintained during the simulation. The output will consequently contain a great variety of information about general and specific conditions on the micro-level, information that can easily be aggregated up to the levels suitable for answering research and applied questions. This facilitates a detailed analysis of micro-processes or sequences of individuals' actions and provides opportunities for a more



thorough understanding of the mechanisms behind the macro-processes and of the consequences on aggregated or disaggregated levels.

In some cases the microsimulation approach has been used as a tool for systematically exploring and investigating the ideas of time geography (HÄGERSTRAND 1970; 1982), which focuses on the interaction between different individuals and between individuals and stations within a time-space context (HOLM, MÄKILÄ a. ÖBERG 1989; FRANSSON 1997). A person is not simply employed, living in a town, living in a detached house and living in a household of five members, but is specifically employed in a certain position in a specific corporation, living in a named town, in a specific dwelling and he/she recognises his/her partner, parents and children among all other individuals. If any of these circumstances are altered it will cause particular effects. For example, specific vacancies emerge on the labour, housing and 'partner' markets and these vacancies become available to other individuals who are about to change job, residence or partner. In such situations a microsimulation approach provides possibilities for modelling a segmented labour market, in which all applicants have individually assigned attributes and all vacancies require a certain skill and education.

The conceptual ideas behind the microanalytic modelling approach were originally developed by ORCUTT (1957). Four years later, together with three other colleagues, he wrote a book in which they presented the first implemented microsimulation model (ORCUTT et al. 1961). Since then, many microanalytic models have been designed and run. Activity within this field has gradually increased and today it is not out of place to assert that the approach has become a major framework.<sup>1)</sup>

### 3 Outline of the SIMSUND-model

The SIMSUND-model is intended to answer questions concerning the long-term impacts of the LWC-90 investment in the Ortvisken papermill on employment and redistribution of unemployment in the municipality of Sundsvall. Presumably stemming from

<sup>1)</sup> An overview of some microsimulation models developed in the 1970s and 80s is provided in ORCUTT, CALDWELL a. WERTHEIMER II (1976); BERGMANN, ELIASSON a. ORCUTT (eds.) (1980); HAVEMAN a. HOLLENBECK (eds.) (1980); ORCUTT, MERZ a. QUINKE (eds.) (1986) and CLARKE, M. a. HOLM, E. (1987). Newly published contributions on the recent advances within the field can be found in CLARKE (ed.) (1996). See also MALMBERG a. MÄKILÄ (1996).

the heyday of the industrial era, a widespread view is that production investments generate increased employment. However, longitudinal statistics indicate decreasing employment within Swedish manufacturing industries and, more specifically, a survey addressed to the pulp and paper companies also indicates negative employment changes in connection with investment projects (LINDGREN 1997). Against this background it is assumed that the number of employees at the mill will diminish regardless of the implementation of the investment.<sup>2)</sup>

In the model, the effect is calculated by comparing how much more employment would be reduced if the investment is not carried out (counterfactual scenario) in comparison to an alternative scenario containing the investment. It is reasonable to argue that a production unit which stops carrying out investment projects will, sooner or later, face a situation of weakening competitiveness and will eventually shut down. This is especially true with regard to resource-intensive industries like the pulp and paper industry, in which companies mainly compete by means of high productivity based on high investment rates. The time perspective in the simulation is 15 years, which is assumed to reflect the probable economic life of a paper machine. Continuous re-investments may, however, extend the years of production beyond the end of this time period, but without regular investment activities the operation would soon become unprofitable.

The fundamental notion of analysing partial effects is based on the idea that the 'cause' factor can only have impact on the 'effect' factor in a way anticipated by the modeller. If the 'cause' factor cannot be varied in isolation it is rather pointless to say anything about partial effects. FOLMER and NJKAMP (1985) provide a broad discussion on this theme and review different methodological approaches. In order to be able to say something about the long-term economic impacts of investments, two different scenarios have to be compared. The reference scenario in which continuous investments are carried out, has to be matched against an alternative scenario that lacks investment activities. The difference between these scenarios provides a measure of the effect.

As in most microsimulation models the basic entity of the SIMSUND-model is individuals, i.e. individuals who live and work in the municipality of Sundsvall (approximately 103,000). The point of departure for the simulation is the information embedded in the

<sup>2)</sup> A comparison between the number of employees at the mill in 1990 and 1999 shows that the workforce has decreased from 1,200 to 1,000.

micro-database, and the model calibrations have been carried out using this source. The transition rates (of, for example, getting an occupation, changing occupation, migrating, dying) are compared to a stochastic variable  $X$  drawn from a rectangular probability distribution (0,1). If the variable  $X$  falls between zero and the rate, then the event occurs and the population is ageing.<sup>3)</sup>

### 3.1 Labour demand

Ranging from private companies to public authorities, employers demand labour at their places of work; this is expressed in terms of a demand pool, subdivided here into 240 occupational categories. Within the model framework these categories are regarded as partial labour markets, which correspond to homogeneous competence spheres (e.g. doctors, lawyers, fishermen, construction carpenters, firefighters). The generation of labour demand is carried out for 28 industries, which corresponds approximately to the two-digit level within the Swedish industrial classification code (SNI). By employing NUTEK's national estimates of annual industry change and demand changes due to investments at the Ortvikens mill, the number of required employees within the partial labour markets can be calculated for every year during the simulation. The annual employment change assumptions applied in NUTEK's growth scenario have also been employed here.<sup>4)</sup>

The starting point for the calculation is provided by a cross-tabulation displaying the number of individuals falling into each combination of industry and occupational category (28 \* 240). Unfortunately, the available database only includes occupational information for one point in time, based on the Population and Housing Census from 1990 (FoB-90). The matrices for 1991, 1992 and 1993 are therefore calculated on the basis of data from 1990. The changing numbers of employees within the different industries are assumed to have a fixed occupation distribution.

The impacts connected with the specific production investment at the mill are also included in the construction of the labour-demand module. These effects are based on two sources: (1) the employment effects on different industries induced by the purchasing process

carried out during the investment period, and (2) the long-term effects of the implemented investment on employment at the mill.

A detailed analysis of the investment process is provided in KLINT a. LINDGREN (1992; 1993). The empirical data used in that study have also been employed here for exploring the short-term effects on other industries. By compiling every business transaction (i.e. purchase) and by determining to which industry the local suppliers belong, the purchased amount per industry is obtained.

The second source influencing labour demand is the long-term effects of the operation. As mentioned above, the papermill will not survive without investments. Sooner or later such a strategy would result in reduced employment. Thus, the central question concerns the difference between implementing an investment and not doing so. In the latter case, there are difficulties in estimating how many employees would lose their jobs, and at what rate. It could be argued that only the personnel working at the LWC production line would be affected. However, the reductions could diffuse to the rest of the mill, which implies a shut-down of the entire plant (the worst scenario). Even though the question of how many employees would lose their jobs does not have an exact answer, the discussion nevertheless provides two estimates for the following analysis of the impacts on the municipal partial labour markets.

Another problem, even more difficult to estimate, is the rate of employment reduction in case of the non-implementation of an investment. One possible solution is to assume that the rate of decline is linear, i.e. the same number of employees stop working each year. The impacts of this assumption can be tested within the labour-demand module. However, this does not seem to be a very realistic hypothesis. A papermill in which no investments are carried out may well manage to maintain output and production costs in order to satisfy demand for quite some time, but at a certain point its deteriorating competitiveness will lead to a rapid decline. The problem has been simplified in such a way that the two scenarios start at the same level, but the non-investment one declines according to either a strong or a weak non-linear function ( $a + X^b$ ). In contrast to the linear alternative, most employees are laid off during the last years of the simulation period.

### 3.2 Labour supply

The supply side consists of several components, the main one being the group of people who were working in 1990. This comprises the bulk of the individuals em-

<sup>3)</sup> HOLM, LINDGREN, MÄKILÄ a. MALMBERG (1996) provides a discussion of different methods for ageing populations within dynamic simulations (e.g. annual transition probabilities, survival functions, rule-based transitions).

<sup>4)</sup> The Ministry of Finance is continually publishing forecasts for the Swedish economy in *Långtidsutredningen*.

ployed in Sundsvall, and will be more or less marginally altered over time by other factors. Another component is the number of young people who gradually enter the different partial labour markets. The allocation of individuals is estimated by using the labour market distribution of the younger cohorts, which means that the newcomers are assumed to behave in accordance with previously revealed patterns. More specifically, the partial labour market distribution of young people (between 16 and 19) is not equivalent to the distribution of the total working population. This is not surprising, as most of them have not yet finished secondary school, which means that they cannot reasonably be working in any partial labour market. Within the model individuals enter the labour market at these ages, but when are they supposed to shift to the general pattern? This shift is obtained by relating education requirements to the various labour markets. Three levels have been identified: secondary school, short higher education ( $\leq 2$  years) and long higher education ( $> 2$  years). In this way, the point in time when young people join the general distribution depends on which professions they choose.

Retirements is another factor that has an impact on the supply of labour. Most people stop working at 65. However, there is also a quite large number of people who, for different reasons, leave the work force before their 65th birthday. It is hard to find exact information about how many and when, so the early retirement pensions have been roughly estimated by means of age- and sex-specific participation rates (defined as how many persons in a population group who are working in relation to all the individuals in that group).

The investment activities at the Ortvisken mill affect labour demand and supply. The recruiting of new personnel to the mill has a positive impact on labour demand at the partial labour markets. Analogously, the dismissal of people at the mill adds to the pool of labour supply – more people will be on the look-out for work.

### 3.3 Market clearing

The current states of all individuals are changed annually by the model, in which labour supply and demand are matched in the market clearing process. The outcome of this process for each partial labour market could result in either excess demand or unemployment. On the basis of existing empirical knowledge a situation of labour shortage is not likely to occur. However, in some specialised labour markets it is conceivable that there are too few professionals to satisfy the demand from the employers. Within the

modelling context such a deficit situation is solved by immigration or inflows from other partial labour markets, according to an empirically observed distribution.<sup>5)</sup>

In case of unemployment, individuals are assumed either to find a new job in their current partial labour market, try to find a job in an adjacent partial labour market, commute, or move out from the municipality. Within each simulation year all individuals are confronted with these alternatives.

The matrix of occupational changes used here provides information about which occupations they may go to, and the probability of the above alternatives. The number of commuters is constrained by the ability of the neighbouring municipalities to receive, so the number cannot exceed their capacity according to the empirical data. A possible solution to the disequilibrium which arises is to let the unemployed gradually move out from the municipality. However, people are not likely to move to unemployment elsewhere, especially when considering the rules of unemployment benefits and the small difference between benefits and reservation wages, i.e. the lowest wage the individual is willing to accept for taking a job (HARKMAN 1997). On the other hand, it is unreasonable to assume that all of the unemployed stay in Sundsvall year after year. Some of them will probably leave, but this group is a part of the overall moves from the municipality generated by the model. In this way, the level of out-migration is determined by the demographic module and, according to a parameter, some of the 'places' are assigned to unemployed individuals.

### 3.4 A formalised outline of the model

Figure 1 shows a condensed version of the structure of the model in terms of a flow chart. The arrows represent flows and, for the sake of simplicity, no distinction is made between causalities and flows.

The SIMSUND-model has two modules: a disaggregated macro-module and a microsimulation module. The first one generates labour demand and the second one takes care of demography, labour supply and the market clearing process. The boxes with rounded corners are exogenous variables, defined by empirical data or assumptions based on forecasts and qualified guesses. Some of them are empirical distributions (out-migration frequency, in-migration frequency, fertility

<sup>5)</sup> Information about partial labour market changes is obtained by comparing the occupation variable in the Population and Housing Censuses carried out in 1985 and 1990. This material includes the entire nation.

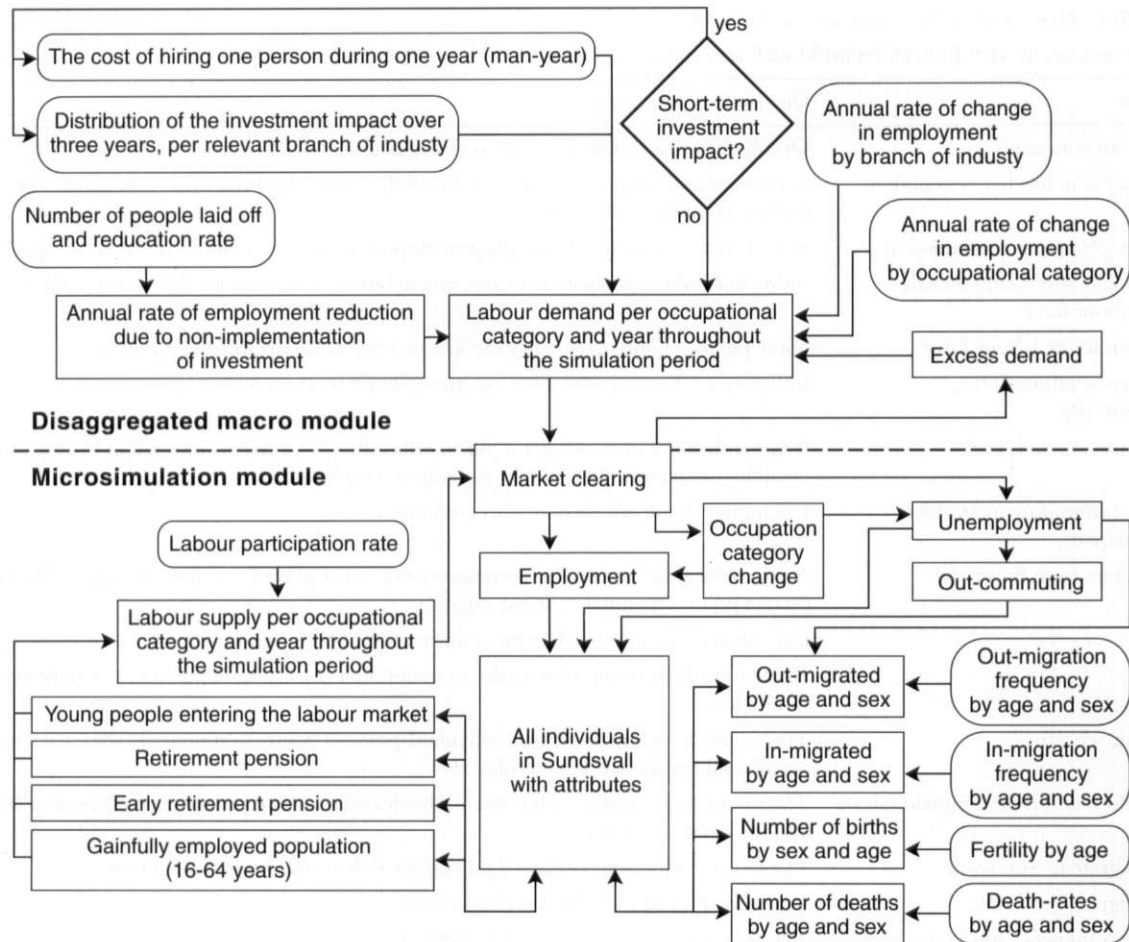


Fig. 1: The flow chart for the SIMSUND-model  
Strukturdiagramm des SIMSUND-Modells

and death-rates) that regulate the probability of different events occurring. The remaining boxes are endogenous variables.

Labour demand is provided by the disaggregated macro-module which produces time series throughout the simulation period. The numbers of working individuals and unemployed are added up at the beginning of every year, and the number of available jobs is obtained by calculating the difference between labour demand and the number of active individuals. Within the model the annual processing of all the individuals has two phases: (1) the summation of the number of active individuals and a check against labour demand; (2) the simulation.

As a first stage in phase (1), a summation is carried out in every occupation, in which either a deficit or a surplus arises. Any deficit that may occur is aggregated to numbers of available jobs. Any possible surplus is reduced to zero by going through all individuals a

second time and letting randomly chosen individuals lose their jobs. In the second phase (2) all individuals are simulated, which means that they go through demographic and labour market transformations. Demographic transformations refer to birth, death, migration, allocation of educational level and completion of education. These events are entirely individual. They are controlled by exogenously-given distributions, and they are not affected by job changes or changes related to other individuals (except for in- and out-migration which clearly have an impact on labour market situation). Labour market transformations refer to alterations in employment status and/or occupation. These transformations are designed as events that are directly connected to specific individuals, but there is an interaction (job competition) through the aggregates that represent labour supply.

In the simulation all individuals go through this process every year, and they may – according to conditions



Tabelle 1: Events occurring to the individuals in the model

Ereignisse, die den Individuen im Modell widerfahren können

Event	Description/Motivation
Start an education	Occupations have to be assigned to young people.
Get a job in his/her occupation	Every year individuals are confronted with the market clearing process in which some of them get/continue their jobs.
Get a job in a new occupation	Statistics on occupational changes provide probability distributions of every occupation.
Get a job after being outside the labour force	Individuals who have been studying, giving birth etc. have to be able to get a job again.
Return to the labour force	Some people choose to re-enter the labour force and start looking for work.
Leave the labour force temporarily	Individuals who start education, go into military service etc. may return.
Become unemployed	If the individual does not get a job in either his/her current occupation or any other possible occupation, then he/she remains unemployed.
Start commuting to another municipality	Unemployed individuals may start commuting.
Emigrate from Sundsvall	Neither the numbers of out-commuters nor unemployed can increase infinitely. At a certain point individuals will out-migrate.
Retire	Individuals may be retired anytime during their active period (16–64).
Die	Dying must be introduced in order to maintain a consistent population throughout the simulation.
Vacancy occurs	This is not an event from the individual point of view. If somebody dies a vacancy occurs and he/she has to be replaced.
Children and retired individuals die	The model has to distinguish between the deaths of active people on the labour market and the deaths of others.
Immigrate to Sundsvall	The flow of immigrants is based on empirical distributions in the database.
Immigrant gets a job	The same procedure as for local individuals.
Immigrant gets a job in a new occupation	The same procedure as for local individuals.

and probabilities based on sex, age, employment status and occupation – encounter a number of events that are described in Table 1. Throughout the simulation period individual events and aggregated events are registered, as well as the stocks of individuals and jobs.

New individuals enter by in-migration and they are assigned an occupation according to empirically estimated distributions. When the number of available jobs in a specific occupation exceeds a certain level a temporary modification of these distributions occurs (i.e. through the in-migration of individuals with demanded competence). In- and out-migration are also controlled by empirical distributions, which are based on database estimations by sex, age (six age groups) and occupation (the 30 most frequent plus the remainder).<sup>6)</sup>

Figure 1 provides a general outline of the model, but it does not capture the underlying mechanisms related to the different boxes. For example, the mechanisms that control the market clearing process and its impacts on the individuals' employment status can be displayed

more explicitly. Figure 2 shows the model structure for market clearing. Individuals endowed with a set of attributes enter and, later on, they exit with perhaps an altered set of attributes (i.e. they may get/lose a job, change labour force participation status or retire). An individual who is within the labour force and applies for a job is firstly confronted with the situation of whether or not he/she succeeds getting a job in his/her current occupation (everybody goes through this annual procedure). It should be observed that most individuals keep their current jobs for a period longer than one year. Employing a labour-market reproduction system in which everybody is dismissed once a year is not a

<sup>6)</sup> The reason for aggregation is due not to technical constraints but, rather to the combination of matrix size and total flows. As the total in- and out-migration amounts to approximately 1,000 individuals per year, most cells in the matrix would be empty if all 240 occupations and one-year classes were used.

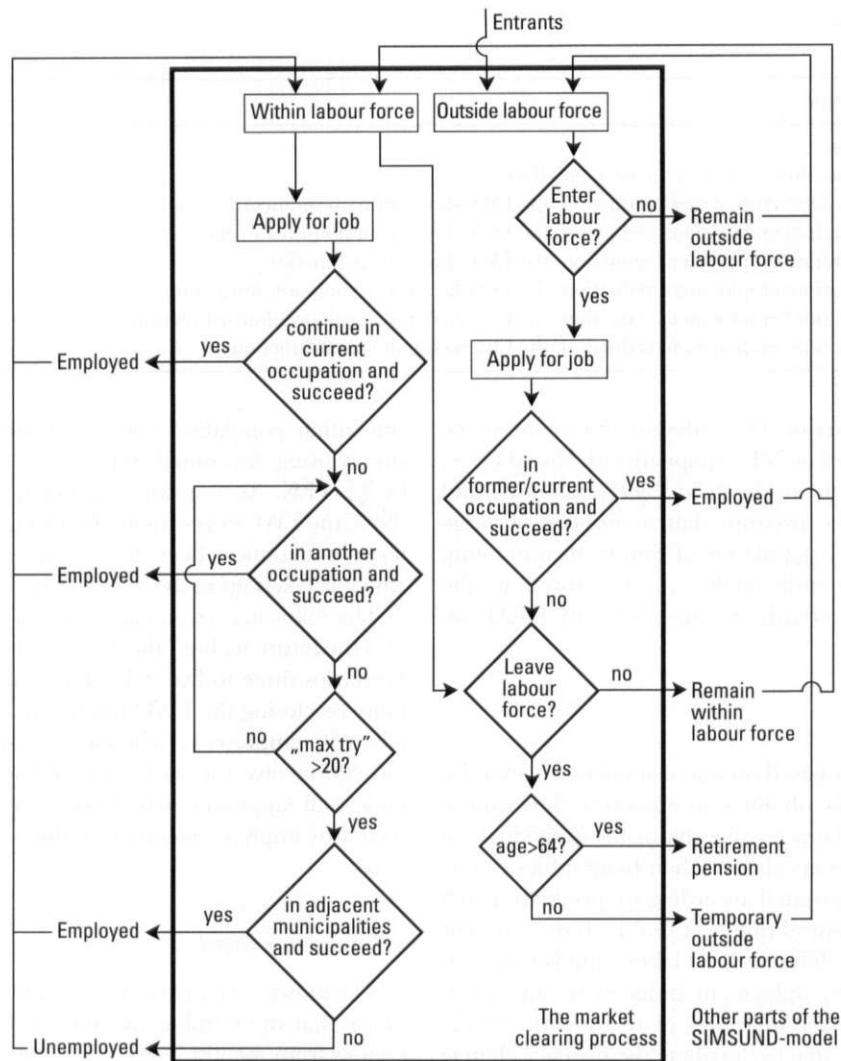


Fig. 2: The market clearing process  
Der Arbeitsvermittlungsprozeß

satisfactory solution. Nevertheless, if an individual manages to get employment he/she exits from the market clearing process; if not, he/she is assumed to consider working in another occupation. The "max-try" parameter controls the number of chances the individual will have to find a job in another occupation ("max-try" = 20). The failure of this attempt brings him/her to the last opportunity which is commuting to an adjacent municipality. If none of these three possibilities turn out positively he/she will become unemployed till the next simulation year.

An individual who is within the labour force may also choose not to apply for a job. If he/she leaves, the outcome depends on his/her age – 65 years old or more implies retirement pension, other ages are considered

to be temporarily outside the labour force. An individual who is outside the labour force has the chance of entering. If he/she manages to do that he/she is placed in the same position as those who are already within the labour force and apply for a job.

Another way of elucidating the structure of the model is to focus on events. There are 16 possible events that may occur and these are described in Table 1.

### 3.5 A technical description of the model

The computer programme that controls the SIMSUND-model is written in C++ and consists of 2,300 rows. It is easily interchangeable between Mac-

Tabelle 2: Model scenarios

Modellszenarios
Scenario characteristics
S1: Implementation
S2: Implementation plus short-term investment effect
S3: No implementation; employment reduction: the LWC-line; strong non-linear function
S4: No implementation; employment reduction: the LWC-line; weak non-linear function
S5: No implementation; employment reduction: the LWC-line; linear function
S6: No implementation; employment reduction: the Ortviken mill; strong non-linear function
S7: No implementation; employment reduction: the Ortviken mill; weak non-linear function
S8: No implementation; employment reduction: the Ortviken mill; linear function

intosh (Code Warrior 11), different unix computers, and PCs (Windows or NT) equipped with Visual C++. The programme is moderately object-orientated and it is based on the premise that a number of large aggregates (e.g. the population of Sundsvall amounting to over 100,000 individuals) can be stored in the core memory. Currently, 15 megabytes of RAM are required.

### 3.6 Outcomes

As the model is based on microsimulation methodology, results can be obtained in numerous dimensions. The model simulates possible paths for individuals in Sundsvall for 15 years ahead. Their biographies can be analysed and aggregated according to specific research questions. The central question in this study concerns the effects on the different local labour markets of employment and unemployment induced by an investment in the Ortviken mill. One of the qualities of the model is that it is able to distribute the primary change caused by the investment among individuals in different occupations and through time. The outcomes of the simulations will make it possible to elaborate the model with regard to which of the 240 identified partial labour markets will change and which of them will have substantial imbalances resulting in unemployment.

## 4 Model scenarios and simulation output

### 4.1 Model scenarios

Table 2 provides an outline of the different scenarios in the SIMSUND-model. The point of departure for the simulation consists of two reference scenarios in which the annual industry changes in terms of employment have been used. The first reference scenario (S1) involves the implementation of the investment, i.e.

simulating population and employment dynamics by simply using the annual employment changes provided by NUTEK. As is shown in KLINT a. LINDGREN (1992; 1993) the LWC-investment also brought about a short-term economic effect during the implementation, which is taken up in the second scenario (S2).

The following six scenarios mirror alternative paths into the future without the investment implementation. Scenarios three to five (S3–S5) elaborate on the possibility of closing the LWC production line (approximately 250 employees), whereas scenarios six to eight (S6–S8) involve the shut-down of the entire Ortviken papermill (approximately 1,000 employees). All these scenarios imply employment reductions, but the rates vary.

### 4.2 Simulation output

The industry change estimates provided by NUTEK imply that the number of employed in Sundsvall increases from 49,300 (1991) to 51,100 in (2008). Figure 3 shows the development of the number of employed for ten replications of the first reference scenario and for the alternative scenarios (2–8). As the model is imbued with probability distributions it is pertinent to investigate the impact of the stochastic variation in comparison to the systematic variation (caused by changed assumptions, i.e. alternative scenarios). In order to get a grip on the stochastic variation the reference scenario (S 1) has been replicated ten times. Mean and standard deviations for the last simulation year (2008) have been calculated and compared to the outcomes of the alternative scenarios (S 2–S 8). By using confidence limits ( $p \leq 0.05$ ) it is shown that the alternative scenarios differ significantly from the reference scenario, and these differences are clearly visualized in Figure 3. However, these results are strongly related to the level of aggregation. The employment numbers run up to about 51,600 in the end of the simulation, which is roughly half of the popula-

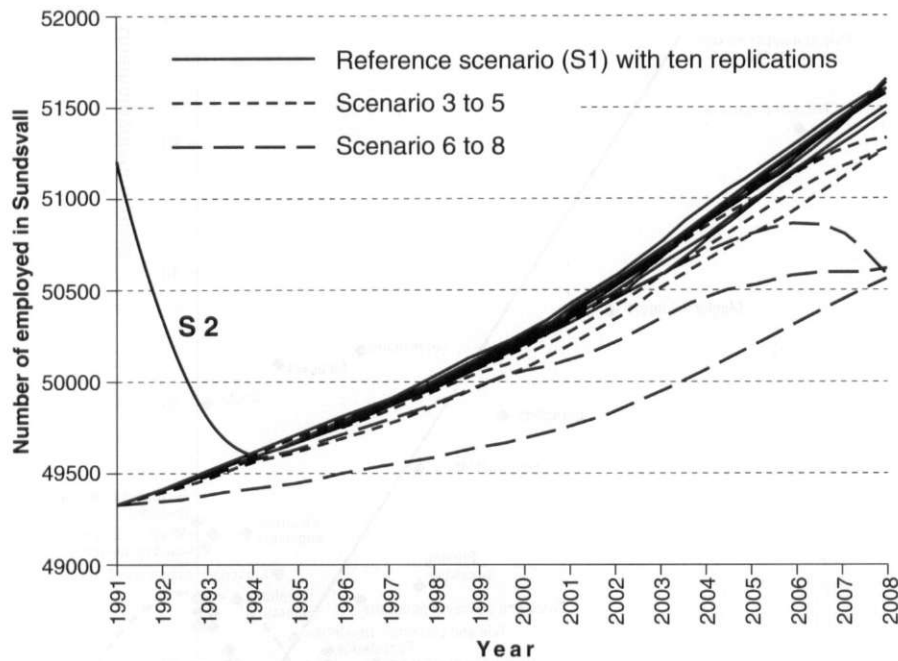


Fig. 3: Simulated development of the number of employed in Sundsvall  
Simulierte Entwicklung der Beschäftigtenzahlen in Sundsvall

tion in Sundsvall. The same calculation is carried out on other model results; the number of unemployed (5,000) and the number of available jobs (50). In the former case there are still significant differences, but the result is not found as far out in the tails of the distribution. In the latter case the stochastic variation is much larger than the systematic variation, i.e. no visual distinction can be made between the replications and the alternative scenarios.

The second scenario (S 2) is also a reference scenario, but here the short-term impact has been added. There are, of course, problems connected to such a comparison, especially with regard to the straightforward calculation of employment impacts based on payment flows; but there are also problems due to its theoretical nature – for the employment developments in the other scenarios are based on empirical employment data, whereas the short-term impact is not. Nevertheless, scenario 2 hints at the magnitude of the short-term impact in comparison to the long-term impact. Scenarios 3 to 5 show the outcomes on employment if the LWC-line was closed in the beginning of the simulation and scenarios 6 to 8 reflect three possible course of events if the Ortviken mill was shut down at the same point in time. The direct effect of a total mill closure would mean a 2% employment reduction within the municipality in 2008. Similarly, closure of the LWC-line would reduce employment by 0.6%.

In order to analyse local employment and unemployment impacts induced by a closure of the Ortviken mill in 2008 (the last year of the simulation), the outcomes of scenarios 1 and 6 have been compared. Clearly, the employment reduction is distributed among 240 occupations, some being more affected by the change than others. Approximately 60% of the employment reduction and 40% of the unemployment increase take place within 10 occupations. Similarly, 65 of the occupations face 95% of the employment reduction caused by the closure. This implies that relatively few of the 240 occupations are strongly connected to the papermill. Calculated Gini-coefficients ( $I_G$ ) of the occupation and the unemployment increase distributions, and of the occupation and the employment reduction distributions amount to 34 and 50, respectively.<sup>7)</sup> As the measures of dissimilarity are different the shut-down of the Ortviken mill seems to give rise to imbalances on partial labour markets, i.e. unemployment changes that are not corresponding to the employment reduction.

Figure 4 shows in absolute numbers employment and unemployment differences between the scenarios

<sup>7)</sup> The Gini-coefficient compares the distribution of an attribute with a hypothetical equal distribution. The value of the index goes from 0 (exact correspondence) to 100 (maximum inequality) (ROBINSON 1998).



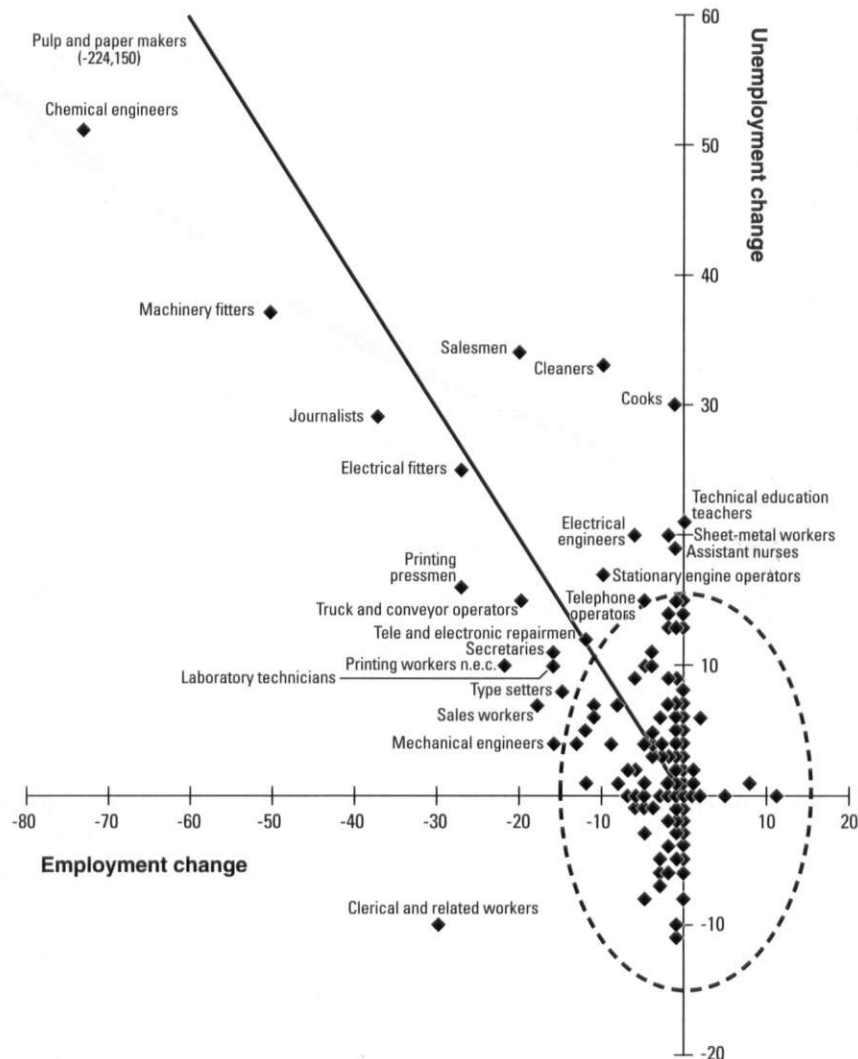


Fig. 4: Simulated employment and unemployment differences in Sundsvall, due to the closure of the Ortvikens papermill (in absolute numbers in 2008) and comparing scenarios S 1 and S 6

Simulierte Beschäftigungs- und Arbeitslosigkeitsunterschiede in Sundsvall nach einer Stilllegung der Papierfabrik (in absoluten Zahlen für 2008) und den Vergleichsszenarien S 1 und S 6

(S 1 and S 6) in the occupations (2008). Due to the stochastic process, some caution has to be used when interpreting occupations situated within the oval in Figure 4. Occupations below the diagonal line meet with larger employment reductions than unemployment increases, whereas the opposite condition prevails above the line. Most occupations (located around origo) are not affected at all, since they are not, or are only weakly, related to the pulp and paper industry. However, it is interesting to note that several occupations beyond the direct effect (employment reduction equals zero) do have unemployment changes. This is a sign of the indirect effect of the closure of the Ortvikens mill (see Tab. 3).

It is hardly unexpected that the pulp and paper makers experience the biggest employment reduction, and 224 (54%) fewer individuals will work in this occupation as a result of shut-down of the mill. Some of the occupations in Figure 4 are not intuitively associated with the pulp and paper industry (e.g. journalists and precision-instrument makers), but they are nevertheless represented.<sup>8)</sup> So, what are the possible explanations for the findings related to the occupation dynamics within

<sup>8)</sup> Statistics on occupational affiliation are provided by the Population and Housing Census (FoB-90). For a more thorough presentation of data quality and comparability see FoB-90, part 5.

Tabelle 3: Occupations with the largest indirect effects

Berufe mit den größten indirekten Effekten	
Occupation	Unemployment change
Technical education teachers	21
Childrens nurses	15
Railway conductors and yardmen	15
Bank tellers and finance clerks	14
Horticultural workers	13
Machine assemblers and engine mechanics	13
Attendants in psychiatric care	8
Midwives	-8
Insurance clerks	-8
Coaches and horse trainers	-8

the model? The outcomes in Figure 4 are the result of a comparison between two scenarios (S 1 and S 6) in which the conditions are the same in the model, except for a certain reduction of labour demand distributed among occupations in the pulp and paper industry. Hence, the dynamics cannot be entirely due to increasing or decreasing industry change estimates. It seems more likely that these dynamics are connected to the occupation change mechanism within the market clearing process.

In order to illustrate the impact of occupation transitions on unemployment, journalists and cleaners have been chosen. By relating the number of working individuals in these occupations as distributed among industries to the industry change estimates, a measure of 'standing' is obtained. It was shown that cleaners have a lower measure of standing than journalists, which implies that journalists are more likely to change to occupations that are well represented within expanding industries. Cleaners, on the other hand, are less likely to change to such occupations. The same mechanism (i.e. the combination of occupation transitions and industry change estimates) explains occupations that meet with no employment reduction but nevertheless register unemployment change (see Tab. 3). The closure of Ortvikens releases manpower that will apply for other jobs on the local labour market. The combined process of occupation transitions and industry change generates the indirect effect.

### 5 Concluding remarks

The outcome of the microsimulation model has thrown light on the local labour market effects of closing the Ortvikens papermill. It has been shown that linkages between different partial labour markets give rise to indirect impacts in terms of changed unemploy-

ment in occupations not represented in the pulp and paper industry. It would not have been possible to trace such imbalances arising on individual partial labour markets without a micro representation of the local socio-economic system. The SIMSUND-model may be further improved by employing a more thorough time-geographic design – the introduction of households and full interaction between individuals. In this type of model, actions performed by individuals can be connected to information, search and decision processes. Microsimulation modelling appears to be a powerful tool for impact studies and the analysis of labour market development, which should be elaborated in future studies.

### Acknowledgement

The programming of the SIMSUND-model would not have been possible without the expertise of KALLE MÄKILÄ. He is a computer scientist with many years' experience of elaborating and programming microsimulation models, especially ones influenced by the time-geographical perspective.

### References

- ARMSTRONG, H. W. (1993): The Local Income and Employment Impact of Lancaster University. In: *Urban Studies* 30, 1653–1668.
- BÅRDSSEN, T. a. VATNE, E. (1986): Hvem gjorde hva ved Kårstøutbyggingen? Om innkjøpenes organisering og regionale fordeling. Bergen.
- BARFORD, B. (1938): Lokaløkonomiske Virkninger af en Storindustriell Virksomhed. København.
- BERGDAHL, N.; HOLM, E. a. ÖBERG, S. (1988): Geografiska effekter vid en stor industriinvestering – Ortvikensprojektet. GERUM Nr 10, Kulturgeografiska institutionen, Umeå universitet.
- BERGMANN, B.; ELIASSON, G. a. ORCUTT, G. (eds.) (1980): Micro Simulation – Models, Methods and Applications. Proceedings of a Symposium in Stockholm, September 19–22, 1977. The industrial institute for economic and social research, Stockholm.
- BORGEGÅRD, L.-E.; FRANSSON, U. a. LUNDIN, L. (1993): Arbete. In: ABRAHAMSSON, K.-V. (ed.) (1993): Arbete och fritid. Sveriges Nationalatlas Förlag, 40–93.
- BORGEGÅRD, L.-E. a. MAGNUSSON, L. (1983): När K4 kom till byn – Effekter av fredsförbandsetableringen i Arvidsjaur. Statens institut för byggnadsforskning, M83:31, Gävle.
- BROWNRIGG, M. (1974): A Study of Economic Impact: The Stirling University. Edinburgh.

- CLARKE, G. P. (ed.) (1996): *Microsimulation for Urban and Regional Policy Analysis*. European research in regional science 6, Pion, London.
- CLARKE, M. a. HOLM, E. (1987): *Microsimulation Methods in Spatial Analysis and Planning*. In: *Geografiska Annaler* 69 B, 145–164.
- FLORAX, R. (1992): *The University: A Regional Booster? Economic impacts of academic knowledge infrastructure*. Avebury.
- FOLMER, H. a. NIJKAMP, P. (1985): *Methodological Aspects of Impact Analysis of Regional Economic Policy*. In: *Papers of the Regional Science Association* 57, 165–181.
- FRANSSON, U. (1997): *Ungdomars hushållsbildning – Processer på en lokal bostadsmarknad*. *Geografiska Regionstudier* 33, Uppsala universitet.
- GLASSON, J.; VAN DER WEE, D. a. BARRETT, B. (1988): *A Local Income and Employment Multiplier Analysis of a Proposed Nuclear Power Station Development at Hinkley Point in Somerset*. In: *Urban Studies* 25, 248–261.
- GREIG, M. (1971): *The Regional Income and Employment Multiplier Effects of a Pulp and Paper Mill*. In: *Scottish Journal of Political Economy* 18, 31–48.
- HÄGERSTRAND, T. (1970): *What about People in Regional Science*. In: *Regional Science Association Papers XXIV*, 7–21.
- (1982): *Diorama, Path and Project*. In: *Tijdschrift voor economische en sociale geografie* 73, 323–339.
- HARKMAN, A. (1997): *Arbetslöshetsersättning och reservationslön*. In: *Arbetslöshetsersättningen och arbetsmarknadens funktionssätt*. Arbetsmarknadsstyrelsen, Ura 1997, 67–82.
- HAVEMAN, R. H. a. HOLLENBECK, K. (eds.) (1980): *Microeconomic Simulation Models for Public Policy Analysis*. New York.
- HOLM, E.; LINDGREN, U.; MÄKILÄ, K. a. MALMBERG, G. (1996): *Simulating an Entire Nation*. In: CLARKE, G. P. (Ed.): *Microsimulation for Urban and Regional Policy Analysis*. European research in regional science 6, London.
- HOLM, E.; MÄKILÄ, K. a. ÖBERG, S. (1989): *Tidsgeografisk Handlingsteori – Att bilda betingade biografier*. GERUM Nr 8, Umeå universitet.
- ISARD, W. (1967): *Methods of Regional Analysis: an Introduction to Regional Science* (fifth printing). Cambridge.
- KLINT, M. B. a. LINDGREN, U. (1992): *How are suppliers chosen and where are they located?* In: *Zeitschrift für Planung* 1992, 317–330.
- (1993): *How are suppliers chosen and where are they located? – The results of a large scale industrial investment*. In: *Zeitschrift für Planung* 1993, 31–48.
- LASSINANTI, L. a. WENNBERG, W. (1981): *K77 Regionala spridningseffekter*. Tekniska högskolan, Luleå.
- LINDGREN, U. (1997): *Local Impacts of Large Investments*. GERUM Kulturgeografi 1997, Umeå University.
- LINDGREN, U.; MAHIEU, R. a. STJERNSTRÖM, O. (1992): *Local or Non-local? – Some notes on the economic-geographical impacts of large investments*. In: *Geografiska Annaler* 74B, 211–228.
- LOWRY, I. S. (1964): *A Model of Metropolis*. The Rand Corporation, No R.M. 4125 R.C.
- MALMBERG, G. a. MÄKILÄ, K. (1996): *Perifert Resursutnyttjande – En tidsgeografisk simuleringsmodell*. GERUM Nr 32, Kulturgeografiska institutionen, Umeå universitet.
- MCGUIRE, A. (1982): *The Regional Income and Employment Impacts of Nuclear Power Stations*. Discussion paper, Aberdeen University, Aberdeen.
- MCGNICOLL, I. H. (1981): *Estimating Regional Industry Multipliers: Alternative Techniques*. In: *Town Planning Review* 55, 80–88.
- MYRDAL, G. (1957): *Economic Theory and Underdeveloped Regions*. London.
- NORTH, D. C. (1955): *Location Theory and Regional Economic Growth*. In: *Journal of Political Economy* 63, 243–58.
- ORCUTT, G. H. (1957): *A new type of socio-economic system*. In: *Review of Economics and Statistics* 58, 773–797.
- (1986): *Views on Microanalytic Simulation Modeling*. In: ORCUTT, G. H.; MERZ, J. a. QUINKE, H. (eds.): *Microanalytic Simulation Models to Support Social and Financial Policy*. North Holland, Amsterdam.
- ORCUTT, G. H.; CALDWELL, S. a. WERTHEIMER II, R. (1976): *Policy Exploration Through Microanalytic Simulation*. The Urban Institute, Washington.
- ORCUTT, G. H.; GREENBERGER, M.; KORBEL, J. a. RIVLIN, A. (1961): *Microanalysis of socioeconomic systems: A simulation study*. New York.
- ORCUTT, G.; MERZ, J. a. QUINKE (eds.) (1986): *Microanalytic Simulation Models to Support Social and Financial Policy*. North Holland, Amsterdam.
- ROBINSON, G. M. (1998): *Methods and Techniques in Human Geography*. London.
- SNICKARS, F. (1984): *The treatment of the labour market in some recent multiregional economic models*. In: SPRINGFELDT, P. a. WARNSTRÖM, M. L. (eds.): *Studies in Migration*. *Scandinavian Population Studies* 6.1, 109–120.

*Other printed sources*

- FINANSDEPARTEMENTET (1994): *Metoder, modeller och beräkningar*. Bilaga 1 till Långtidsutredningen 1994.
- NÄRINGS- OCH TEKNIKUTVECKLINGSVÄRKET (1994): *Sveriges ekonomiska geografi*. Bilaga 5 till Långtidsutredningen 1995.
- NÄRINGS- OCH TEKNIKUTVECKLINGSVÄRKET (1994): *Näringslivets tillväxtförutsättningar till 2010*. Bilaga 6 till Långtidsutredningen 1994.
- STATISTICS SWEDEN (1990): *Population and Housing Census, Part 5: Employed population and occupation*.