From the 10th of August to the 12th of November 1986 a joint Sino-German expedition was initiated to study the glacial geomorphology of High Asia. The initiator and scientific leader was Professor Matthias Kuhle of the University of Göttingen, Germany, in cooperation with Professor Xue Daoming of the Lanchow Institute, China. Nine other scientists from both countries participated. But the expedition would not have been feasible without the help of numerous Chinese helpers, local camel drivers and porters. A two-person film crew accompanied the party to record the course and organization of the expedition as well as the acquisition of scientific data – and to show the rich variety of glacial geomorphological forms found here in their regional context.[1]

The joint expedition took the scientists for three months to West Tibet. At the junction of two mountain ranges, the Kunlun and the Karakorum, they presumed to find the solution to a pressing geographic problem: the subject being the ice-age glacierization of Tibet and hence of the entire High Asian region.

The flight took them to the Oasis of Kashgar – Kashi –, surrounded by the mountains lining the Tarim Basin. For centuries this centrally located place has been the starting point for expeditions and for trading caravans crossing the western section of High Asia along the north-south route.

Kashgar owes its existence in the midst of an arid region to a sophisticated irrigation system. As an agrarian trading centre it attracts widely different ethnotes from a catchment area of several thousand kilometres in diameter. Indo-Aryan as well as Mongolian and Tibetan ethnic groups can all be encountered here.

Travellers feel transported into a different age. Here one can find handicrafts that are still only rarely practised in other parts of China. The town centre of Kashgar is dominated by the oriental bazaar. The expedition crew are able to augment their own provisions with durable local market produce, such as peanuts and apricots, or walnuts, almonds and raisins. Europeans first have to get used to the highly seasoned dishes that are necessary in the hot continental climate of central Asia.

As soon as the expedition bus left the oasis town on the 17th of August, it began the journey southwards through the Kunlun foreland across gravel

[1] This passage corresponds to the German roller title.

fans almost devoid of vegetation. The summer air is filled with cold loess, the fine rock dust blown out of the sediments deposited by ice-age glacial meltwater.

The gravel road crosses the Tarim Basin, skirting the desert of Takla Makan, and continues to the main crest of the 6500 m high Kunlun Range. The following stretch across the equally high Aghil Mountains to the northern slopes of the Central Karakorum can only be accomplished by camel caravan.

The equipment weighing several tonnes has been loaded aboard two trucks, which follow the bus into the deeply incised valleys of the Kunlun. This mountain system is crossed at a pass almost 5000 m high. The rounded, debris strewn flanks of the mountains are liable to occasional snowfalls even in summer. The southward downhill journey follows a whole system of aggradational terraces. They document the valley history over the past 12000 years.

On August the 20th the journey ended at the military station of Mazar above the Yarkand River at a height of 3800 m. The Yarkand follows the large strike valley between the Kunlun and Aghil ranges as a braided meltwater system. In this high mountain desert several acclimatization ascents up to 4500 m were undertaken. The Yarkand Valley channels cold katabatic winds from Western Tibet which may attain velocities of 100 km per hour.

A Chinese physician accompanied the expedition. Particularly at the beginning, insufficient acclimatization, climatic change or the unfamiliar diet gave cause for complaint.

As the expedition area is not accessible from here either by road or by air, one still has to rely on caravans to get there. That's why in Mazar they had to hire camels. For this purpose drivers have come from the Tarim Basin. Professor Xue Daoming is the expedition leader responsible on the Chinese side for organizational planning. He negotiates with the mainly Uighurian camel drivers about the expedition timetable and payment. An Uighurian speaking interpreter facilitates communication. They finally agree on 20 drivers and select 70 animals. They are to carry the expedition equipment as well as their own fodder. These Bactrian camels are native to Asia and possess two humps. With their robust pack saddles they can carry burdens of 100 to 200 kg even at these high altitudes. The camels will later on be used as riding mounts only in exceptional circumstances.

Before starting off, the drivers prepare a fortifying meal of corn flour and water for their animals, because the aridity and sparse vegetation offer little

pasturage along the route. All the provisions are optimally utilized. Even the apricot kernels are cracked open. The next morning the caravan is due to depart.

The first four days, from August the 26th to 29th, were designated for the march to the Aghil Range. To get there they had to follow the Yarkand downstream for two days. On this relatively good stretch camps were pitched at the locations marked Bazar Dara and Ilyk. Not so easy was the ascent up the gorge of the Surukwat, a southern tributary of the Yarkand, to a nomadic camping ground 4200 m up the Aghil Mountains.

As the resting place for the camels is always located a short distance away, the animals have to be led into the camp each morning for loading. On particularly strenuous marches the camels are fed on cereals and chaff. They can best be loaded while ruminating. Each of the pack animals is treated according to its constitution and current physical condition. That is why the loads are distributed variably throughout the caravan. The younger drivers are dependent here on the experience of their elders. Rachman, the foreman of the caravan, is in great demand now.

For generations loads have been transported in sacks and groundsheets, which can be well lashed. In contrast, the shock-proof transport containers and aluminium crates are quite a challenge to the drivers and their animals. On account of their unwieldiness and own vibration frequency they are a hindrance to the camels at every step. The aluminium crates are easier to pack. But they are only splash-proof. That is why the sensitive electronic measuring instruments and the film stocks are transported in the completely watertight plastic drums. It's not always possible to lash the burden close to the animal's body and thus maintain a low centre of gravity. Camels with their pacing gait have great difficulty here. Several camels are linked in procession. Whereas the older animals up front are guided by means of a nose peg, the younger ones only need a simple halter. Each driver leads four camels or more, depending on the conditions underfoot.

This route has only recently been extended into the Yarkand Valley. But mud flows, rock falls and landslides together with seasonal flooding have already destroyed it in several places. Camels are the only feasible pack animals in this region, as they are the only ones able to cope with the extreme lack of vegetation. But even less steep gradients are a challenge to their surefootedness. In the course of the day the caravan spreads out. However, the drivers make sure that the animals carrying the tents and camping equipment arrive

at the camp site first and if possible still by daylight. The camp at Ilyk has already been pitched.

During the day's march the scientists carry out investigations in their separate disciplines, like geographer Andreas Schulze. At the confluence of the Yarkand and Surukwat rivers there are some classical roches moutonnées – glacially smoothed rocky outcrops. The smooth reflective surface of the slate proves that glaciation of this valley system occurred only a few thousand years previously. To corroborate the field analysis the rock samples will later be checked in the laboratory.

Roches moutonnées only occur in a few places, since most of them have meanwhile been buried beneath massive glaciofluvial sedimentation deposits. The truncated spurs rising above this typical valley floor give it the characteristic U-shape of a glacial trough valley. They indicate an ice filling up to 1 000 m in thickness. After only one day's march up the Surukwat Valley, the root zone of the alluvial terraces is reached. At one of the terrace walls the geographer Holger Dietrich is carefully extracting some alluvial components as well as samples of the fine matrix material. The evaluation aims to facilitate deductions about the former transportation and deposition processes.

These alluvial deposits are stratified into a number of horizons and have a thickness of several hundred metres. Both the horizons and the terrace surfaces slope more steeply than the present valley bottom profile – an important indicator for all gravel capped areas built up by glacial meltwater. This unconsolidated rock is so firmly cemented that it allows small cave dwellings to be built by the occasional nomadic herdsmen who inhabit this region.

The flanks of the Surukwat Valley close in more steeply towards the valley head. For the following laborious ascent to the Aghil Mountains the lashings have to be checked again. On the southeast side of the gorge the caravan has to gain altitude along narrow ledges in order to negotiate the bottleneck ahead. At a particularly steep spur one of the inexperienced juvenile animals suddenly slips and falls. With its back broken in the fall, it expires a few metres above the torrent. Later the expedition sustained the loss of more pack-animals – not only on account of the difficult terrain, but also due to increasing exhaustion.

In the course of the Surukwat gorge the quartzite bedrock exhibits perfectly preserved glacial striae. They are produced when boulders entrapped in the glacial ice scrape along the surface of the rock. They provide direct evidence of previous glaciation. Typical of these scorings is their sheaf-like arrange-

ment. Thanks to its fine grain structure and hardness, quartzite retains such traces best of all.

During late August above the 4000m contour in the Aghil Mountains solitary groups of nomadic Kirghizian herdspeople can be seen with their livestock. They prefer living quarters protected by overhanging rocks. At this favourable location the caravan pitches its fourth camp on August the 29th. At this time the nomads are making preparations for the late summer and autumn drive down to their settlements at a lower altitude. Milk, cheese, meat and cereal flour form their staple diet. Food is offered to guests as well.

The next morning an early start was indicated as the expedition had to cross the 4870m high Aghil Pass. The route ascends towards the head of the broadening Aghil Valley, the floor of which is covered with gigantic mud flows. In smaller groups the caravan reaches the spacious saddle, where small lakes provide evidence of glacial overdeepening. A panoramic view from north to south across the western flank of the pass reveals conspicuous high level rounding of the limestone rock – a sign that the pass was once overlain with an ice sheet several hundred metres thick. The pass was therefore an area of glacial transfluence from the ice-age glacial systems lying to the south. Only to reach the level of the pass the ice must have filled up the adjacent Shaksgam Valley to a height of 1000m.

After a difficult descent, the caravan does not reach the floor of the Shaksgam Valley till nightfall. Coming from the southeast, the Shaksgam River today drains the meltwater issuing from major glaciers in the East Karakorums. It has accumulated a kilometre wide gravel bed. Downstream, further to the west, the meltwaters of the Skamri, Sarpo-Laggo and K2 glaciers contribute to it.

To reach these glaciers, the caravan is compelled to cross the Shaksgam River with its numerous channels. The camels have to wade through the cold, torrential water of the river. The younger animals are temporarily relieved of their burdens on the near bank. For the crossing they take advantage of the cold morning hours, because by afternoon the level of this meltwater river rises by 20 to 30cm. The suspended load of clay and silt particles gives the glacial meltwater a milky turbidity. The deeper channels have to be crossed diagonally to allow the animals to brace themselves against the current. The risk of capsizing increases sharply the moment the water reaches the animals' body.

The expedition was constrained by an extremely tight time schedule, because the Shaksgam Valley is only passable in the second fortnight of August after

the summer spate has abated and the level of the river falls. Only a few days previously, the camels would not have been able to ford the surging meltwater torrent.

The camels have earned a day's rest. A suitable place for this is a stretch of the south bank covered in Myricariae bushes. Here the animals find adequate pasturage. The bushes are supplied by groundwater, i.e. glacial meltwater. Rainfall hardly ever occurs here. Because of the Shaksgam's meandering course across the valley floor, the river has to be forded several times.

Two more days elapsed on the way down the Shaksgam Valley, up the lower Muztagh Valley and through the ravine leading to K2, before reaching the snout of the glacier. Meanwhile, a depot was set up at 3970 m altitude on the so-called "Green Ground" where the camels could graze until the return march.

Following the Shaksgam River the caravan passes through a vast trough valley. The flanks of dolomite rounded by glacial abrasion and polishing are footed by talus fans and alluvial cones which have been repeatedly undermined by fluvial action. Enormous fluvial activities also keep the walls of the tributary side valleys steep so that the caravan has to cross the torrent of the K2 glacier several times. Up here, close to the glacier, the very coarse debris washed out of the moraines presents a considerable challenge to the camels' endurance and surefootedness. The progress of the caravan is now repeatedly delayed. Finally, part of the load has to be set down to enable at least an advance party to reach the site of Base Camp before nightfall.

The ravine broadens into a tongue-like basin, from which the glacier receded only a few decades ago. From here there is a view of the highest point of the Karakorum system, the summit of K2 – Mount Godwin-Austen. With its altitude of 8617m it is the second highest peak in the world. K2 belongs to the accumulation zone of the glacier, which is the expedition's task to investigate in the coming weeks.

Directly beneath the face of the glacier snout, on September the 2nd, Base Camp was erected at 4130 m. Bit by bit during the following days, loads are delivered from the various depots. The climatological station can now be set up: a cup anemometer for measuring wind velocity and direction, two of these global actinometers with a hemispherical measurement range, as well as a radiation balance meter. The special climatic and weather conditions prevailing in the immediate forefield of this Karakorum glacier are also measured by soil temperature probes and a thermo-hygrograph. The measurement

data are acquired throughout the entire duration of fieldwork. For safety reasons, the tents could only be pitched on a narrow strip of moraine above the glacial meltwater stream.

The botanist Bernhard Dickoré registers this ecotope by recording its inventory of vegetation and flora. Here in the immediate forefield of the glacier, on the slopes of the recently thawed lateral moraines, only herbs and dwarf shrubs have been able to establish themselves. They are sheltered from the cold glacier wind by the large blocks of detritus. Two or three specimens of each plant species are pressed in a field herbarium. When new plants are entered, the older specimens are repositioned to gradually facilitate complete desiccation.

At Base Camp, cameraman Kuno Lechner is checking his equipment for the filmic documentation of the higher ascent and the work in the vicinity of the glacier. The tent offers the necessary shelter from wind and dust.

The glacier snout, at a distance of 18 km from K 2, is currently advancing again. The bulging tongue is covered with superglacial moraine several metres deep. From a high viewpoint on the orographic left glacial flank there is a panorama from the snow-capped Aghil Mountains in the north across the entire K 2 glacier to the south. The surface moraine covers this valley glacier over its entire width for a length of 6 km. Only at a height of 4 650 m are larger areas of ice exposed. This type of moraine is characteristic of the ablation zone of the glacier, i.e. the climatic contour step in which glacial melting exceeds nourishing. Here in the middle of the glacier a further climatological station was installed. Calibration on the loose debris covering was very critical.

The valley glacier system selected for investigation included, besides the main glacier flowing from K 2, also the 10 km long Skyang-Kangri glacier. Its nourishment zone, the 7544 m high Skyang Kangri, lies to the northeast of K 2 on the main ridge of the Karakorum. At the confluence of these two glaciers the first of the high altitude camps, Intermediate Camp, was to be erected at a height of 4 670 m. It was important for commissioning this camp to find a way across the glacier from Base Camp that would be retraceable even in bad weather. It would have to be without too many countergradients and negotiable with loads in a single day's march. The climatological station on the glacier was erected at the half way mark between the camps.

After the German scientists had explored the route, at the beginning of September they took the first payloads up to Intermediate Camp: the Ger-

man leader of the expedition Professor Matthias Kuhle, Andreas Schulze, Holger Dietrich, Bernhard Dickoré, Jens Peter Jacobsen, and Kuno Lechner.

The way leads past episodic glacial moulins, vertical sink-holes in the ice full of meltwater, but also past large ice caverns near the marginal zone of the glacier. They show broad bands of transverse morainic deposits, exposing the stratified structure of the ice. This is the zone of ice pyramids in which aerated white ice rises above the surface moraine. Beneath the ice bed that produces the pyramids, the transverse moraine is exposed more extensively. It separates the overlying ice, nourished by avalanches, from an underlying primary glacial trunk. Here at the eastern glacier margin, a gravel cover has been infilled in the adjacent ablation valley. These deposits were built up by the Skyang-Kangri glacier stream from the eastern side valley against the barrier of the main glacier.

Intermediate Camp has been pitched on the oldest aggradiation terrace. The stream is so powerful at this time of year that it is turbid with suspension load throughout the day. For washing rice this does not bother the Chinese cook at all. But when brewing hot drinks he allows the water to settle. In the central camps cooking is done on petrol fuelled stoves because there was a good supply of this at Kashgar. In the more isolated high altitude camps the scientists use the gas cookers brought from Germany. For several weeks Wang Daxian will cater for Intermediate Camp. The other Chinese cook remains to look after Base Camp.

From Intermediate Camp feasible ascent routes to the upper reaches of the glacier have to be explored as quickly as possible. The intended route along the eastern margin of the glacier proved too exposed to rock fall hazard. Route plans have to be modified several times. The high altitude party are under pressure of time. To monitor their state of health the expedition physician Dr. Li Boliang has come up to Intermediate Camp.

Only 10 to 20 years previously, the several hundred metres wide basin between the glacier margin and the valley slope, where the camp was pitched, accommodated the end of the Skyang-Kangri glacier tongue. This glacier tongue had piled up terminal moraine to a height of 60 m against the ice pyramids of the K2 glacier. Behind it, meltwater has been dammed up. In contrast to the Skyang-Kangri glacier, the opposing side glaciers flow steeply down from their accumulation basins. In the shadow of the western flank, they still today merge into the main glacier.

After a trail has been blazed through the marginal labyrinth of ice pyramids the terrain becomes easier to negotiate. The route to K2 now leads along a

ridge of surface moraine following supraglacial meltwater streams. This route can be more or less adhered during the following weeks – because the strips of surface moraine partly covered with new snow only change very slowly. The strong insolation on clear days promotes melt ablation typical of subtropical latitudes and allows the ice pyramids to grow up to a height of over 20 m.

On this upper route numerous countergradients have to be surmounted. On September the 13th the advance party had carried up several tents to erect an advance high altitude camp on the northern spur of K 2. The first groups of porters are now carrying equipment, including the third climatological station, up the glacier. On these sections of the glacier the top moraine still covers half the glacier's ice surface. It has sunk in many metres below the level of the ice pyramid peaks. The reason for this is the strong thermal effect of insolation, but also its shallow depth so far.

The route from Intermediate Camp to the north spur of K 2 is 10 km in length and the high altitude camp is often reached only towards evening.[1]

The tents of the high altitude camp were pitched at 5 150 m at an ideal location in the middle of the accumulation zone of the K 2 glacier. From here all the planned forays to the firn fields to the west and east could be accomplished in one-day excursions. At 5 330 m right beneath the north spur of K 2 the high altitude climatological station was set up.

When the sun begins to illuminate the peak of K 2, the glacier and camp are still long in shadow. The lowest temperatures are registered in the early morning hours. Even in this season they can fall to below –20 °C. But inside the double-walled tents set up between the blocks of surface moraine, the temperature drops only a little below freezing.

Andreas Schulze is responsible for meteorological measurements at the camp, which register weather conditions morning, noon and evening.

"We have 20 mm of melted fresh snow. The atmospheric temperature. Atmospheric temperatures at 2 m: –6.7 °C; at 1.5 m: –6.5 °C; and at 2 cm in shadow over fresh snow: –6.0 °C. Now the relative humidity: All three values are 51 %."[2]

The observations include albedo measurements to register the radiation balance of the glacial surface. After new falls of snow, the reflection value is at its highest – almost 95 %.

[1] End of the first film reel.

[2] The passages in quotation marks refer to the original sound of the scientists.

"Insolation value: 640 W/m^2; reflection from fresh snow surface: 570 W/m^2. The wind velocity: 1–2 m/s from the southeast downvalley."

"We're going to follow the medial moraine to below the north spur as far as the depot, then up to the right in the direction of Sarpo-Laggo Pass and we'll try to keep that direction for two or three hours today."

The high altitude climatological station is installed in the initial period. The scientists drag the equipment up the glacier to the western firn basin. Weighing only 75 kg, this is the lightest of the weather stations. But it is also the most complex. It is kept functional at very low temperatures by battery heating. The measuring computer is additionally powered by a solar collector. Part of the installation is buried in the snow. The second working party collects snow and firn samples here at 5330 m along a profile extending down to the glacial ice surface.

"We can take 3 samples from this good profile. At the bottom solid ice: 0.3 g/cm^3, and the firn line is quite clearly delineated and – above it the old snow."

The measuring facility consisting of many individual components is roped tightly to its mast. Then it is connected up to the registration computer and the energy sources via a central distribution box. To obtain sufficient quantities for subsequent analysis, the snow and firn samples are melted on the spot.

The weather station is designed to record and store unattended on twelve channels the weather conditions during the coming weeks both above and below the snow surface of the western firn basin. The weather has kept good all day long, enabling the scientists to complete the erection of the weather station by evening.

Overnight several centimetres of snow have fallen at the high altitude camp. Heavier snowfalls would compel them to descend to a lower camp. Neither would the measuring station continue to function in deeper fresh snow. At this time of year the high altitude camp is located just below the equilibrium line, so glacial meltwater is available on warm days. In these larger Karakorum glaciers the meltwater in this section runs into the glacial trunk as well. This is termed a warm infiltration zone.

To stay healthy the expeditioners need to have a high fluid intake. That is why at all meals and also on outdoor excursions they are offered tea, broth or electrolytic tonics. It is advisable to drink 3 to 5 lt a day – in spite of the reduced thirst caused by the cold.

The tasks in the firn basin are mainly executed by the German scientific party. In good weather porters from Intermediate Camp bring up further instruments and supplies. Their loads are 20–25 kg in weight. Several of the camel drivers also work as porters while their animals are grazing at the Green Ground. But special high altitude porters were also hired to follow up the caravan. On their return march, the porters are entrusted with the melted snow samples for subsequent analysis in Germany.

Every day, and after snowfalls often hourly, avalanches thunder down the slopes of K2. They spread out across the entire firn fields. The crew at the high altitude camp get together time and again to coordinate the programme of experiments with the prevailing weather conditions.

"The question is whether to send up a rope crew or finish our sampling programme." – "It would be sensible to finish it." – "I'm not sure whether it would be advisable to take samples close under the face after these heavy snow falls last night. The weather is good and it was our intention but the avalanche hazard is strong today." – "We must consider that after that snow we won't be able to access the places we intended to." – "We needn't go up to the avalanche snows but we can take samples on the glacier." – "Below the cone." – "Maybe we'd get some different values there." – "Unless an ice avalanche came from an ice cornice." – „I'd like to take two samples from the glacier here, one from fresh snow and one from ice. Then we have four sets for today." – "And we'll need to melt the samples down again so we'll be needing the stove and a pot."

Telemetric measuring methods are regularly used to measure the surface temperature and cline of inaccessible faces.

"Basis at measuring centre 5300: –8 °C."

In this way the conditions of flank ice formation in areas of differing exposure and their alteration at different altitudes can be registered.

"Foot of wall, 5300 measuring centre, shadow value: –13 °C."

On K2 measurement values can be obtained from extreme heights.

"Snow area below hanging glacier, shadow, measuring centre 8000: –25 °C. On entire rockface at same height: –21 °C."

Every ascent to the firn fields follows the medial moraine up to the base of the K2 north spur. The eastern firn basin is stepped. Its containing walls belong to the assembly of the 7½ thousand metre high Skyang Kangri. To

the north it abuts onto an arête with its over 6000 m high summits, separating the K2 Valley from the Skyang-Kangri Valley behind. The western firn basin is much more extensive. If heavy equipment has to be moved, porters are engaged as well. They have never been up as high as these inaccessible glacier fields. A firn saddle, behind which the accumulation zone of the Sarpo-Laggo glacier begins, forms the western boundary of the K2 glacier system. The walls of the firn basin are extraordinarily steep and high. The major proportion of total glacier alimentation is therefore due to avalanche feeding.

The investigations had to be interrupted twice on account of poor weather conditions. Because of the snowfalls, the scientists had to descend to Intermediate Camp for several days. Here at the confluence of the Skyang-Kangri glacier, investigations into the movements of periglacial talus were interposed. The water content of the unconsolidated rock is crucial to movement. With a hygrometric probe Matthias Kuhle therefore takes readings of relative humidity and temperature at several horizons.

"71 % relative humidity. At a temperature of 0.4 °C at the same depth. 1 cm above the talus depending on atmospheric movement, 5.7 to 4.5 % relative humidity."

But the intensity of solifluction also depends on the water absorbtivity of the rocks involved and the degree of slope.

Here at Intermediate Camp several centimetres of snow have also fallen. By radio telephone to Base Camp the Chinese camp manager learns that even in the glacial forefield, 600 m further down, snow is lying. He maintains radio contact to arrange the deployment of porters and organize the transport of supplies. He can also establish exactly where the members of the expedition are at any given time.

Further observations of the terrain are dedicated to the investigation of the forefields of the glaciers. Here at the Skyang-Kangri glacier, along the abraded valley flanks, at the last glacial retreat the decaying tongue has left behind several deposits of dead ice. Typical of its inner structure is the conspicuously coarse grain size of the glacier ice crystals, which may attain a length of over 5 cm. Dead ice can survive for several decades under a debris covering. In contrast to the main glacier, the Skyang-Kangri glacier tongue is still retreating today.

This tributary glacier flowing from Skyang Kangri to the K2 Valley is currently 8 km long. It is nourished unilaterally from the shadowed orogra-

phic left valley flank. A short day's march from the K 2 glacier, on the 30th of September, two tents were pitched at 5 120 m as a base for exploration of the Skyang-Kangri glacier.

The very clear weather allowed measurements to be made here too with the infrared telethermometer.

"Measurement here in camp, insolated firn: –7 °C."

Each measurement comprises, besides the altitude, the type of surface material, the insolation intensity as well as the slope profile group and exposure factor. The highest measurement fields are afforded by the 7544 m high Skyang-Kangri summit.

The ascent is made via the rock-fall and morainic boulder-field on the sunlit side of the valley. During this glaciomorphological exploration the firn field below Skyang Kangri was trod for the very first time. The other valleys and glaciers on this side of the Karakorum main crest are still practically unknown as expeditions have only passed through the area sporadically. The glacial regions had not been scientifically investigated at all until this Sino-German expedition. Aerial maps have been available for some time and even a satellite survey has been conducted.

The ice masses flowing from the mainly shadowed flank are nourished to a major extent by drifted snow. The wind carries the snow over the crest and deposits it to form massive cornices on the ridge and overhanging ledges on the face. This produces numerous avalanches. The riffle ice deposit on the steep slopes indicates frequent minor avalanche activity, while cornice fracture produces very massive falls. Even on the equilibrium line this ice has a temperature of only –6 °C to –10 °C. It is very brittle and flows extremely viscously towards the valley glacier.

In Intermediate Camp the scientists can indulge in freshly prepared Chinese specialities for once, e. g. cookies with meat stuffing. It is a welcome change compared to their canned high altitude provisions. The cookies are served with broth from the fresh mutton used for the stuffing, generously laced with garlic, chilli and salt. Copious draughts of green tea round off the menu.

It is now the second week of October, and after several weeks' work, the activities at the foot of K 2 have to be concluded. In the western firn basin the weather station has already been dismounted. The porters are waiting to carry the instruments and equipment down again. The leader of the expedition and Jens Peter Jacobsen are discussing the weather situation. It would be inadvisable for the expedition to be taken unawares by the first winter snowfalls.

"It's already nearly mid-October, we've got a couple more good days to get the equipment down. Every night at least 10 cm of fresh snow, making it impossible to work in the camps."

Final samples are taken to evaluate the composition of the fresh snow falling above the equilibrium line towards the end of the season. With the help of the 1 lt plunging cylinder the water volume can be established – and hence the amount of precipitation.

The 20 km long descent over the glacier along familiar paths is accomplished much more quickly than the various ascents six weeks previously. On the 11th of October, Intermediate Camp is struck. At Base Camp preparations for departure are already underway. Several transports to the depot camp at the Green Ground have already been effected. The pack animals must also leave the difficult terrain before the snow begins to lie.

Thanks to its central location in the Muztagh Valley at the confluence of the K2 glacier, the Sarpo-Laggo and Skamri glaciers, the camp at the Green Ground at a height of 3970 m was a favourable starting point for investigations of the glacial forefields. While the Chinese hydrologists and the botanists had been working in this area for some time, the German geographers had only one more week before returning over the Aghil Pass. It was absolutely imperative not to miss the right moment to cross the passes before the winter snowfalls.

In this hostile alpine environment, a valley floor, which has not been scoured completely by meltwater torrents and therefore allows soil and vegetation to develop, is an exception. Alpine turf, dwarf shrubs and Myricariae bushes offer pasturage even into the fall for the last nomadic sheep – and of course the camels. The native fauna is very limited in this area. At camp the equipment and baggage are being assembled. The camel drivers cook noodles and brew tea. They make the most of the break before the strenuous return march.

At this time of year the Karakorum north slopes are daily prone to sudden storms in the afternoon hours. They blow sand, silt and loess dust from the gravel fields of the glacial forefields. In gusts the load is carried up above the snow line. Not until evening is it possible to get a view down the Shaksgam Valley again.

Holger Dietrich sets out once more for the K2 glacial stream to complement the earlier flow readings by measurements taken on a representative autumn day. Water samples serve to determine the suspension load, i.e. the glacial

turbidity. At several points along the stream profile he measures the flow velocities with a hydrometric current meter. The readings are taken at regular intervals throughout the day. Since the first summer measurements the flow volume has decreased by up to one fourth. Compounding the snow thickness in the firn fields and the downflow volume results in a total annual precipitation for the K2 glacier above the equilibrium line of 1200 mm.

Matthias Kuhle is investigating the composition of a late ice-age bank moraine 400 m above the Muztagh Valley. Here too, the composition of the fine matrix material should provide clues about the details of transport and deposition processes. Further inside he takes thermo-luminescence samples for age determination. They have to be packed in a light-proof container.

Across extensive gravel beds occupying the entire breadth of the valley floor, one approaches the Skamri glacier flowing from the west. The high thawing rate at the glacier outlet proves that this glacier is in retreat. At 43 km in length the Skamri glacier is the largest in the region. It is up to now unexplored and has probably never even been trodden. The glacier's tongue ends at 4030 m, and, a typical feature of large glaciers, there is a total lack of terminal moraines. Its prerecent extent can only be extrapolated from the evidence of earlier lateral moraines.

On October the 19th the expedition leaves the Muztagh Valley and heads again to the north in the direction of Shaksgam. In late autumn there is no difficulty in fording it. In biting cold weather the Aghil Pass is reached in a day and a half. Fortunately, it is still free of snow. The animals have to rest. After weeks of deficient diet in the rough alpine climate they are weakened, anyway. Before reaching Mazar Station on the southern foothills of the white Kunlun Mountains, the caravan has four more days' march ahead of it.

On the gravel beds of the lower Surukwat Valley the camels have the opportunity to graze the autumnal brown Myricariae bushes. From a rocky outcrop one can once again survey the total topographical context of ice-age landscape development up to the late glacial accumulation of these gigantic aggradiation terraces.

At Bazar Dara, before starting out on the final march together, the entire expedition crew pose for a group photograph. Surrounded by the drivers and porters are the scientists, with the German and Chinese leaders of the expedition.

In the Yarkand Valley a group remains behind to cut peat samples. For the expedition botanist the alluvial soil so rarely preserved in situ provides impor-

tant evidence of vegetation history. And the geomorphologist is able to date the minimum age of the alluvial bed underneath.

From Mazar the return journey through the Kunlun Range is again motorized. On leaving the mountains, the scientists had another opportunity to investigate evidence of the ice-age glacierization of western Tibet. Here on the northern skirts of the Kunlun, the mountain spurs are prolonged by Pleistocene moraines extending tens of kilometres into the Tarim Basin. Lying adjacent to one another in a broad marginal zone, they form the boundaries of former tonguelike basins associated with the outlet glaciers of the last major glaciation. A circlet of irrigation oases at a height of 2000 m is linked up with them, of which those at Tess and Pusseh were visited.

The mountain skirts are formed of crystalline slates and limestones. The transition from this bedrock to the accumulated morainic material is recognizable. These morainic ramparts were piled up to a height of 400 to 600 m in the course of Pleistocene glaciation. The last time the outlet glaciers reached as far as this area was 20 000 to 30 000 years ago, i. e. during the last ice age. Ravines several metres deep have been incised into the post-glacial loessial cover. In the late glacial period, the tonguelike basins were backfilled with gravel beds, which on leaving the basin could spread out in broad fans over the Tarim Basin.

While scouting the tonguelike basins, foreland moraines and younger aeolian sandcoverings the main topic of specialist discussion was the unusual coincidence of desert climate and glacierization.

In view of the extreme climatic discrepancy it was previously judged to be inconceivable for ice-age glaciers to extend so far into the desert.

Matthias Kuhle explains his view of a very cold glaciation which would have been able to extend over a vast area even with low precipitation.

Xue Daoming explains to his assistant Ding Yongjiang the consequences of this theory. He points out to him the presence of large erratic blocks. These could have reached their position neither by fluvial action nor by mud flows, but only by glacial transport.

On the wide areas of sand, ripple marks are formed and advanced in the direction of the prevailing wind. The aeolian sand fills up the late glacial gravel beds, which inside the tonguelike basins form a terraced landscape. Irrigation oases are found wherever the lower terrace spreads wide, a little above today's river course. So, in this extremely arid region small areas of

luxuriant vegetation occur. This is only made possible by the meltwater of allogenic rivers flowing down from the distant mountains. The oases are nonetheless threatened by the desert climate. From the margins the cultivated fields of Tess are in danger of burial under broad banks of aeolian sand.

The soil in these oases is extremely fertile because the largely unweathered rock debris of the aquiferous gravel layers bears large quantities of plant nutrients. The strong evaporation rate causes these to rise to the top soil, making inorganic fertilization redundant. The danger of soil salinization from still deeper layers is non-existent because the aquiferous ground moraines seal off the gravel beds from the substrate.

The settlement at Pusseh 17 km to the west represents another type of oasis not connected to a river. Here at the termination of a former tonguelike basin the gravel beds are only of shallow thickness; the ground moraine almost rises to the surface and forms a springline. Wherever the morainic layer is exposed at the bottom of excavated collecting basins, the groundwater appears. This is also the starting point of the irrigation channels. Rows of trees serve as windbreaks. Thick walls of clay guarantee the inhabitants an equable room temperature, despite the extreme continental climate of central Asia.

The excursion to these two oases on the farthest periphery of ice-age glaciation marked the end of a scientific expedition, dedicated not only to the reconstruction of glacial conditions, but also to the elucidation of the mountain landscape as it appears today. At the beginning of November the expedition embarked on its return journey via Kashgar, Urumchi and Beijing.

Bibliographie

Literatur

[1] Chen, J.Y.: Recent Development of Geodesy in China. AVN-International Edition 5 (1988), 26–32.

[2] Feng Qinghua: Characteristics of Glacier Outburst Flood in the Yarkant River, Karakorum Mountains. In: M. Kuhle und Xue Daoming (Hrsg.): Tibet and High-Asia, Results of the Sino-German Joint Expeditions (II). GeoJournal 25, 2/3 (1991), 255–263.

[3] Flohn, H.: Bemerkungen zur Klimatologie von Hochasien. Aktuelle Schneegrenze und Sommerklima. Akad. Wiss. Lit., Abh. Math.-naturwiss. Kl. (Mainz) 14 (1959), 309–331.

[4] Höfer, H. v.: Gletscher und Eiszeitstudien. Sitzber. Akad. Wiss. Wien, Math.-phys. Kl. I, 79 (1879), 331–367.

[5] KUHLE, M.: Klimageomorphologische Untersuchungen in der Dhaulagiri- und Annapurna-Gruppe (Zentraler Himalaya). Tagungsber. u. wiss. Abh. 42. Dt. Geographentag in Göttingen 1979. 1980, 244–247.
[6] KUHLE, M.: Der Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya. Ein Beitrag zur Geomorphologie extremer Hochgebirge. Z. f.G., Suppl.bd. 41, 1 und 2 (1982), 1–229 und 1–184.
[7] KUHLE, M.: Was spricht für eine pleistozäne Inlandvereisung Hochtibets? Sitzber. Braunschweig. Wiss. Ges. (Göttingen), Sonderh. 6. (1982), 68–77.
[8] KUHLE, M.: Der Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya. Empirische Grundlage. Z. f.G., Suppl.bd. 41, Ergänzungsbd. 1983, 1–383.
[9] KUHLE, M.: Zur Geomorphologie Tibets. Bortensander als Kennformen semiarider Vorlandvergletscherung. Berliner Geograph. Abh. 36 (1984), 127–137.
[10] KUHLE, M.: Ein subtropisches Inlandeis als Eiszeitauslöser. Südtibet- und Mount Everest-Expedition 1984. Georgia Augusta 1985, 35–51.
[11] KUHLE, M.: Die Obergrenze der Gletscherhöhenstufe – Oberflächentemperaturen und Vergletscherung der Himalayaflanken von 5000–8000 m. Z. f. Gletscherkde. u. Glazialgeol. 22, 2 (1986), 149–162.
[12] KUHLE, M.: Die bilaterale Gletscherregion und der Befund einer darüberliegenden Felshöhenstufe im Himalaya. In: M. KUHLE (Hrsg.): Internationales Symposium über Hochasien und Tibet 1985. Verhandl.bd., Göttinger Geogr. Abh. 81 (1986), 185–206.
[13] KUHLE, M.: Die Vergletscherung Tibets und die Entstehung von Eiszeiten. Spektrum Wiss., Scientific American 9 (1986), 42–54.
[14] KUHLE, M.: Glacial, Nival and Periglacial Environments in Northeastern Quinghai-Xizang Plateau (Tibet). Sino-German Scientific Expedition 1981. Beijing, China, 1987, 176–244.
[15] KUHLE, M.: The Problem of a Pleistocene Inland Glaciation of the Northeastern Quinghai-Xizang Plateau (Tibet). In: J. HÖVERMANN und WANG WENYING (Hrsg.): Reports on the Northeastern Part of the Quinghai-Xizang (Tibet) Plateau by the Sino-German Scientific Expedition. Beijing, China, 1987, 250–315.
[16] KUHLE, M.: Subtropical Mountain- and Highland-Glaciation as Ice Age Triggers and the Warning of the Glacial Periods in the Pleistocene. GeoJournal 14, 4 (Juni 1987), 393–421.
[17] KUHLE, M.: Letzteiszeitliche Gletscherausdehnung vom NW-Karakorum bis zum Nanga Parbat (Hunza-Gilgit- und Indusgletschersystem). Tagungsber. u. wiss. Abh. 46. Dt. Geographentag 1987, München. Stuttgart 1987, 606–607.
[18] KUHLE, M.: The Pleistocene Glaciation of Tibet and the Onset of Ice Ages – An Autocycle Hypothesis. Hrsg. von M. KUHLE und WANG WENYING. GeoJournal 17, 4 (1988), 581–597.
[19] KUHLE, M.: Zur Auslöserrolle Tibets bei der Entstehung von Eiszeiten. Spektrum Wiss., Scientific American, Jan. 1988, 16–20.
[20] KUHLE, M.: Die eiszeitliche Vergletscherung W-Tibets zwischen Karakorum und Tarim-Becken und ihr Einfluß auf die globale Energiebilanz. Geogr. Z. 3, 76 (1988), 135–148.

[21] KUHLE, M.: Eine reliefspezifische Eiszeittheorie. Nachweis einer tibetischen Inlandvereisung und seiner ernergetischen Konsequenzen. Die Geowiss. 6, 5 (1988), 142–150.

[22] KUHLE, M.: Geomorphological Findings on the Build-Up of Pleistocene Glaciation in Southern Tibet and on the Problem of Inland Ice. Results of the Shisha Pangma and Mt. Everest Expedition 1984. Hrsg. von M. KUHLE und WANG WENYING. GeoJournal 17, 4 (1988), 457–511.

[23] KUHLE, M.: Die Inlandvereisung Tibets als Basis einer in der Globalstrahlungsgeometrie fußenden, reliefspezifischen Eiszeittheorie. Petermanns Geogr. Mitt. 133, 4 (1989), 265–285.

[24] KUHLE, M.: New Data on the Pleistocene Glacial Cover of the Southern Border of Tibet: The Glaciation of the Kangchendzönga Massif (8585 m E-Himalaya). GeoJournal 20, 4 (1990), 415–421.

[25] KUHLE, M.: The Probability of Proof in Geomorphology – an Example of the Application of Information Theory to a New Kind of Glacigenetic Morphological Type, the Ice-Marginal Ramp (Bortensander). GeoJournal 21, 3 (1990), 195–222.

[26] KUHLE, M.: Die Vergletscherung Tibets und ihre Bedeutung für die Geschichte des nordhemisphärischen Inlandeises. In: B. FRENZEL (Hrsg.): Klimageschichtliche Probleme der letzten 130000 Jahre. Mainz 1991, 293–306.

[27] KUHLE, M.: Glazialgeomorphologie. Darmstadt 1991.

[28] KUHLE, M.: Observations Supporting the Pleistocene Inland Glaciation of High Asia. In: M. KUHLE und XUE DAOMING (Hrsg.): Tibet and High-Asia, Results of the Sino-German Joint Expeditions (II). GeoJournal 25, 2/3 (1991), 133–231.

[29] KUHLE, M.: The Pleistocene Glaciation of the Himalaya and Tibet and Its Impact on the Global Climate. A Relief-Specific Ice Age Theory. Journal of the Nepal Research Centre. Bd. IX. Wiesbaden 1993, 101–140.

[30] KUHLE, M.: A Short Report of the Tibet-Excursion 14-A, Part of the XIII INQUA Congress 1991 in Beijing. GeoJournal 29, 4 (1993), 426–427.

[31] KUHLE, M.: Eine Autozyklentheorie zur Entstehung und Abfolge der quartären Kalt- und Warmzeiten auf der Grundlage epirogener und glazialisostatischer Bewegungsinterferenzen im Bereich des tibetischen Hochlandes. Petermanns Geogr. Mitt. 137, 3 (1993).

[32] KUHLE, M.: Present and Pleistocene Glaciation on the Northwestern Margin of Tibet between the Karakorum Main Ridge and the Tarim Basin Supporting the Evidence of a Pleistocene Inland Glaciation in Tibet. GeoJournal 33, 2/3 (Juni/Juli 1994).

[33] KUHLE, M., K. HERTERICH und R. CALOW: On the Ice Age Glaciation of the Tibetan Highlands and Its Transformation into a 3-D Model. GeoJournal 19, 2 (1989), 201–206.

[34] MILANKOVIĆ, M.: Kanon der Erdbestrahlung. Belgrad 1941.

[35] NORIN, E.: Quaternary Climatic Changes within the Tarim Basin. Geogr. Rev. (New York) 22 (1932), 591–598.

[36] Norin, E.: The Pamirs, K'unlun, Karakoram and Chang T'ang Regions. Sino-Swedish Expedition. Publ. 54/1. Geography. Bd. 3/1. Stockholm 1982, 1–61.
[37] Porter, S.C.: Quaternary Glacial Record in Swat Kohistan, West Pakistan. Bull. Geol. Soc. Amer. 81 (1970), 1421–1446.
[38] Schneider, H.J.: Zur diluvialen Geschichte des NW-Karakorum. Mitt. Geogr. Ges. München 44 (1959), 201–216.
[39] Schroeder-Lanz, H.: Beobachtungen zur rezenten und eiszeitlichen Vergletscherung am Kongurshan/Pamir, Himmelssee/Tienshan und Koko Nor-Nanshan Qaidam. In: M. Kuhle (Hrsg.): Internationales Symposium über Tibet und Hochasien, Okt. 1985. Göttinger Geogr. Abh. 81 (1986), 39–58.
[40] Shi Yafeng und Wang Jing-Tai: The Fluctuations of Climate, Glaciers and Sea Level since Late Pleistocene in China. Sea Level, Ice and Climatic Change. Proc. Canberra Symp. 1979.
[41] Tafel, A.: Meine Tibetreise. Eine Studienreise durch das nordwestliche China und durch die innere Mongolei in das östliche Tibet. 2 Bde., Karte. Stuttgart 1914.
[42] Trinkler, E.: Geographische Forschungen im westlichen Zentralasien und Karakorum-Himalaya. Wissenschaftliche Ergebnisse der Dr. Trinklerschen Zentralasien-Expedition. Berlin 1932, 1–133.
[43] Wissmann, H. v.: Die heutige Vergletscherung und Schneegrenze in Hochasien mit Hinweisen auf die Vergletscherung der letzten Eiszeit. Akad. Wiss. Lit., Abh. Math.-naturwiss. Kl. (Mainz) 14 (1959), 1103–1407.
[44] Zabirov, R.D.: Oledenenie Pamira. Moskau 1955.

Filmveröffentlichungen

[45] Kuhle, M.: Die Südtibet- und Mt.-Everest-Expedition 1984 – Geographische Untersuchungen in Hochasien. Film D 1607 des IWF, Göttingen 1986. Begleitpublikation von M. Kuhle. Publ. Wiss. Film., Techn. Wiss./Naturw. 9, 5/D 1607 (1986), 37 S.
[46] Kuhle, M.: Heutige und eiszeitliche Vergletscherung Hochasiens – Ergebnisse der Südtibet- und Mt.-Everest-Expedition 1984. Film D 1649 des IWF, Göttingen 1988. Begleitpublikation von M. Kuhle, Publ. Wiss. Film., Techn. Wiss./Naturw. 10, 10/D 1649 (1989), 36 S.

Angaben zum Film

Tonfilm (Komm., deutsch od. engl., Originalton), 16 mm, farbig, 1 005 m, 92½ min (24 B/s). Hergestellt 1986, veröffentlicht 1994.

Der Film ist für die Verwendung im Hochschulunterricht bestimmt. Die Aufnahmen entstanden unter der Leitung von Prof. Dr. Matthias Kuhle, Geographisches Institut

der Universität Göttingen.[1] Aufgenommen, bearbeitet und veröffentlicht durch das Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dore Kleindienst-Andrée; Kamera und Ton: Kuno Lechner und Jens-Peter Jacobsen; Schnitt: Regine Feldmann; Kartentricks: Michael Gradias, Grafisches Atelier, Wolfenbüttel, und Janek Czechowski.

Inhalt des Films

Glazial-geomorphologische Expedition in die Karakorum-Nordseite 1986. Geowissenschaftliche Untersuchungen (geomorphologisch, glaziologisch, klimatologisch, vegetationskundlich) am Westrand des Tibetischen Plateaus zwischen Tarim-Becken und Karakorum-Hauptkamm: Wüste Takla Makan, Kuenlun, Aghil-Gebirge, Karakorum-Nordseite – erste Detailforschungen nördlich des K 2. Es wird der schwierige Expeditionsablauf in unzugänglichem Hochgebirge, vom Anmarsch mit einer Kamelkarawane bis zur Einrichtung von Hochlagern und Meßstationen in der Gletscherregion, gezeigt.

Film Summary

Glacio-geomorphological Expedition to the Karakorum North Slopes, 1986. Geoscientific investigations (geomorphological, glaciological, climatological, phytosociological) on the western scarp of the Tibetan plateau between the Tarim Basin and the main ridge of the Karakorum: the Takla Makan desert, Kunlun, Aghil Mountains, Karakorum north slopes – first detailed studies to the north of K 2. Documentation of the strenuous course of the expedition in the inaccessible mountain terrain, from the approach journey by camel caravan up to the establishment of the high altitude camps and survey stations in the glacial region. The film thereby records the acquisition of scientific findings in the course of this field study.

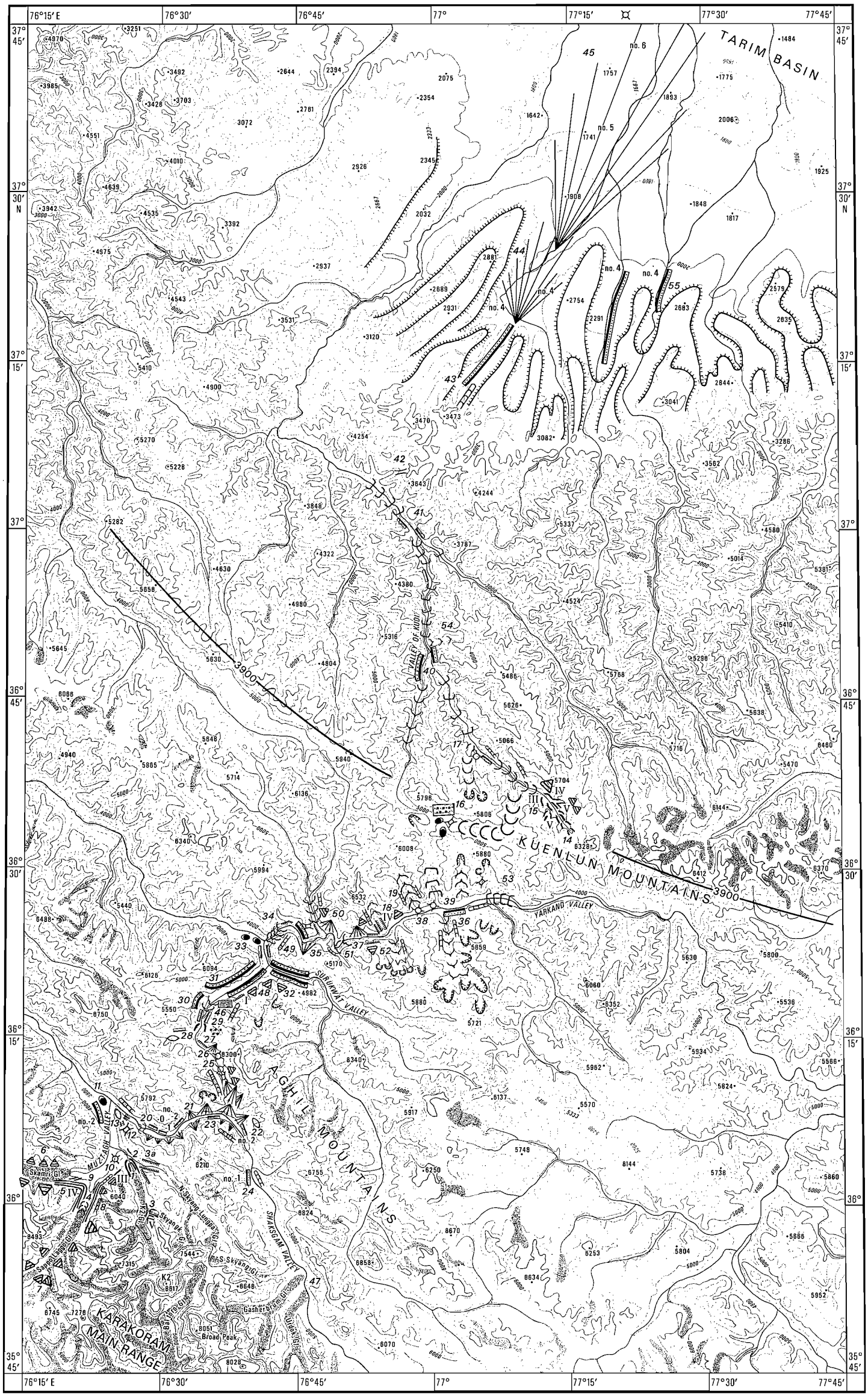
Résumé du Film

Expédition glaciale-géomorphologique au versant nord du Karakorum en 1986. Analyses scientifiques géologiques (géomorphologiques, glaciologiques, climatologiques, phytosociologiques) au bord ouest du plateau tibétain entre le Bassin Tarim et la crête principale du Karakorum: désert de Takla Makan, Kunlun, Montagne de Aghile versant nord du Karakorum – la première recherche detaillée au nord du K 2. Le film montre le déroulement difficile de l'expédition en terre haute inaccessible, à partir de l'approchement en caravane de chameaux jusqu'à l'installation de haut campements et de stations de mesurage dans la région glaciaire.

---

[1] Anschrift des Autors: Prof. Dr. Matthias Kuhle, Geographie/Hochgebirgsgeomorphologie, Geogr. Institut d. Universität, Goldschmidtstr. 5, D–37077 Göttingen.

Abb. 2. Glazialgeomorphologische Indikatoren zur Rekonstruktion der vorzeitlichen Gletscherbedeckung im Untersuchungsgebiet (117 · 190 km²) der Expedition 1986 zwischen Karakorum-Hauptkamm und Tarim-Becken



MATTHIAS KUHLE und DORE KLEINDIENST-ANDRÉE

FILM C 1856

Glazial-geomorphologische Expedition in die Karakorum-Nordseite 1986

Publikation von MATTHIAS KUHLE

Sonderdruck

Publ. Wiss. Film., Techn. Wiss./Naturw. 12 (1996), 185–256.
MATTHIAS KUHLE: Glazial-geomorphologische Expedition in die Karakorum-Nordseite 1986. Film C 1856 von MATTHIAS KUHLE und DORE KLEINDIENST-ANDRÉE. ISSN 0073–8433

GÖTTINGEN 1996

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Publ. Wiss. Film.
Techn. Wiss./Naturw. 12 (1996), 185–256

MATTHIAS KUHLE

Glazial-geomorphologische Expedition in die Karakorum-Nordseite 1986

Film C 1856 von MATTHIAS KUHLE UND DORE KLEINDIENST-ANDRÉE

Mit 14 Abbildungen

Allgemeine Vorbemerkungen

1 Methodik

1.1 Die besondere Bedeutung des Karakorum-, Aghil- und Kuenlun-Gebirges als dem Untersuchungsgebiet der Expedition 1986

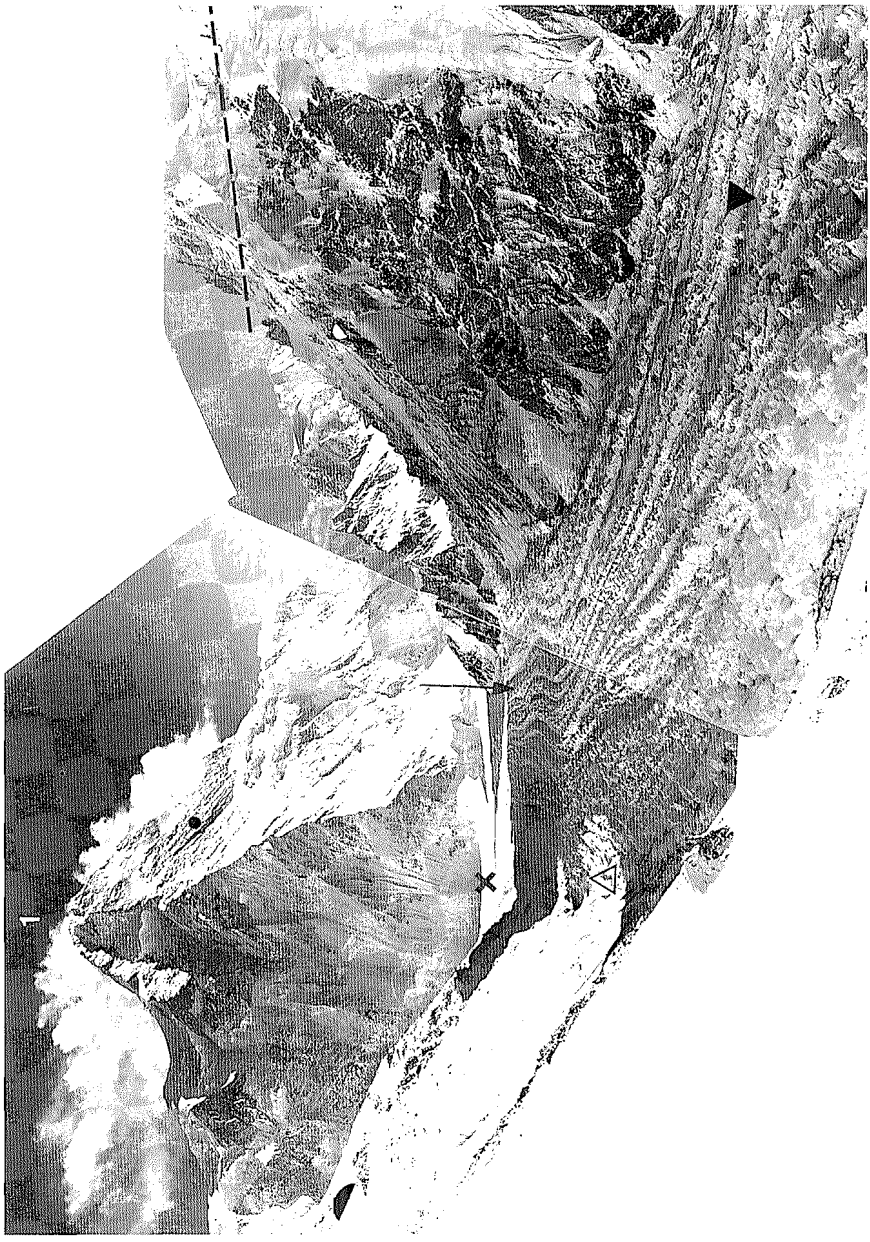
Es war die sechste Expedition des Verfassers nach Tibet und in dessen einfassende Gebirge mit dem Vorhaben, die maximale eiszeitliche Gletscherbedekkung in Hochasien zu rekonstruieren (vgl. KUHLE [13], [45], [46], [23]). Das im Film vorgestellte Untersuchungsgebiet wurde speziell zur Erfassung der Inlandeisdecke bzw. des Eisstromnetzes vor etwa 60 000 bis 18 000 Jahren in den trockenen Gebieten Nordwesttibets ausgewählt. In der Art eines Indizienbeweises hat der Verfasser zuvor und inzwischen glazialgeomorphologische und -geologische Geländedaten aus verschiedenen – zumeist feuchteren – Gebieten Tibets und seiner Ränder zusammengetragen (siehe „Bibliographie"). Die Stringenz, mit der die Untersuchungen verfolgt wurden, zielte auf zwei Qualitäten von Ergebnissen ab. Erstens auf den Beweis eines subtropischen Inlandeises auf dem Tibetplateau und seines eisstromnetzartigen Abflusses durch die Randgebirge hinab. Zweitens auf die räumlich möglichst abdeckende Rekonstruktion seiner Gletschermächtigkeiten, seiner Abflußrichtungen im einzelnen und der spätglazialen Rückzugsphasen. Daher galt es, in der ersten Phase der Untersuchungen möglichst aussagekräftige, d. h. Schlüsselareale für den Nachweis dieses möglichen zusammenhängenden Hochlandeises zu erforschen. Es wurden Testgebiete zunächst in Südtibet

ausgewählt, weil dort die Schneegrenze aus planetarischen Gründen am höchsten verläuft, und dann am Nordrand des Hochplateaus, um durch Interpolation den Nachweis führen zu können, daß die Schneegrenze auf diesem Süd-Nord-Profil weitgehend unter der tibetischen Plateauhöhe verlaufen ist. Das ist darum keineswegs selbstverständlich, weil die mittlere Plateauhöhe von Süden nach Norden abnimmt, so daß die planetarische Schneegrenzinklination von jener Reliefabsenkung nicht überholt werden darf, damit sich ein Inlandeis auch in Nordtibet aufbauen kann. Generell gilt dabei, daß sich auf einer Hochfläche überall dort eine Eiskappe und ein Inlandeis aufbauen konnte, wo die Schneegrenze während der Eiszeit die Reliefoberfläche berührt oder sogar unterschritten hat.

Nachdem durch die Untersuchungen von 1976 bis 1981 wahrscheinlich gemacht wurde, daß die Schneegrenze – trotz ihrer Aufwölbung über dem zentralen Plateau als Folge des thermischen Massenerhebungseffektes – tatsächlich deutlich unter der mittleren Plateauhöhe verlaufen sein muß, und die zentraltibetische Eisbedeckung durch glazialgeomorphologische Stichproben im südlichen Zentraltibet dort bewiesen werden konnte, wo die Schneegrenze heute auf diesem Querprofil am höchsten verläuft, mußte diese

---

Abb. 1. Überblick über die obere Hälfte des K2-Gletschers aus der orographisch rechten Talflanke von 5000 m Höhe (Abb. 2 = Karte als Anlage, unterhalb von Nr. 3) auf den K2 (Tschogori, Nr. 1). Der K2-Nordsporn (Profillinie zwischen Licht und Schatten) leitet vom Ursprungsfirnkessel (✕) des Gletschers aus 5200 m ü. M. über eine annähernd 3420-m-Vertikaldistanz bis zum 8616 m hohen Gipfel hinauf. Dieser über 20 km lange Eisstrom ist ein transversaler Gletscher. Er setzt rechtwinklig am Karakorum-Hauptkamm an. Sein eiszeitlicher Vorläufer war einer der weit verzweigten Ursprungsäste des Shaksgam-Eisstromnetzes (vgl. Abb. 2), dessen Pegel über die höchste Schliffgrenze (– – – –) rekonstruiert werden konnte. Die dort oben aussetzenden Flankenschliffe (◥, ◤) sind während der letzten 18000 Jahre, in denen sich der Gletscherpegel abgesenkt und die Felsen freigegeben hat, durch die Arbeit von Hängegletschern, durch die Denudation von Eislawinen und Steinschlag sowie die täglich an den Schwarzweißgrenzen wirksame Frostverwitterung stark aufgerauht oder gar aufgelöst worden. △ markiert die Reste von spät- bis neoglazialen Ufermoränen, die vom heutigen Gletscherrand unterschnitten werden. ▼ und ▼ bezeichnen Obermoränen, die als Mittelmoränenstränge in die Gletscheroberfläche eingeschmolzen sind, d. h. in diese eingesenkt verlaufen und darum von meter- bis dekameterhohen Eispyramiden flankiert werden. Links von ▼ liegt das Hochlager der Expedition 1986 in 5150 m ü. M. An der K2-Gipfelpyramide (●) sind von Schnee freigewehte, gletscherfreie Gneisfelsen oberhalb der Gletscherobergrenze deutlich zu erkennen.
Standpunkt: 35° 58′ N, 076° 29′ E. Foto: M. Kuhle, 3. 10. 1986



Frage auf die trockensten Gebiete Tibets ausgedehnt werden. Während das bis 1984 bearbeitete Tibetquerprofil immer noch Niederschläge von 300 bis 700 mm/Jahr (Station Lhasa: 449 mm/Jahr) in seinem Zentrum aufweist, gehen diese nach Westtibet auf 200 mm und weniger herunter; in den Niveaus der Talböden des Expeditionsgebietes 1986 um 4 000 m ü. M. sogar auf 100–60 mm/Jahr. Das hat seine Ursache in den sehr ausgeprägten Leelagen von Karakorum, Aghil und Kuenlun, die sich zwischen dem über 8 000 m hohen Karakorum-Hauptkamm (Abb. 1) und dem Tarim-Becken – in welchem sich darum die Wüste Takla Makan ausbilden konnte – erstrecken. Diese extreme Trockenheit, die aufgrund reduzierter Feuchtigkeitsaufnahme der Atmosphäre während der Eiszeit eher noch höher gewesen sein dürfte, war die methodische Verlockung zur Auswahl gerade dieses westtibetischen Grenzgebirgssaumes und führte zu dem im Film festgehaltenen Forschungsunternehmen. Denn wenn sogar in diesem Gebiet eine umfängliche abdeckende Vergletscherung bestanden hat, dann ist die komplette Inlandvereisung ganz Westtibets keine Frage mehr. Warum aber – und diese Anschlußfrage drängt sich nun auf – kann man dem Problem nicht gleich an Ort und Stelle in Westtibet nachgehen, sondern muß den mittelbaren Weg über die nordwestlich anschließende Tallandschaft nördlich des Karakorum-Hauptkammes wählen?

1.2 Bemerkungen zur glazialgeomorphologischen Untersuchungsmethode, zur Hochgebirgsmorphologie und Glazialhydrologie des Expeditionsgebietes

Es ist darum so schwierig, unmittelbar auf dem Plateau in Westtibet die hochglaziale Anwesenheit eines Inlandeises nachzuweisen, weil die zugehörigen Endmoränen dort oben im Gletschernährgebiet nicht anzutreffen sein können. Soweit überhaupt vorhanden, können sie nur sehr viel tiefer, am Unterrand der zugehörigen Gletscherzehrgebiete an den Enden der Auslaßgletscherzungen, abgelagert worden sein. Die Auslaßgletscher zweigten an den Plateaurändern von der geschlossenen zentralen Inlandeisdecke dort ab, wo jene Randgebirgsketten mit ihren Haupttälern in die Tief- und Gebirgsvorländer hinableiten. Hier erfährt das auf dem Hochplateau großflächig kalt und dementsprechend träge abfließende Eis eine sprunghafte Geschwindigkeitsvergrößerung in diese mit etwas steilerem Gefälle abführenden Täler hinab. Aus dem Grund spaltet sich in diesen Randgebieten die zusammenhängende Gletscheroberfläche in einzelne Eisströme auf, über welche die kanalisierenden Gebirgsketten in zunehmender Höhe aufragen. Aber nicht allein, daß auf dem eigentlichen Tibetplateau die hochglazialen Endmoränen fehlen

und allenfalls die spätglazialen Moränen, die während des Eisrückganges im Verlauf von kleinen Gletschervorstößen, von denen der Rückschmelzprozeß kurzfristig unterbrochen wurde, aufgeschoben worden sind, nur noch eine bereits weit hinaufgerückte Schneegrenze nachweisbar machen – auch der glazigene Abtragungsformenschatz ist auf den ebenen Plateauflächen aus zweierlei Gründen weniger ausgeprägt gewesen als in den randlichen Gebirgstälern. Erstens fehlt die erwähnte Einengung und Kanalisierung des Eisabflusses bei größerem Neigungswinkel, und zweitens hatte die Plateauhöhe über der eiszeitlichen Schneegrenze zur Folge, daß das Grundeis am Schutt- und Felsboden – zumindest partienweise – festgefroren war. Dies deshalb, weil man für die Eiszeit in Westtibet aufgrund der bedeutenden Trokkenheit von sehr niedrigen Temperaturen ausgehen muß. So herrschen beispielsweise heute im Schneegrenzniveau des K2-Gletschers auf der Karakorum-Nordseite in 5m Eistiefe –6 bis –10°C in 5200–5300m ü.M. (s. Kapitel „Filmbeschreibung"), was für noch deutlich tiefere Temperaturen am damaligen Inlandeisgrund in Westtibet spricht. Solche Anfriervorgänge wurden vorübergehend durch ein abruptes Abreißen des angefrorenen Eises vom mineralischen Untergrund unterbrochen. Dabei wurde ein Teil des Schutt- und Felsbodens bruchstückhaft aus dem Verband gerissen. Der Untergrund verblieb rauh und bot annähernd dasselbe Erscheinungsbild wie die Frostschuttoberfläche nach der Deglaziation. Auch dort, wo das Grundeis partienweise nicht wirklich festgefroren war, blieb sein Fließbewegungsvorgang dennoch hoch viskos und spröde. Er erfolgte in der für kaltes Eis typischen Blockschollenbewegung, die wie ein grober Hobel den Untergrund beschürfte und eher aufriß, als daß er durch den feinen Schliff warmweichen, d.h. niedrig viskosen Eises geglättet und poliert wurde. Natürlich fehlte hier ohnehin das wichtigste Schmiermittel für einen perfekten Schliff, wie er darum auch nur sehr tief unter der Schneegrenze in den Gletscherzungenbereichen vorgekommen ist, nämlich das subglaziale Schmelzwasser. Das Ergebnis besteht aus einer wenig eindeutig geformten, wenn auch weich gerundeten Felshügeloberfläche mit den makro-morphologischen Merkmalen von klassischen Rundhöckern, die sowohl durch Frostverwitterung aufgerauht als auch subglazial bereits rauh angelegt gewesen sein könnten. Ein zwar nicht prägnant zu nennender, aber wichtiger Indikator für die vorzeitlich abtragende Inlandeisdecke ist im hier weitgehend fehlenden Verwitterungsschutt zu sehen, denn außer einer wenige Zentimeter bis Dezimeter mächtigen Detritusauflage auf dem anstehenden Fels ist das Hochland weitgehend schuttfrei. Selbst in den flach eingelassenen Tiefenlinien und Hochtälerausräumen sind nur gering- (wenige Meter) mächtige Schottersohlen und flachgründige Schwemmschuttfächer aus den Nebentälchen

abgelagert worden. Wären hier über die vielen Jahrhunderttausende, während derer sich das Tibetplateau über der Baumgrenze im Bereich der Frostschuttzone befindet, die durch physikalische Verwitterung angefallenen Schuttmassen liegengeblieben, so böte sich das Bild einer vollständig mit scherbigem Lockergestein eingekleideten und mit größerer Mächtigkeit abgedeckten Schuttlandschaft. Für einen, dem hier deduzierten Inlandeis-Schuttabtransport alternativen, fluvialen Schuttabtransport fehlt der notwendige, sehr viel größere Niederschlag bei den nur geringen Gefällen bzw. Abflußenergien.

Alles, was dem zentralen Hochland als dem Hauptgebiet der Inlandvereisung Tibets an glazialgeomorphologischer Prägnanz, d. h. beweisträchtiger Eindeutigkeit, fehlt, weisen die randlichen Gebirge und somit auch das ausgewählte Expeditionsgebiet 1986 in hohem Maße auf. Das Schema homologer Merkmale nennt die 15 wichtigsten glazialgeomorphologischen Formenelemente, die in diesem Fall auf den Nachweis des Typus „Bortensander" ausgerichtet sind. Dies ist eine Leitform tiefster vorzeitlicher semiarider Eisrandlagen (Kuhle [9], [25]), die klassischen Endmoränen entspricht, in der Regel auch solche enthält und als eine noch umfassendere Akkumulationsform mit an die Moräne anschließenden, steil ins weitere Gletschervorfeld hinausgeschütteten glazifluvialen Schottern (Sanderschürzen) ausläuft. Für unseren Zusammenhang wichtig ist dieses schematische System glazialgeomorphologischer Indikatoren, das mehr oder minder vollständig und modifiziert in allen heutigen und vorzeitlichen Gletschergebieten zu beobachten ist. Während die glazialgeomorphologische Einzelerscheinung mißverständlich bleiben kann und mitunter als Konvergenzerscheinung auf eine andere als die Gletscherursache zurückgeht, gilt das für das System dieser Kennformen nicht. Seine Unverwechselbarkeit liegt in den Lagebeziehungen der Formen. Je größer also die Anzahl der Anzeiger für eine vorzeitliche Vergletscherung ist und je mehr ihre Lagebeziehung dem Gesamtsystem entspricht, mit desto größerer Wahrscheinlichkeit kann der Kanon der Erscheinungen als eindeutig glazigen gedeutet werden (siehe Abb. 2 = Karte als Anlage). Die Bedeutung der Lagebeziehung soll am Indikator „Gletscherschrammen" gezeigt werden. Gletscherschrammen werden annähernd horizontal in den Fels der Talflanken geschliffen. Das hat seinen Grund in der Bewegungsrichtung des Gletschereises talauswärts. Der konvergente Lawinenschliff weist, was die einzelne Schramme betrifft, zum Verwechseln ähnliche Felsverletzungen auf, die mit einem kräftigen „impact" einsetzen und dann abnehmend „ausschwänzen". Ihre Lagebeziehung jedoch ist, sowohl klein- als auch großräumig, vollständig andersartig. Lawinenschrammen sind durch Gesteinsbruchstücke mitführende Lawinenabgänge in der Fallinie der Talflanken

angeordnet, also rechtwinklig zur Gletscherschramme. Außerdem konvergieren und divergieren Talgletscherschrammen nur geringfügig, während Lawinenschrammen eine deutlich stumpfwinkligere, garbenförmige Anordnung aufweisen. Sie wird aus der schnellen Bewegung des Lawinenabgangs verständlich, die beim Aufprall auf den Fels durch den starken Impuls zum Auseinanderstieben der Eis-Schutt-Sturzmasse führt.

Beinahe alle diese glazialgeomorphologischen Leitformen, die hocheiszeitlich entstanden sind, liegen in ihrer spezifischen Anordnung und Lagebeziehung zueinander die kleineren und größeren Quer- und Längstäler des im Film durchmessenen Untersuchungsgebietes hinab (Abb. 2). Diese horizontale Abfolge von Abtragungsformen wie Flankenschliffen mit Trogtalquerprofilen, zurückgeschliffenen Bergspornen mit charakteristischen glaziären Dreieckshängen, Grundschliffen mit Rundhöckern (Abb. 3, ◖ u. ◓), überschliffenen Transfluenzpässen, auf denen hohe Moränenreste, z.T. mit erratischen Blöcken, liegen, mit unter der Schneegrenze ansetzenden Ufermoränenleisten, die sich talabwärts vergrößern und durch Ufermulden und -täler zunehmenden Abstand von den Talflanken gewinnen, so daß der Abtragungsformenschatz zu den tiefsten Eisrandlagen hin progressiv in einen Akkumulationsformenschatz bis hin zu Endmoränen in den Tälern oder noch weiter auswärts in den Gebirgsvorländern übergeht, bildet die Grundlage des Vergletscherungsnachweises (Abb. 2, Nr. 43 u. 44). In diesem Nachweis enthalten ist zugleich die überlagernde Abfolge des hypsometrischen Wandels der glazigenen Formen in ihrer zunehmenden Vertikaldistanz von der Schneegrenze abwärts. Die Zunahme der Moränenablagerungen bis hin zu polyglazialzeitlichen Endmoränen von 400–600 m Höhe im Kuenlun-Vorland des Tarim-Beckens (Abb. 2, Nr. 43 u. 44) in nur noch 2 000–1 800 m ü. M. ist eine Funktion der vermehrt austauenden Innenmoräne und randlichen Ablagerung von mächtigen Obermoränen, wie sie auf der Expedition an aktuellen Gletschern in 2 500 m größerer Meereshöhe zu beobachten waren (Abb. 4, ■; Abb. 2, Nr. 1 u. 3). Aber auch der Gletscherschliff veränderte sich infolge des zunehmenden subglazialen Schmelzwasserangebotes, so daß die vom Eis überflossenen Rundbuckel (Abb. 2, Nr. 11) und Felsflächen glatter wurden und neben Schrammen auch Gletscherpolitur (Abb. 3, ◓; Abb. 2, Nr. 33) erhalten haben, womit sie in deutlichem Kontrast zu den subglazialen Felsaufrauhungen der westtibetischen Gletschernährgebiete (Abb. 2, Nr. 53) über der eiszeitlichen Schneegrenze in 5 500 bis 4 000 m ü. M. stehen (s. o.). Es ist der Wasserfilm zwischen Gletschereis und Fels, der den Schliff feiner werden ließ.

Die mit ihren Oberflächen über Dekakilometerdistanzen unter der Schneegrenze abgeflossenen Eiszeitgletscher ließen ihr – orientiert an Gletscher-

Abb. 3. Mit Politur (//) überlieferte Rundhöcker-Felsflächen (◜ u. ◠, groß) im Konfluenzbereich des Surukwat-Tales mit dem Yarkand-Tal in 3580 m ü. M., etwa 100 m über der heutigen Schottersohle (Abb. 2, Nr. 33). Sie sind in den Schichtköpfen leicht aussplitternder und darum schnell verwitternder, seiger (senkrecht) stehender pelitischer Metamorphite (Phyllite) ausgebildet. Ihr guter Erhaltungszustand legt eine nur kurz zurückliegende Entstehung nahe, weshalb allein eine letzthochglaziale bis spätglaziale Genese in Frage kommt. Die Schliffgrenze (– – – –) oberhalb der glaziären Flankenglättungen (◥, klein) verläuft um 4400 m ü. M. und markiert die Oberflächenlage eines mehr als 1000 m mächtigen Eisstromnetzes.
Standpunkt: 36° 23′ N, 076° 41′ E, gegen Westen aufgenommen.
Foto: M. KUHLE, 27. 8. 1986

Abb. 4. Aus seinem Gletschervorfeld in 4110 m ü. M. auf das Zungenende des K 2-Gletschers (Abb. 2, Nr. 1) mit dem Gletschertor (rechts von ▼) und dort austretendem Schmelzwasserfluß (○; Abb. 5) gesehen; links drei Kamele mit Treiber als Größenvergleich. Die Gletscherzungenstirn zeigt durch ihre Steilheit (zwischen ▼ u. ■) an, daß sie vorstößt. Bis an die Zungenstirn ist der Gletscher mit meterdicker Obermoräne abgedeckt (■). × markiert eine bis über 10 m hohe Stapelendmoräne, einen Stirnmoränentyp, dessen Material durch die Eisrunsen vom Gletscher herabgerutscht ist. ▼ bezeichnet im Laufe der letzten Nacht herabgebrochenes Eis. ✎ weist den oberhalb der Grundmoränenverkleidung an der Talflanke weiter hinaufreichenden glazigenen Flankenschliff aus. Er ist durch Steinschlagrinnen und Frostverwitterung innerhalb weniger Jahrtausende bereits weitgehend aufgelöst worden. Noch vor wenigen Jahrzehnten war das Zungenbecken im Vordergrund gletscherbedeckt.
Standpunkt: 36° 02′ 30″ N, 076° 32′ E. Foto: M. Kuhle, 3. 9. 1986

spalten – infiltriertes Schmelzwasser bis zum Felsgrund des Talgefäßes penetrieren. Das in dabei ausgeschmolzenen und ausgespülten Gletscherbrunnen – das sind senkrecht im Eis abfallende Röhrensysteme – unter hydrostatischen Druck geratene Wasser schießt derartig rasant zwischen Fels und Eis hindurch, daß Kavitationskorrasion wirksam wird und auch ohne Erosionswaffen in der Lage ist, das anstehende Gestein in Dekameter tiefe Klammen (Abb. 2, Nr. 34 u. 18) zu zerschneiden. Natürlich verstärkt die in die subglaziale Tiefenlinie stürzende Untermoräne mit ihrem Blockwerk noch die Einschneidung. Die Abfolge der hoch- bis spätglazialen Gletscherstände, welche – von kurzen Eisvorstößen unterbrochen – eine immer geringere Eisfüllung der Talgefäße bis hin zu den heutigen Gletscherenden (Abb. 4, ▼; Abb. 2, Nr. 1, 4 u. 9) zeitigte, dispensierte die Täler zunehmend vom Gletscherschurf. Im Hochglazial hingegen war der Schurf in den aus Westtibet herableitenden Tälern des Untersuchungsgebietes gewaltig. Aussagekräftigstes Exempel ist das Shaksgam-Tal (Abb. 2, Nr. 20). Neben der bedeutenden Talgletschermächtigkeit von 1600–1900 m, wie sie an Schliffgrenzen (Abb. 2, Nr. 21) und Transfluenzpässen in benachbarte Talsysteme hinüber (Abb. 2, Nr. 25) nachweisbar ist, profitierte der Schurf auch gerade von dem Talgefälle vom Westtibetplateau herab. Dieses erhöhte die Abflußgeschwindigkeit des Auslaßgletschers, verringerte jedoch andererseits die Eismächtigkeit und damit den Gletscherschurf auf diesem Weg. Hinsichtlich dieser Überlegungen faßt die klassische U- und Trogform des Shaksgam-Tales die Kraft- und Druckverhältnisse im hocheiszeitlichen Fließkörper folgendermaßen zusammen: Der konkave Flankenschliff, der ein präglaziales, fluviales V- oder Kerbtal zu einem Trog ausweitet, steht hier im Verhältnis zu einem vergleichsweise reduzierten Grundschliff des Talgletschers. Das belegt überwiegende Druckkräfte gegenüber den Zugkräften im Gletscher, die immer dann auftreten, wenn das Talgefälle im Verhältnis zum nachdrängenden Gletschereis vom Tibetplateau und aus den anderen angeschlossenen Nährgebieten tendenziell gering ist. Der damit verbundene Eisrückstau bewirkte dann auch die Aufstauung des Eises zu jener großen Mächtigkeit (s. o.), die im Oberlauf des Tales zu ausgedehnten Eisstromflächen über der Schneegrenze geführt hat. Zweifellos wird der annähernd kastenförmige, breite Lichtraum des Shaksgam- und des Yarkand-Troges durch die postglaziale Auffüllung mit glazifluvialem Schotterflursediment mitbewirkt. Dort, wo die Zugkräfte im eiszeitlichen Gletscherabfluß überwogen – das galt in steil ableitenden Quertälern –, resultierten glazigene Kerbtäler.

Die schrittweise Deglaziation vom Hochglazial über die mindestens vier Stadien des Spätglazials (Ghasa-, Taglung-, Dampu- und Sirkung-Stadium [I, II, III, IV]; nach KUHLE [6], [32]) bis hinein ins Holozän mit seinen neogla-

zialen Gletscherständen vor 4500–2000 Jahren führte zur sukzessiven Reduktion der Talgletscher in ihrer Länge, Mächtigkeit und Breite. Der bedeutendste Schritt dieser Enteisung der Längs- und Haupttäler des Untersuchungsgebietes (Abb. 2) war bis vor 12 860 +/–180 Jahren abgeschlossen, und die Gletscherenden lagen nur noch wenige Kilometer talauswärts ihrer gegenwärtigen Positionen. Während dieser Verschmälerungen der Gletscher wurden Schuttkegel und -halden, Murkegel und Schwemmfächer aus kleineren Nebentälern niedrigerer Einzugsbereiche sowie aus Hangrunsen und Wandschluchten in zunehmender Breite gegen die Eisströme geschüttet. Genetisch sind es damit gegen das Widerlager der Gletscher geschüttete Kames. Nach dem vollständigen Ausschmelzen der Gletscher wurden derartige glaziäre Uferbildungen als Kamesterrassen stehengelassen. Diese Akkumulationssteilränder wurden dann im Postglazial von den anastomosierenden Flüssen des Shaksgam und Yarkand mit ihren wechselnden Gerinnen an ihren Prallhängen unterschnitten, zurückverlegt und dadurch steil gehalten. Wie die beim Durchzug unserer Karawane durch den Shaksgam-Trog gemachten Filmaufnahmen erkennen lassen, wird der 1 km breite Schotterboden des Tales von Talflanke zu Talflanke durchbewegt. Das wird an der gleichmäßig hellen Färbung der aus Kalken, Dolomiten, Gneisen und Graniten gemischten Schotter deutlich. Lange an Ort und Stelle (in situ) ruhende Komponenten dunkeln durch die Ausbildung von Hartrinden innerhalb weniger Jahrzehnte bis Jahrhunderte nach, wobei dieser Prozeß durch die aszendenten Lösungen des hiesigen ariden Klimas, die diese Krusten an den Schotteroberflächen ausfällen lassen, noch beschleunigt würde. Die Schottersohlen in den Haupttälern, aber auch den großen Nebentälern erster Ordnung wie dem Surukwat- und dem Mustagh-Tal, sind die glazifluvialen Schotterfluren bzw. Sander der heutigen Gletscherstände und als solche aktuell in Bildung, d. h. in Aufschotterung, begriffen. Derartige anastomosierende Schmelzwassergerinne, die in andauernd veränderten Verläufen die Schottersohle durchlaufen und aufhöhen, erreichen im Shaksgam-Talboden zur Hauptschneeschmelze zwischen Mai und Ende August an den Prallhängen mehrere Meter Wassertiefe (vgl. Abb. 4, O; Abb. 5). Die gesamte sommerliche Schmelzwasserführung des Shaksgam erreicht maximale Werte von 1000–2220 m^3/s. Im Expeditionsjahr 1986 wurden 2000 m^3/s erreicht (nach Feng Qinghua [2], 258–263).

Die weitaus bedeutendsten Transportbewegungen werden aber von den Gletscherseeausbrüchen des oberen Shaksgam-Tales bewirkt. Die in dieses Längstal vorstoßenden 21 und 28 km langen Kyagar- und Teram-Kangri-Gletscherzungen dämmen jeweils einen Gletscherstausee ab. Der Kyagar-Gletschersee läuft regelmäßig durch einen subglazialen Schmelzwassertunnel

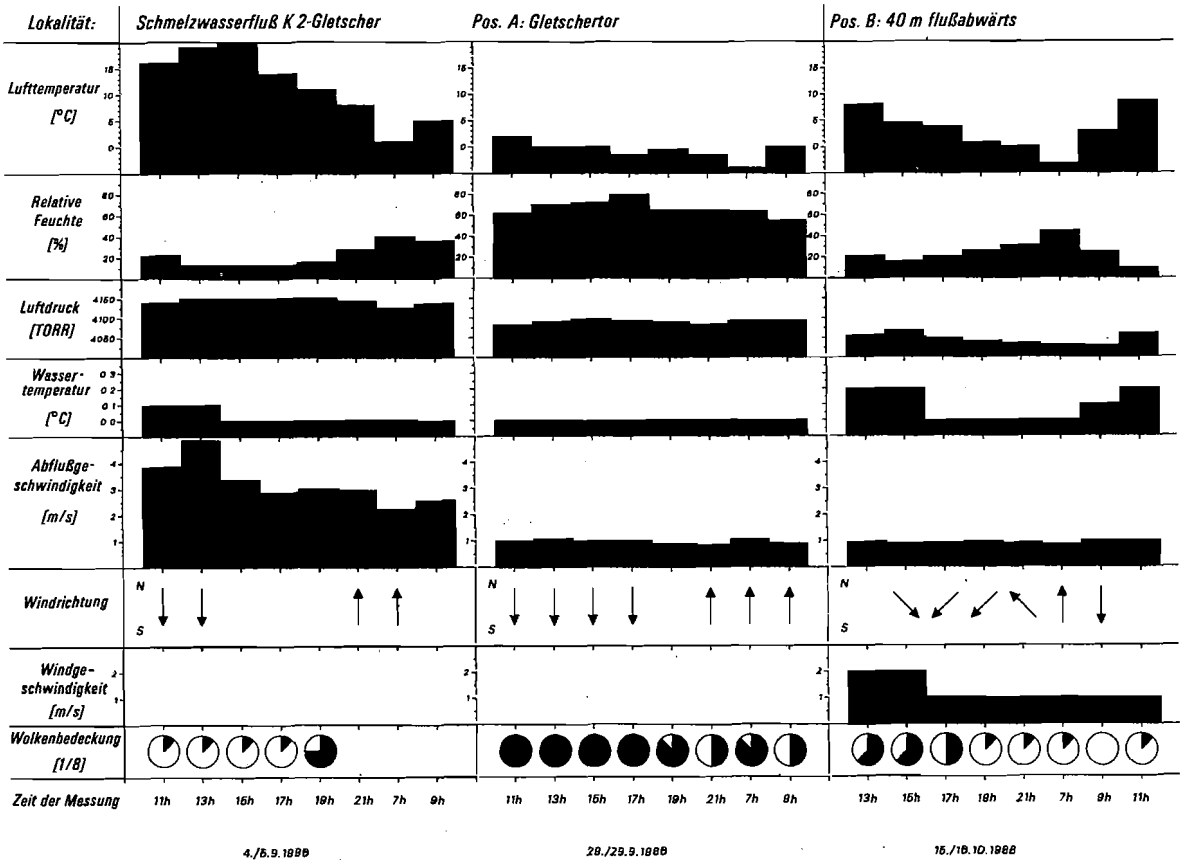
aus, der Teram-Kangri-Gletschersee hingegen vornehmlich randlich und nur in untergeordneten Anteilen subglazial (vgl. die Forschungen zur Hydrologie auf der Expedition 1986 von FENG QINGHUA [2], 258–263).

> These glacier outburst floods in the Shaksgam valley (Yarkand river system) are characterized by high peak discharges, big rising rate, relatively small total volume and short duration (ebd., 263).

Die nächstliegende hydrographische Meßstation befindet sich in 520 km Entfernung, weit unterhalb der Einmündung des Shaksgam in den Yarkand in der Siedlung Kagun (1420 m ü. M., 37° 59′ N, 076° 54′ E) im nördlichen Kuenlun-Vorland zum Tarim-Becken hinab. Von 1954 bis 1984 sind 16 Gletschersee-Ausbruchsfluten beobachtet worden. Sie erfolgten vom Sommer bis Frühherbst (Juni bis Oktober). Zumeist erreichten sie Abflußspitzen von 2000–3000 m^3/s. Dreimal – zuletzt 1984 – wurden 4500–4700 m^3/s erreicht. Der bedeutendste Abfluß, der 1961 registriert worden ist, betrug 6270 m^3/s. Diese Gletscherseeausbrüche haben Volumina von $0{,}19 \cdot 10^8 m^3$ bis $1{,}5 \cdot 10^8 m^3$, was etwa 1/10 des vergleichsweise kontinuierlichen jährlichen Abflusses ausmacht. Um eine Vorstellung von der morphodynamischen Potenz für den Shaksgam-Talboden bzw. die Unterschneidung seiner Ränder zu erhalten, ist außerdem die mittlere „rate of flood travel" mit 11,1 bis 16,6 km/h von Wichtigkeit, wobei nicht immer die bedeutendste Flutabflußspitze mit der größten Geschwindigkeit einhergegangen ist. Trotzdem ist eine generelle Geschwindigkeitszunahme mit der Wassermenge festzustellen (vgl. Abb. 5). Die mittlere, über das ganze Jahr verteilte Wassermenge des Shaksgam-Flusses wird mit etwa 130–150 m^3/s abgeschätzt. Der Erosionsmodulus wird von FENG QINGHUA ([2], 262, Tab. 8) mit 1260 $t/km^2 \cdot$Jahr für das gesamte Abtragungsgebiet des Yarkand-Systems angegeben.

Was die Gletscherseeausbrüche betrifft, so hat man sich den Auslauf von zwei Seen mit max. $3{,}23 \cdot 10^8 m^3$ (Kyagar-Gletscherstausee im Shaksgam-Talboden in 4760 m ü. M.) und $1{,}92 \cdot 10^8 m^3$ (Teram-Kangri-Gletscherstausee im Shaksgam-Talboden in 4520 m ü. M.) vorzustellen. Diese Seen wurden von 60 bzw. 90 m hohen, 0,3 bis 1,5 km langen, von den Gletscherzungen gebil-

Abb. 5. Klimaparameter und Schmelzwasserabfluß am K 2-Gletscher. Die zugrundeliegenden Messungen wurden von Dipl. Geogr. HOLGER DIETRICH durchgeführt. Sie weisen das repräsentative Zusammenspiel der Klimaparameter auf, die für die Abflußsituation mittellanger (15–25 km) Karakorum-Gletscher wesentlich sind. Zunehmende Gletscherlänge verzögert und dämpft die Reaktion der Abflußmenge auf die Witterung.
Lokalität: Abb. 2, Nr. 1 u. 2; vgl. Abb. 4, O.
Grafik: M. KUHLE (Projekt), R. STASCHEL (Plot), Mai 1988


Lokalität:
Schmelzwasserfluß K 2-Gletscher
Pos. A: Gletschertor
Pos. B: 40 m flußabwärts
Lufttemperatur [°C]
Relative Feuchte [%]
Luftdruck [TORR]
Wasser-temperatur [°C]
Abflußge-schwindigkeit [m/s]
Windrichtung
N
S
Windge-schwindigkeit [m/s]
Wolkenbedeckung [1/8]
Zeit der Messung
11h 13h 15h 17h 19h 21h 7h 9h
13h 15h 17h 18h 21h 7h 9h 11h
4./5.9.1988
28./29.9.1988
15./16.10.1988

deten Eisdämmen aufgestaut. Sie laufen innerhalb weniger Stunden aus, so daß der Durchlauf der eigentlichen Flutwelle durch das Tal ca. 18 bis 22,5 Stunden benötigt.

Auch die spätglazialen bis holozänen Gletscherstände haben – wenn auch talauswärts verlagert – entsprechende Schmelzwasserführungen und Schotteraufhöhungen in den Längs- und Haupttälern gezeitigt, so daß am Yarkand-, Surukwat-, Shaksgam- und Mustagh-Tal posthochglaziale Schottermächtigkeiten von Dekametern bis zu mehreren hundert Metern den hocheiszeitlich beschliffenen Felsgrund überlagern. In dieser Frage bestehen allerdings noch immer grundsätzliche Unklarheiten, denn die Karakorum-Talgletscher neigen im Ablationsbereich innerhalb ihrer untersten Kilometer bis Dekakilometer zur Aufhöhung ihres eigenen Gletscherbettes durch subglaziale Akkumulation (gemeint ist die Ausfällung) von Untermoräne zu Grundmoräne (vgl. Abb. 4, ▼). Dabei werden auch früh- und interglaziale Schotterablagerungen von den Gletschern des letzteiszeitlichen Eisstromnetzes überfahren worden sein, so daß nur für die taleinwärtigeren Bereiche der hochglazialen Gletschertäler mit Sicherheit Grundschliff auf dem anstehenden Felsboden in Anspruch genommen werden kann (Abb. 3, ◓). Auf dem gleichen Funktionsprinzip beruhend, nahm dann auch die Dauer der Gletschergrundschliffe in den Tälern einwärts, d. h. mit zunehmendem Abstand von den hoch- und späteiszeitlichen Talgletscherenden, zu, bzw. die Grundmoränenmächtigkeiten und die Mächtigkeit der aufliegenden Sanderschotter nehmen talauswärts zu.

In den Gebirgsvorländern der Kuenlun-Nordabdachung schließen außerhalb der in den Piedmont-Bereich hinausgeschobenen hocheiszeitlichen Endmoränen (Abb. 2, Nr. 43; s. o.), die mit der Position der ehemaligen Gletschertore aussetzen, weit gefächerte Kegelsander (Abb. 2, Nr. 44 u. 45) an, die von etwa 2000–1800 m ü. M. bis auf 1400 m hinabreichen und dort in glazilimnische Sedimente übergehen. Das feine, sehr fruchtbare Substrat der eiszeitlichen Seeablagerungen bildet die ökologische Lebensgrundlage für den ausgedehnten Siedlungsgürtel der Bewässerungsoasen des Tarim-Beckens und der Wüste Takla Makan.

Es ist die Ganzheit einer glazialgeomorphologischen Sequenz, einer Formenserie, deren Zusammenhang durch die Lagebeziehung die einzelnen Indikatoren eindeutig und beweisfähig für das Ausmaß der eiszeitlichen Vergletscherung werden läßt. Das Problem besteht jedoch im Einzelfall der untersuchten Haupt- und Nebentäler des aus Westtibet herableitenden Shaksgam- und Yarkand-Systems (Abb. 2) in der Formenüberlagerung unterschiedlich alter Stände von Gletschern, die denselben Tälern im Hochglazial und in den einzelnen Stadien des Spätglazials immer weniger weit hinab bis

zu ihren jeweiligen Enden folgten. Auf diese Weise kamen dann in einem einzigen Trogquerprofil weit hinaufreichende Flankenschliffe mit ihren hochglazialen Schliffgrenzen mit weiter unten den glaziär geglätteten Talflanken anliegenden Ufermoränen des spätglazialen Gletschers zusammen zu liegen. Es treten demnach vielerorts ältere Schlifformen, deren Eisrandlagen mit Endmoränen sich erst Dekakilometer weiter talauswärts befinden, mit jüngeren, dem späteren tiefsten Eisrand nahen Ufer- und Endmoränen in einen unmittelbaren topographischen Zusammenhang. Entsprechende Formenverzahnungen mit unterschiedlicher Altersstellung im rein akkumulativen Milieu sind für Mündungen steil herabfallender Nebentäler ins Haupttal typisch, wo jüngste spätglaziale End- und Talausgangsmoränen aufgrund ihrer sehr hohen, vielfach noch heute vergletscherten Einzugsbereiche ins bereits enteiste Haupttal und in darum ältere dortige Ufermoränenbezirke geschoben worden sind (Abb. 2, Nr. 2, 5, 18, 23 u. 29).

2 Zusammenfassung der Ergebnisse zur maximalen vorzeitlichen Vergletscherung, zu ihrer Typologie und zur eiszeitlichen Schneegrenzabsenkung (ELA-Depression) im Untersuchungsgebiet

2.1 Eismächtigkeit, Eispegelhöhe, Gletscherobergrenze und Gletscherernährung

Die Abbildung 6 zeigt die hocheiszeitliche, maximale Vergletscherung des Untersuchungsgebietes dieser Expedition zwischen Karakorum-Hauptkamm und Tarim-Becken im Gesamtzusammenhang des tibetischen Inlandeises, dessen nordwestlichen Randbereich sie abdeckt und für den sie – in oben umrissener Weise – weitere Beweise im trockensten Gebiet Hochasiens geliefert hat. Das Yarkand- und das Shaksgam-Tal (Abb. 2) waren die Hauptdrainageadern des Tibeteises nach Nordwesten. Diese Haupt- und Längstäler führen neben dem Ferneis aus dem Hochland auch lokale Eismassen zusammen, die als Quertalgletscher unterschiedlicher Länge bis hin zum steilen Flanken- und Wandeis aus den Gipfeln und Graten der Karakorum-Nordabdachung, den Flanken des Aghil-Gebirges und des Kuenlun – d. h. aus den im wesentlichen auch heute noch vergletscherten Gebieten – zugeführt wurden. Die vergleichsweise flachen Neigungen dieser Längstäler hatten Gletschermächtigkeiten von mindestens 1000–1400 m zur Folge. Dabei wurden die größten Eismächtigkeiten in jenen Haupttälern in den Konfluenzbereichen des Eisstromnetzes aufgebaut. Durch die hieraus resultierende Rückstauung, von den aufgefüllten Tälern erster und zweiter Ordnung her, wurde der eiszeitliche Gletscherpegel auch oberhalb der heutigen

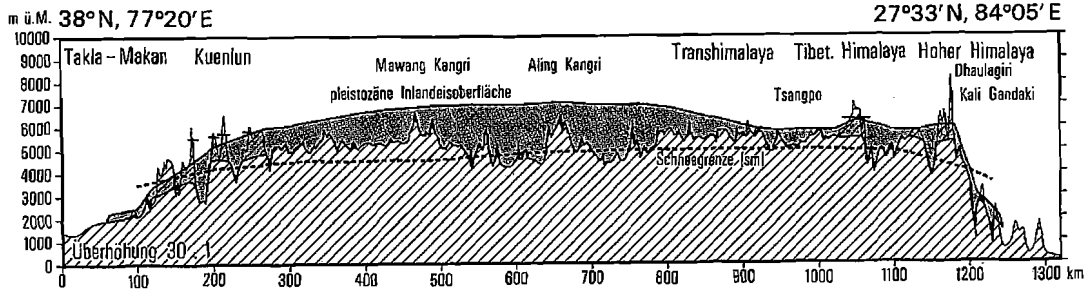
Schneegrenzlagen noch um einige hundert Meter und ganz oben um einige Dekameter aufgehöht, so daß ein Gletschernetzverbund über die meisten Bergrücken und Pässe (Transfluenzpässe), die niedriger als 6000 bis 4200 m ü. M. sind, hinweg bestanden hat (Abb. 6, linke Ausschnittsviertel). Diese Höhenabnahme der vom eiszeitlichen Gletschereis überflossenen Bergrücken und Einsattelungen (Abb. 2, Nr. 12, 25 u. a.) in den tälertrennenden Kämmen hat ihre Ursache in der generellen Eispegelabdachung zu den tiefsten Gletscherrändern im Tarim-Becken nach Norden und an der Karakorum-Südseite zum Indus-Tal hinab. Es gehört zum typologischen Merkmal eines Eisstromnetzes, daß es mit seiner ungebrochenen Nährgebietsoberfläche, d. h. ohne Gefälleknick, über die Transfluenzpässe hinweg in die Richtung seines Hauptabflusses ganz flach gleichsinnig geneigt ist. In dieser Weise war im Hochglazial die Karakorum-Nordseitenvergletscherung sogar mit dem Eisstromnetz der Karakorum-Südseite – dem Indus-Gletschersystem – in einem über 100000 km² großen Gletschernetz (Karakorum zwischen K2, Nanga Parbat u. Nun Kun) verbunden. Dafür exemplarische Eistransfluenzen bestanden am 5422 m hohen Ost-Mustagh-Paß, am 5370 m hohen West-Mustagh-Paß (Abb. 2, Nr. 7), am 5645–5685 m hohen Sarpo-Laggo-Paß, im Talschluß der Sarpo-Laggo-Gletscher (Abb. 2) sowie im Einzugsbereich des Skamri-Gletschers über den 5475 m hohen südlicheren und einen nördlicheren Transfluenzpaß (Abb. 2, Nr. 6) zum eiszeitlichen Nobande-Gletscher, einem Ursprungsarm des damaligen Indus-Gletschers (vgl. KUHLE [17], [26]). In diesen zentralen Überlaufbereichen, in denen die Eisstromnetze kommunizierten, indem die Gletscher der Karakorum-Südabdachung von denen der Nordabdachung Zufluß erhielten, erfolgte eine Aufhöhung zu flachkuppelförmigen Kulminationen. Derartige lokale domförmige Eisstromnetzzentren reihten sich längs des Karakorum-Hauptkammes auf. Sie lagen überall dort, wo Reliefverflachungen die Wasserscheide bildeten und den Gletscher so flachgründig unterlagerten, daß das Eis anfror.

Die Eisstromnetzoberfläche im Untersuchungsgebiet lag zwischen 4200 und 6000 m ü. M. und bei mindestens 300 m über der hocheiszeitlichen

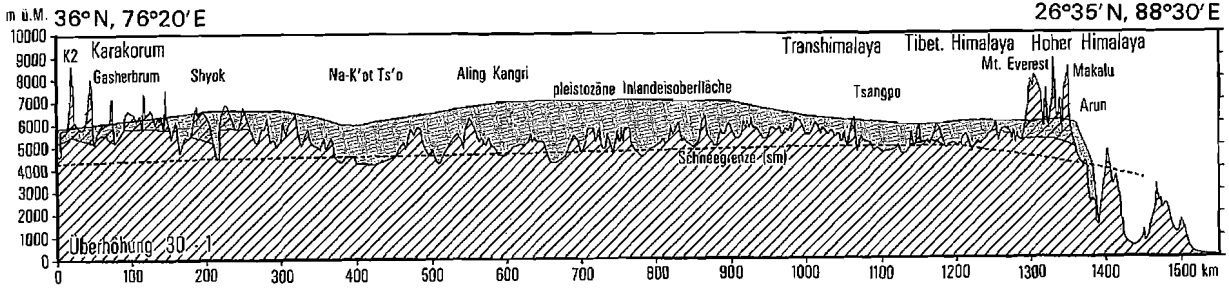
---

Abb. 6. Zwei repräsentative Querprofile des hochglazialen Tibeteises, an deren linken Rändern sich Ausschnitte des Untersuchungsgebietes 1986 befinden. Die Auslaßgletscher der bis in 7000 m Höhe aufragenden subtropischen Inlandeiskuppel flossen in der Himalaya-Südabdachung bis auf ca. 1000 m ü. M. und in der Nordabdachung des Kuenlun bis auf unter 2000 m hinab (vgl. Abb. 2, Nr. 43 u. 44). Die klimatische Schneegrenze verlief auf diesen Profilen zu 83–86 Flächenprozent unter der mittleren Plateauhöhe Tibets.

Grafik: M. KUHLE (Entwurf), C. ROESRATH (Zeichnung), 1987



a) Profil Takla Makan – Dhaulagiri



b) Profil K2 – Mt. Everest

Schneegrenze. Allein in der Kuenlun-Nordabdachung im auf dieser Expedition beforschten Gebiet flossen die Auslaßgletscherzungen 2000 m tief unter die Schneegrenze bis ins Gebirgsvorland hinab (Abb. 2, Nr. 43) und bildeten die den Nährgebieten adäquaten Gletscherzehrgebiete aus. Die Gletschernährgebiete wiesen während des Hochglazials eine vertikale Zweiteilung auf, die – nach oben verschoben – auch heute an den höchsten Bergen zu beobachten ist. Die Grenzlinie zwischen beiden Bezirken ist die Gletscherobergrenze, oberhalb derer die Oberflächentemperaturen der Berghänge und -wände, selbst während der wärmsten Jahreszeit im Hochsommer und zur sonnigsten Tageszeit zwischen 11 und 15 Uhr, deutlich unter 0 °C bleiben (vgl. KUHLE [11], [12]). Der Schnee ist daher derartig kalt, daß er nicht haftet und nicht bindet, daß keine Eisbrücken zwischen den Kristallen entstehen und damit bereits die Schneesinterung als erster Schritt der Temperaturmetamorphose auf dem Weg zur Gletschereisbildung unterbleibt. Der Schnee wird und wurde demnach wie trockener Flugsand von den Bergflanken und aus den Wänden ausgeweht, so daß Fels- und Schuttflächen an die Oberfläche traten (vgl. Abb. 1, ●).

Die heutige Gletscherobergrenze kann am K2-Gipfelaufbau in 6900 bis 7100 m ü. M. beobachtet werden. Flankierend durchgeführte telemetrische Oberflächentemperaturmessungen ergaben auf dunklen Felsflächen bei sommerlichen Strahlungswetterlagen erst oberhalb von 7600 m Höhe Temperaturen von ununterbrochen deutlich unter 0 °C (KUHLE [32]), so daß in diesem Niveau endgültig, d. h. auch thermisch und damit genetisch abgesichert, die Gletscherobergrenze verläuft. Da die eiszeitliche Schneegrenze um 1300 m gegenüber der heutigen abgesenkt war (s. u.), verlief die Gletscherobergrenze ebenfalls um annähernd denselben Betrag abgesenkt, denn beide Grenzen stehen in Beziehung zur mittleren Sommertemperatur, so daß die damalige Gletscherobergrenze bei 6500 m ü. M. gelegen haben dürfte. Das hatte Konsequenzen für die hochglaziale Gletscherernährung, denn zwischen der Eisstromnetzoberfläche in 4200 bis 6000 m ü. M. bestand ein im Extremfall auf nur noch 500 m Höhenunterschied reduzierter Ernährungsgürtel, von dem Lawinen auf die Gletscheroberflächen abgegangen sein konnten. Wir haben uns demnach eine eiszeitliche Gebirgslandschaft vorzustellen, in der die vergletscherten Hänge und mit Flankeneis besetzten Wände ca. 500 m über den Eispegel der Talgletscherfüllungen aufragten und dort in

Abb. 7. Aus der orographisch rechten Flanke des Skyang-Tales von der Ufermoräne des Skyang-Kangri-Gletschers aus 5150 m ü. M. (Abb. 2, etwas rechts unterhalb von Nr. 3) gegen Südosten in die Nordwestflanke des 7544 m hohen Skyang Kangri (Nr. 2), eines weiteren Hochgipfels im Karakorum-Hauptkamm, gesehen. Die von der Sonne beschienene, annähernd horizontal nach links verlaufende Felsrippe ist die

Zwischentalscheide zum Nord-Skyang-Lungpa-Gletscher (vgl. Abb. 2). Zu diesem benachbarten Eisstrom fällt die im Schatten liegende, sehr steile Nordwand des Berges ab. Beide Wände, auch die besonnte Nordwestwand des Skyang Kangri, steigen von 5300–5500 m ü. M. aus 2000–2200 m hoch als stark vergletscherte Flanken von den Firnkesseloberflächen der beiden Talgletscher zum Gipfel hinauf an. Die stellenweise viele Dekameter bis über hundert Meter mächtigen Gletscherauflagen brechen in kaskadenförmig getreppten Seracs und Eisbalkonen ab (↓). Das beim Sturz der dort abgehenden Lawinen zu Eisschutt zerstückelte Material trägt zur Ernährung der am Wandfuß einsetzenden Talgletscher bei, indem es mit ihren Oberflächen „verheilt".

Standpunkt: 35° 58′ N, 076° 30′ 30″ E. Foto: M. KUHLE, 1. 10. 1986

trockene, nur jahreszeitlich verschneite Bergflanken übergingen. Solche Felsgipfel überragten im Karakorum-Hauptkamm die Eisstromobergrenze um weitere 700 m (z. B. Crown, 7265 m; Abb. 2, Nr. 6) bis 1000 m (z. B. Skyang Kangri, 7544 m; Abb. 7, Nr. 2) oder gar bis 2000 m (K 2, 8617 m; vgl. Abb. 6). Von ihren Flankenflächen wurde der kalt-trockene Schnee abgeblasen und in die jeweils östlich gelegenen Firnkessel und auf die Gletscherarm-Oberflächen dislozíert (vgl. Abb. 1, ×). Generell war zur Eiszeit die sekundäre Gletscherernährung durch Eis- und Firnlawinen zugunsten der Ernährung durch primären Schneeniederschlag reduziert. Das lag einerseits an der Reliefauffüllung durch Gletschereis von über 1000 m Mächtigkeiten (s. o.) und damit an der Wandhöhen- und Wandflächenreduktion. Andererseits war die Ursache die hiermit verbundene enorme Nährgebietsvergrößerung, insofern, als im Eisstromnetz die Teilstromoberflächen der zusammengeschlossenen Talgletscher vollständig über der Schneegrenze gelegen und zur Gletscherernährung beigetragen haben, was bei den heutigen Karakorum-Gletschern allein für ihre Bezirke in Talschlußnähe, d. h. in den Ursprungsmulden, gilt. Die Absenkung der Schneegrenze um 1300 m in dieses extrem steile Hochgebirgsrelief führte auf diesem Weg zu einer eiszeitlich vorrangig an Gletscherflachbereichen orientierten Ernährung im Gegensatz zu einer eher an die Steilhänge gebundenen heutigen resp. interglazialen Gletscherernährung.

2.2 Die tiefsten Eisrandlagen, die letzteiszeitliche Schneegrenze und ihre klimatische Aussage

Die tiefsten Eisrandlagen des Expeditionsgebietes befinden sich im nördlichen Kuenlun-Vorland, am Südrand des Tarim-Beckens, in dem die Wüste Takla Makan liegt (Abb. 6a, links; Abb. 2, Nr. 43). Die nordwesttibetischen Auslaßgletscherzungen haben das unmittelbare Gebirge verlassen und die Täler durch 400—600 m hohe Ufer- und Endmoränenwälle in den Piedmont-Bereich hinaus verlängert. Diese sehr bedeutenden Lockermaterialmassen wurden nicht allein während der letzten Eiszeit, sondern auch von den Gletscherenden der vorhergehenden Eiszeiten des Pleistozäns herangefrachtet und abgelagert. Sie sind also polyglazial und wurden in jeder erneuten Eiszeit nicht nur mit weiterem Schuttmaterial aus dem Hochland und den westtibetischen Randgebirgen angereichert, sondern zugleich in ihrer Morphologie verändert bzw. überprägt. Diese beträchtlichen Schuttmengen, Moränenrücken und -hügel bildeten zusammen mit den jeweils spätglazialen und interglazialen Schotterakkumulationen, die in die vom Eis verlassenen, hochglazialen Zungenbecken geschüttet wurden, erhebliche Widerlager für die im

neuen Glazial vorstoßenden und auflaufenden Auslaßgletscherzungen, so daß diese stellenweise in ihrer Stoßrichtung behindert und dadurch abgelenkt worden sind, womit sich diese Endmoränenlandschaft von Eiszeit zu Eiszeit modifiziert (Abb. 2, Nr. 43).

Die tiefsten Gletscherzungenenden der letzten Eiszeit reichten bis auf ca. 2000 m ü. M. hinab (Abb. 6a, links). Die tiefsten heutigen Gletscherenden der betreffenden Einzugsbereiche liegen mit 4600 m ü. M. 2600 m höher, woraus sich eine Schneegrenzdepression von 1300 m ermitteln läßt:

$$\frac{\text{Zungenendenhöhe heute (m)} - \text{vorzeitliche Zungenendenhöhe (m)}}{2} = \frac{4600-2000}{2} = 1300\,\text{m}$$

Entsprechend verlief die letzteiszeitliche Schneegrenze in etwa 3900 m ü. M. (5200 m Höhe der heutigen Schneegrenze minus 1300 m damaliger Schneegrenzdepression = 3900 m ü. M.; Abb. 6a, – – – –). Zum gleichen Ergebnis führte eine weitere Schneegrenzen-Berechnungsmethode (nach v. HÖFER [4]). Legt man diese Methode für die den tiefsten Gletscherrändern am kürzesten angeschlossenen, d. h. für die nächsten höchsten Nährgebiete des Kuenlun-Hauptkammes, mit ihrer mittleren Einzugsbereichshöhe von 5800 m, zugrunde, so errechnet sich zu der letzteiszeitlichen Gletscherrandhöhe in 2000 m ü. M. ein arithmetisches Mittel von gleichfalls 3900 m ü. M. für die Schneegrenze Würm:

$$\frac{\text{mittlere Kammumrahmungshöhe des Gletschers (m)} - \text{Zungenendenhöhe (m)}}{2} + \text{Gletscherzungenendenhöhe (m)}$$

$$= \frac{5800-2000}{2} + 2000 = 3900\,\text{m}$$

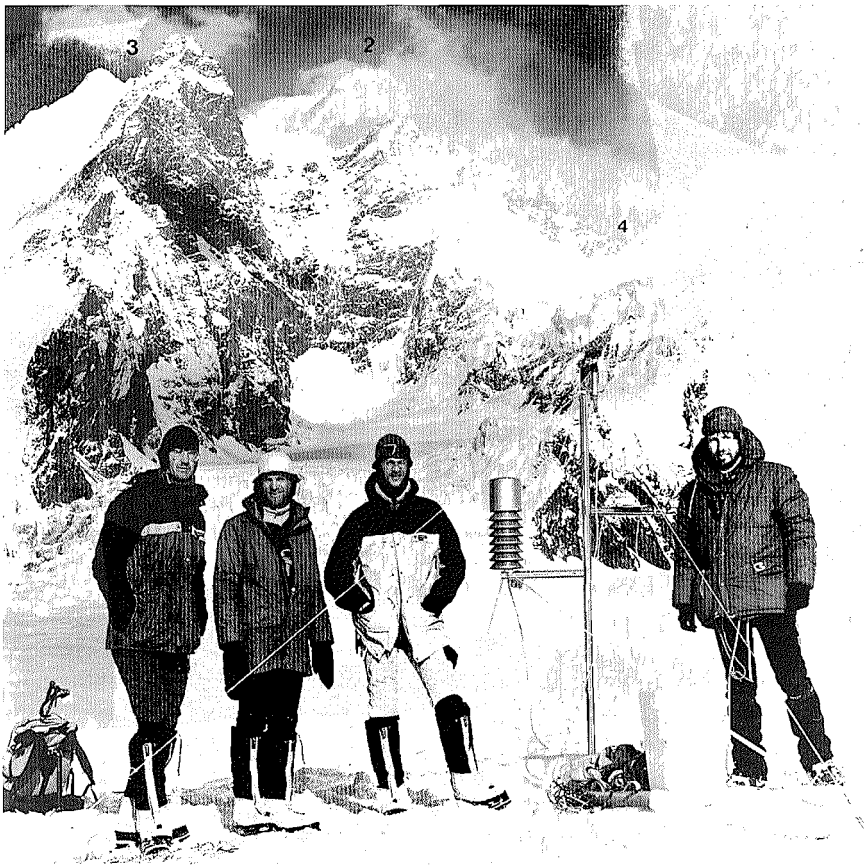
Die Schneegrenzdepression errechnet sich mit dieser weiteren Methode auf ebenfalls 1300 m.

Der Verlauf der eiszeitlichen Schneegrenze in 3900 m ü. M. bedeutet zugleich, daß diese – für die Vergletscherungsrekonstruktion wesentliche – Grenze im Höhenbereich der tiefsten Längs- bzw. Haupttalböden des Untersuchungsgebietes gelegen hat. Der Boden des Shaksgam-Troges verläuft zwischen Mustagh-Taleinmündung und Aghil-Paß (Abb. 2, zwischen Nr. 11 u. 22) in 3900–4100 m ü. M., der des Yarkand-Tales zwischen der Einmün-

dung des Surukwat-Tales und der Militärstation Mazar (Abb. 2, zwischen Nr. 33 u. 53) in 3500–3800 m ü. M. Dieser Umstand ist für die angemessene Vorstellung vom Eisstromnetzaufbau insofern bedeutungsvoll, als diese Talböden die tiefsten Reliefteile überhaupt sind. Hieraus nämlich folgte notwendig ein schnellstmöglicher, durch keine Ablation verzögerter Gletscheraufbau des reliefauffüllenden Eisstromnetzes bis zu einem allein durch die Abflußdynamik und nicht durch den Abschmelzvorgang limitierten Eispegel hinauf. Zur Verdeutlichung soll als beispielhafter Vergleich mit den Alpen das Rhone-Tal als großes Längstal, das zum Hauptkamm der Walliser Alpen in der gleichen Position liegt wie das Shaksgam-Tal zum Karakorum-Hauptkamm, angeführt werden. Sein Boden liegt um 400 m hoch und damit ca. 1600 m unter der eiszeitlichen Schneegrenze. Trotzdem war das Rhone-Tal vollständig mit einem 2000 m mächtigen Gletscher aufgefüllt, dem größten der Westalpengletscher. Allerdings waren die Alpen während der letzten Eiszeit wesentlich feuchter als die Karakorum-Nordseite. Diese war annäherungsweise 10- bis 20mal so trocken, aber dennoch hinreichend kälter, so daß die Schneegrenze, die das Produkt aus Niederschlag und Temperatur ist, sehr viel tiefer ins Karakorum-Relief eingesenkt – nämlich im Längstalbodenniveau – verlief und auf diese Weise ähnliche Gletschermächtigkeiten wie in den Alpen resultierten.

Aus der errechneten Schneegrenzdepression von 1300 m läßt sich über einen Temperaturgradienten von 0,6–0,7 °C pro 100 m Höhenunterschied eine eiszeitliche Abkühlung von 7,8 bis 9,1 °C ableiten. Wahrscheinlich hatte die sommerzeitliche Abkühlung einen bedeutenderen Anteil an dieser Absenkung der Jahresmitteltemperatur als die winterliche. Falls es noch arider gewesen sein sollte als heute – was wahrscheinlich ist (vgl. KUHLE u. a. [33]) –, dann muß der Gradient sogar noch über 0,7 °C/100 m gelegen haben. Die Abkühlung hätte dann um oder über 10 °C betragen.

Abb. 8. Meßstation 4 (System Lambrecht), höchste Klimastation der Expedition 1986 in 5330 m ü. M., im zentralen Firnkessel des K2-Gletschers, ca. 130 m über der Schneegrenze (Abb. 2, links oberhalb vom K2). Im Hintergrund, im Osten, ragt der 7544 m hohe Skyang Kangri (Nr. 2) über die Gratschneide mit den bis 6500 m hohen Gipfeln (Nr. 3), die das K2-Tal vom Skyang-Tal trennt. Die Scharte (Nr. 4) vermittelt zum Baltoro-Gletschersystem hinüber in die Karakorum-Südabdachung. Die mit Computermodulen arbeitende Station hat vom 21. 9. bis zum 7. 10. 1986 ca. 24000 Daten der zwölf Klimaparameter gespeichert und zehnminütlich gemittelt (vgl. Abb. 12 u. 13). Sie wiegt 75 kg, wurde von Dipl. Geogr. ANDREAS SCHULZE betreut, von drei deutschen und zwei chinesischen Wissenschaftlern auf einem Schlitten ins Firngebiet hinaufgezogen und am 21. September aufgestellt. Das Stativ ist in den Glet-



scher eingepflanzt; auf ihm ist ein Windmesser installiert. An den beiden Auslegern sind ein Thermohygrograph (links) und ein Globalstrahlungsmesser (Sternpyranometer nach DIRMHIRN, Meßbereich: 0,3–3 µm) sowie ein nach oben und unten auf die Schneeflächen gerichteter Strahlungsbilanzmesser (Meßbereich: 0,3–60 µm; rechts) angebracht. Drei Widerstandsthermometer geben die Temperaturen in 5, 15 und 35 cm Tiefe im Schnee, in Firn und in Eis an. Der Meßcomputer (weißer Kasten) ist nur wenig in den Schnee eingelassen; der Batteriekasten hat eine Styroporisolierung und ist vollständig in den Schnee versenkt. Er wird von einem Sonnenkollektor beheizt, damit die notwendige Spannung über die gesamte Meßperiode gehalten werden kann. Von links nach rechts: H. DIETRICH, J.-P. JACOBSEN, A. SCHULZE, M. KUHLE.

Standpunkt: 35° 54′ N, 076° 30′ E. Foto: M. KUHLE, 21. 9. 1986

3 Die Bedeutung des eiszeitlichen Inlandeises von Tibet und seiner einfassenden Eisstromnetze in den Randgebirgen des Hochlandes für die globale Klimaentwicklung

Die im Film vorgestellten geomorphologischen Forschungen wurden durch Messungen von allen wichtigen Klimaparametern über mehrere Wochen durch drei Stationen an vier Positionen zwischen dem Boden des Mustagh-Tales in 3970 m ü. M. und dem Nährgebiet des K2-Gletschers in 5330 m Höhe am Gipfelaufbau des K2 flankiert (Abb. 8). In diesem Zusammenhang wesentlich sind die Globalstrahlungs- und Strahlungsbilanzmessungen auf Schutt- und Gletscherfirnflächen (Abb. 9–13). Die Einstrahlungsenergie in Hochasiens subtropischer Breite, hier bei 36° Nord, ist mindestens viermal so groß wie in den höheren Breiten der im Tiefland liegenden nordischen Inlandeise der letzten Eiszeit, deren Nährgebietszentren bei etwa 55–60° Nord gelegen haben. Das gilt besonders, weil die Höhenatmosphäre zwischen 4000 und 6000 m ü. M. – dem Oberflächenniveau des Eisstromnetzes (vgl. Abb. 6)[1] – aufgrund ihrer geringeren Dichte und Aerosolarmut strahlungstransparenter gewesen ist als die Lufthülle in jenen Tiefländern, in denen die Inlandeisoberflächen um allenfalls 3000 m Höhe gelegen haben. Bei der von der Gletschernährgebietsstation (Abb. 8) gemessenen 75–85 %igen Reflexion der Einstrahlungsenergie durch die Schneeoberfläche (Abb. 12 u. 13) resultiert gegenüber den nur etwa 15–40 % reflektierenden Schuttoberflächen (Abb. 9, 10 u. 13) ein Energieverlust von etwa 60–70° der Globalstrahlung. Im Hinblick auf diese Energiebilanz ist eine großflächenwirksame Verschiebung der Albedo durch die in der Eiszeit über 90 %ige Gletscherbedeckung Hochasiens mit der in seinem Zentrum ausgebildeten 2,4-Mio.-km^2-Fläche des Tibeteises und seiner einfassenden Eisstromnetze, die das Untersuchungsgebiet dieser Expedition randlich mit abdeckt, wesentlich. Heute, bzw. in den Interglazialen, ist es umgekehrt. Über 90 % der Fläche Hochasiens besteht aus jenen nur gering reflektierenden Schuttflächen. Sie tragen zur erheblichen Erwärmung der Erdatmosphäre bei, indem sie die kurzwellige Sonneneinstrahlung in langwellige Wärmestrahlung transformieren und an die Atmosphäre abgeben. Diese Funktion der durch ihre Massenerhebung bedeutendsten Aufheizfläche der Erde (Flohn [3]) wurde durch die Hebung Tibets und seiner einfassenden Gebirge über die Schneegrenze zu einer ebenso großen Abkühlungsfläche. Die aus der Hebung folgende Totalvergletscherung führte zur plötzlichen Umwandlung der Heizfläche in ihr Gegenteil (vgl. Kuhle [18], [23]). Die Tatsache jener viermal größeren Energie, die vom Tibet-

[1] Wenn man das gesamte Tibeteis berücksichtigt, liegt die Oberfläche sogar bei max. 7000 m ü. M.

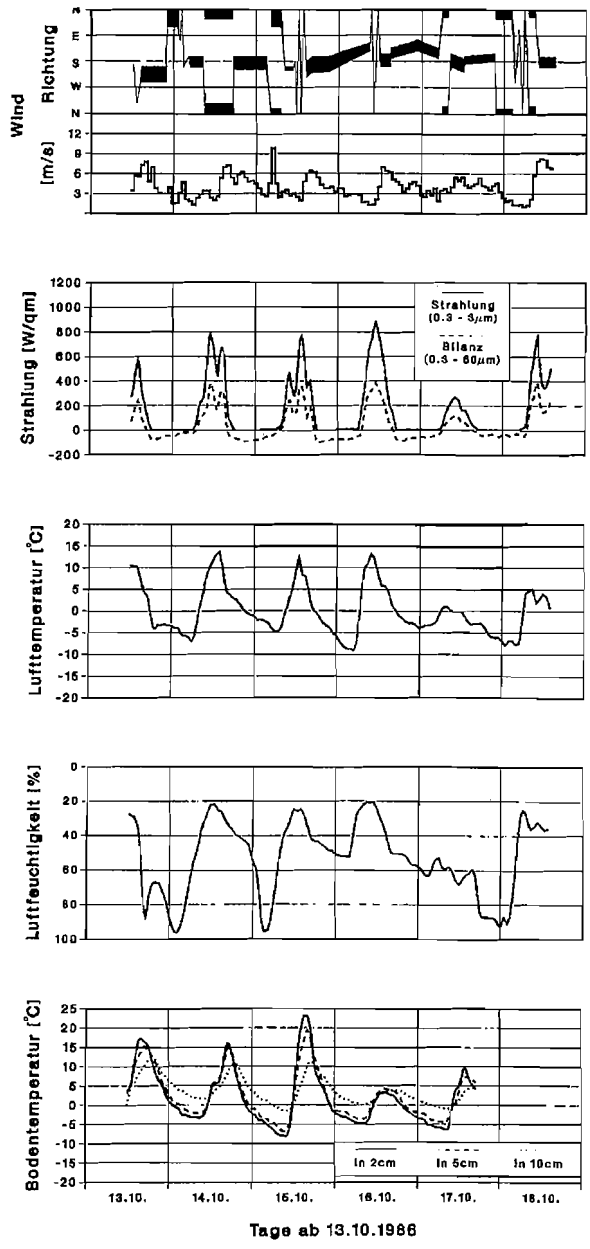


Abb. 9. Basislager, Mustagh-Tal (3980 m ü. M.), vom 13. 10. bis 18. 10. 1986; Klimadaten der Meßstation 1 (Abb. 2, Nr. 10)

Grafik: M. KUHLE (Entwurf), H. GIESELER (Programm)

eis in den Weltraum reflektiert worden ist, als sie von den nordischen Flachlandeisen pro Flächeneinheit zurückgeworfen werden konnte, ist von globalem Einfluß. Dadurch entspricht die Wirksamkeit des 2,4 Mio. km² großen subtropischen Hochlandeises einem annähernd 10 Mio. km² (9,6 Mio. km²) großen Flachlandinlandeis bei 55–60° Nord als Reflexionsfläche für die Globalstrahlung. Das nordeuropäische Inlandeis war nur halb so groß. Initial für den enormen irdischen Energieverlust war – wie angeführt – die Hebung der Gebirgs- und Plateauflächen Asiens ins Schneegrenzniveau. Die plattentektonisch induzierte Hebung als Folge der Kollision der indischen Platte mit dem eurasischen Kontinent erreichte im Frühpleistozän das Schneegrenzniveau zwischen ca. 5000 und 6200 m ü. M. großflächig, so daß sich das stellenweise über 2000 m mächtige Inlandeis (Abb. 6) aufbaute (vgl. KUHLE [31]) und die weltweite Abkühlung mit den Folgen einer globalen Eiszeit auslöste. Dabei entstanden dann die Inlandeise in Nordamerika, Nordeuropa und Nordsibirien mit einer irdischen Gesamteisfläche von 40–50 Mio. km². Die während der pleistozänen Eiszeitära seit etwa 2 bis 1 Mio. Jahren immer wieder erfolgende interglaziale Erwärmung, mit ihrem etwa 100 000 Jahre dauernden Wechsel zu milderem Klima zwischen den einzelnen Hocheiszeiten, wurde – nach der hier vertretenen, in der Globalstrahlungsgeometrie fußenden, reliefspezifischen Eiszeittheorie – durch die zwischenzeitliche extraterrestrische Erwärmung infolge der Strahlungsanomalien nach MILANKOVIĆ [34] bewirkt. Hierbei interferieren und verändern sich die Erdbahnparameter-Exzentrizität der Umlaufbahn um die Sonne, die Ekliptikschiefe und die Position des Frühlingspunktes mit dem Ergebnis einer irdischen Erwärmung um etwa 3 °C, so daß eine Schneegrenzanhebung um ca. 500 m resultiert. Diese führt zu einer globalen Gletscherflächenreduktion um weit über 50 %, so daß durch Albedoverringerung eine weitere Erwärmung der Atmosphäre folgt, die zuletzt sogar die Gletscherauflage Tibets weitgehend abschmelzen läßt. Die sehr bedeutende Eisflächenverkleinerung bei nur 500 m Schneegrenzanhebung folgte aus dem sehr flachen Oberflächengefälle der Tieflandeise im jeweiligen Schneegrenzniveau. Das ist der letzte Schritt zu einer Zwischeneiszeit. Sie wird jedoch nur durch die glazial-isostatische Absenkung Tibets infolge der hocheiszeitlichen Eisauflast möglich. Eine

Abb. 10. Vorgeschobenes Basislager, K2-Gletscher (4130 m ü. M.), vom 22. 9. bis 12. 10. 1986; Klimadaten der Meßstation 2 im unmittelbaren Vorfeld der K2-Gletscherzunge auf vegetationsfreier Moränenoberfläche mit hellen Quarzsanden (Abb. 2, Nr. 1).
Standpunkt: 36° 02′ 20″ N, 076° 27′ E.
Grafik: M. KUHLE (Entwurf), H. GIESELER (Programm)

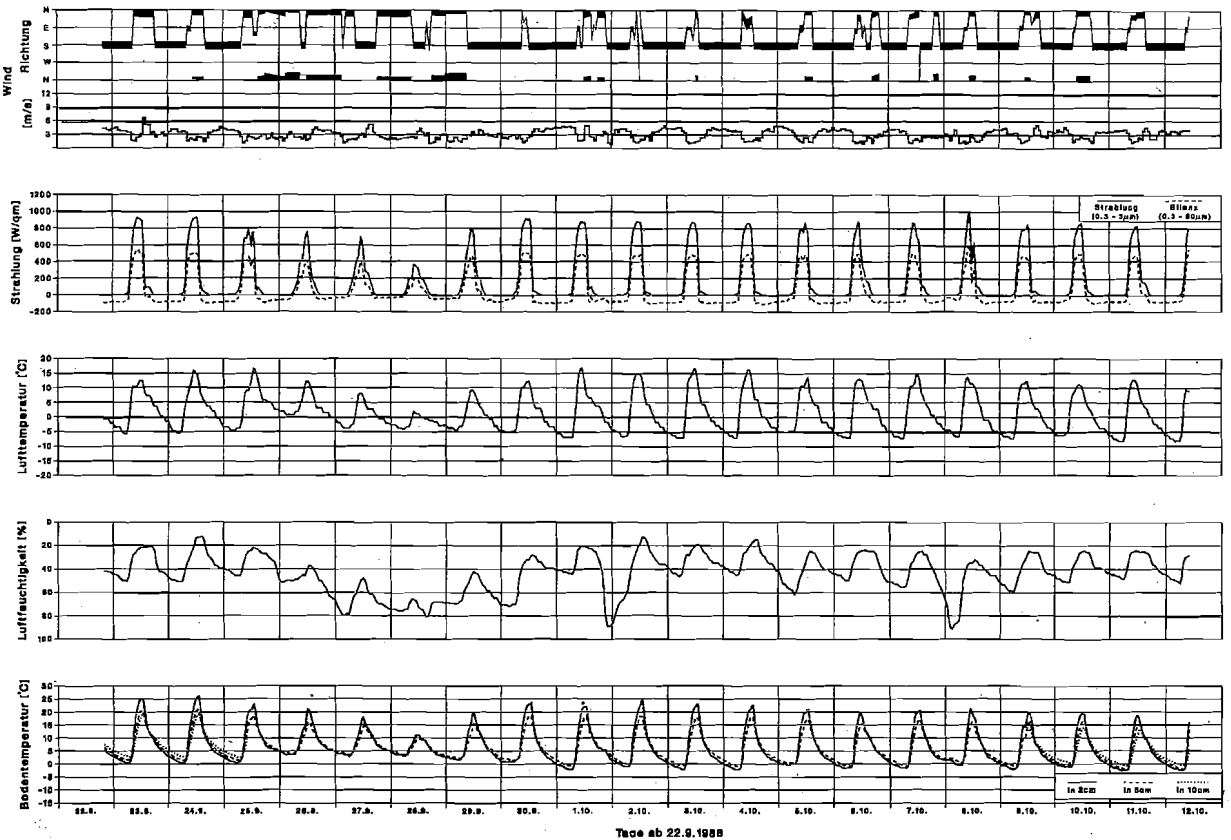

Wind
Richtung
[m/s]
Strahlung [W/qm]
Strahlung (0.3 - 3µm)
Bilanz (0.3 - 60µm)
Lufttemperatur [°C]
Luftfeuchtigkeit [%]
Bodentemperatur [°C]
in 2cm
in 5cm
in 10cm
Tage ab 22.9.1988

Abb. 11. K 2-Gletscher (4 600 m ü. M.), vom 26. 9. bis 11. 10. 1986; Klimadaten der Meßstation 3 auf der Zungenoberfläche des K 2-Gletschers im Ablationsgebiet (Abb. 2, in der Mitte zwischen Nr. 1 u. 3). Die Station steht auf vollständig abdekkender, dezimetermächtiger Obermoräne.

Standpunkt: 36° 00′ 45″ N, 076° 28′ E.

Grafik: M. KUHLE (Entwurf), H. GIESELER (Programm)

solche Absenkung betrug 400–800 m (vgl. KUHLE [31]). Die spätere zwischenzeitliche glazial-isostatische Hebung ging viel langsamer und insgesamt deutlich verzögerter vor sich als die Entlastung durch Deglaziation. Das Hochplateau konnte dadurch infolge der allmählichen positiv rückgekoppelten Wiedererwärmung der Atmosphäre – induziert von bereits großflächig freigeschmolzenen Tieflandeisgebieten – sukzessive vollständig enteisen. Die interglazial wieder einsetzende Hebung bis zurück in die Ausgangsposition eines erneuten Inlandeisaufbaus, d. h. bis an oder etwas über die Schneegrenze, bedarf – je nach Hebungsgeschwindigkeit, die im Mittel 1 cm pro Jahr betragen kann – mehrerer Jahrzehntausende. Das ist annähernd der Wert (0,9 cm/Jahr), mit dem nach CHEN [1] Zentraltibet heute gehoben wird. Erst dann fängt eine neue Eiszeit an, und der Zyklus beginnt von vorne. Es ist also eine Klimahöhengrenze, welche die primär tektonische und später wiederholt glazial-isostatische Hebung des Tibetplateaus durch seine Eisauflast beendete und dabei die maximal erreichbare Meereshöhe in Abhängigkeit von der geographischen Breite limitierte.

Dieses Eiszeit-Entstehungsmodell bietet eine neue Sicht zum Verständnis der älteren globalen Eiszeitären, wie des Permokarbons. In Analogie haben wir nach einem damaligen großen subtropischen bzw. maximaler Globalstrahlung ausgesetzten Hochplateau zu suchen. Seine gerade wegen dieser Einstrahlungsintensität notwendige große Höhe ist zwar nicht unmittelbar zu rekonstruieren, ist jedoch aus der Kombination glazialgeomorphologischer Indikatoren mit der heute bekannten damaligen geographischen Breitenlage im Verhältnis zur dadurch abschätzbaren Schneegrenzhöhe erschließbar.

Die von früheren Hypothesen in Anspruch genommene Eiszeitbereitschaft der Erde durch die Pol-Lage der Antarktis besteht auch heute und während der Interglaziale. Sie trägt darum genauso wenig grundlegend zu einer globalen Eiszeit bei, wie die auch während des Mesozoikums durchgängig wirksamen zyklischen Erdbahnparameterverschiebungen im Sinne von MILANKOVIĆ (s. o.) die über jene 100 Mio. Jahre zu keiner Eiszeit geführt haben.

Zur Entstehung des Films

An der Expedition waren die im folgenden aufgeführten Wissenschaftler beteiligt.

Aus Deutschland:

Dr. MATTHIAS KUHLE, Professor für Geographie und Hochgebirgsgeomorphologie an der Universität Göttingen; HOLGER DIETRICH, Dipl.-Geogr.; ANDREAS SCHULZE, Dipl.-Geogr.; BERNHARD DICKORÉ, Dipl.-Biol.

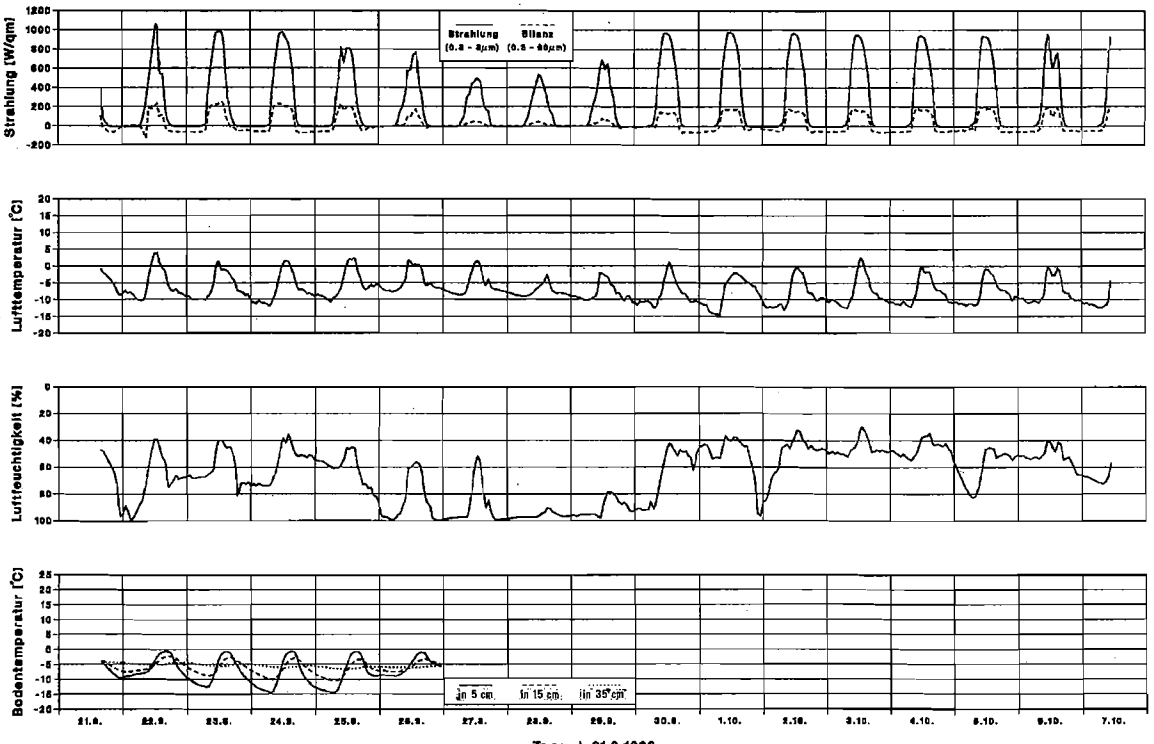


Abb. 12. Firnbecken, K2-Gletscher (5330 m ü. M.), vom 21. 9. bis 7. 10. 1986; Klimadaten der Meßstation 4 im Nährgebiet des K2-Gletschers (s. Abb. 8; Abb. 2, links oberhalb des K2)
Grafik: M. KUHLE (Entwurf), H. GIESELER (Programm)

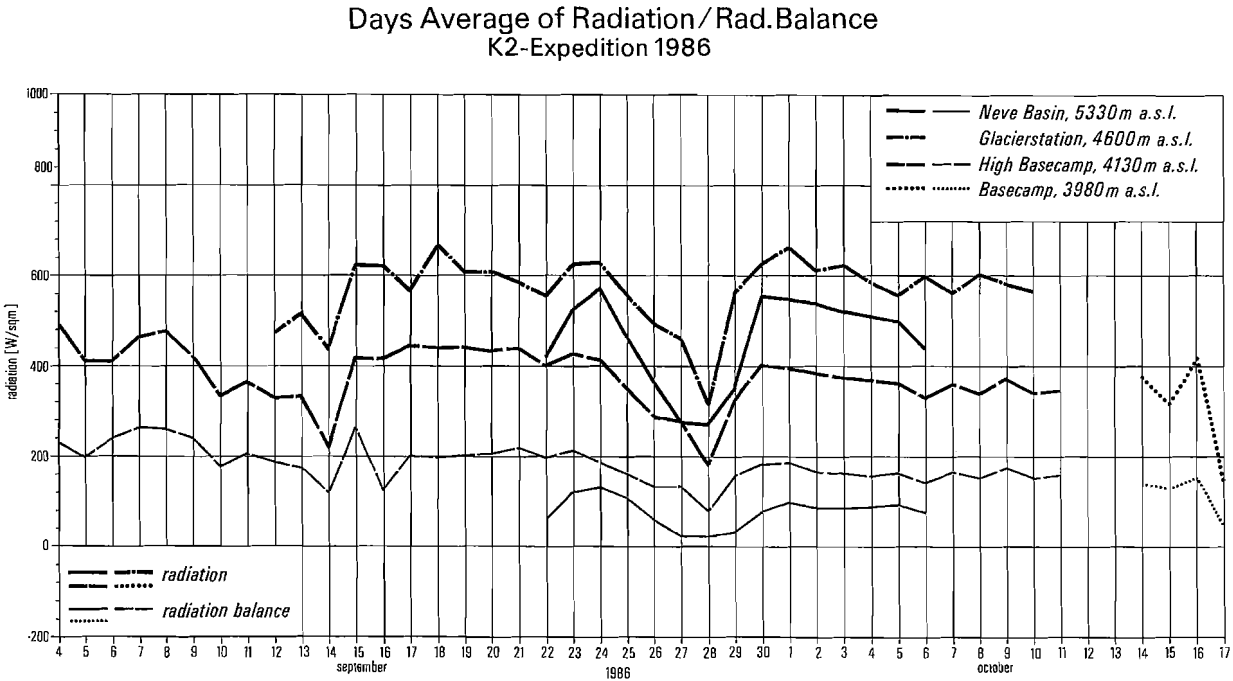


Abb. 13. Täglicher Durchschnitt der Globalstrahlung und Strahlungsbilanz der Klimameßstationen 1 bis 4 (3980–5330 m ü. M.) insgesamt

Grafik: M. Kuhle (Projekt), R. Staschel (Plot), 1989

Abb. 14. Von der orographisch rechten Seitenmoräne des K 2-Gletschers, etwas oberhalb des Zwischenlagers (Hochlager 1), aus 4680 m ü. M. (Abb. 2, Nr. 3) gegen Westen über das mittlere Ablationsgebiet des K 2-Gletschers in die orographisch linke Talflanke mit der Einmündung eines Nebengletschers. Dieser Teilstrom geht aus einem hängenden Kurztrog hervor, dessen Flanken auf über 6000 m hinaufreichen. An ihnen befindet sich zuströmendes Flankeneis mit Eisbalkonen (○). Über eine steile Konfluenzstufe fließt der Gletscher mit einem Gletscherbruch und Eisfall bei schmalerem Querschnitt und mit erhöhter Fließgeschwindigkeit ins Haupttal hinab. Kurz bevor dieses erreicht wird, teilt sich das Eis oberhalb eines kleinen Felsriegels, eines Rundbuckels, in zwei Eisfallteile (↓ u. ↓). Auffällig ist die annähernd vollständige Aufrauhung der Haupttalflanken (□) bereits unmittelbar über dem heutigen Gletscherpegel. Es wurden also selbst die nur wenige Jahrtausende alten

Aus China:

Xü Daoming, Professor für Kryopedologie und Glaziologie der Academia Sinica in Lanschou; Feng Qinghua, Professor für Hydrologie der Academia Sinica in Lanschou; Huang Rongphu, Professor für Botanik der Academia Sinica in Xining; Shen Yongping; Ding Yongjiang; Qin Dahe; Richard J. Thwaites (als Gast der Chinesen)

Für die filmische Dokumentation während der Expedition war Dipl.-Ing. Kuno Lechner, Kameramann am Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, zuständig, dem der Dipl.-Geogr. Jens Peter Jacobsen zur Seite stand. Bei der Durchführung der Film- und Tonaufnahmen wechselten sich beide ab.

An Geräten wurden verwendet: zwei Kameras Arriflex 16 SR (I und II) und eine Kamera Bolex, 16 mm, sowie ein Tonkassettengerät Sony WM-D 6C und eine Stellavox SP7. Aufgenommen wurde auf Farbnegativfilm Kodak 7291 mit Filter 85B und N9.

Finanziert wurde die Filmdokumentation gemeinsam von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film.

Die Expedition insgesamt wurde weiterhin gefördert durch die Max-Planck-Gesellschaft, die Academica Sinica und die Firma Wilhelm Lambrecht GmbH.

Filmbeschreibung

Wortlaut des gesprochenen Kommentars[1]

Vom 10. August bis 12. November 1986 fand eine deutsch-chinesische Gemeinschaftsexpedition zur Glazial-Geomorphologie Hochasiens statt.

Initiator und wissenschaftlicher Leiter war Professor Matthias Kuhle von der Universität Göttingen (Deutschland), Kooperationspartner Professor Xü Dao-

[1] Der *kursiv* gesetzte Abschnitt entspricht dem im Film gezeigten Rolltitel, und die eingerückten Abschnitte in Kleindruck geben Auszüge aus den Originaltongesprächen der aufgenommenen Personen wieder.

Flankenschliffe inzwischen durch Frostverwitterung, Lawinen und Steinschlag zerstört. In unmittelbarer Gletschernähe ist die physikalische Verwitterung aufgrund der großen Temperaturunterschiede am wirkungsvollsten. – Von Obermoräne bedeckte Gletscherstränge (■) wechseln mit Blankeisträngen ab, die hier im mittleren Ablationsgebiet in die größten, bis zu 30 m Höhe erreichenden Eispyramiden (▲) als Folge subtropischer, intensiver Sonneneinstrahlung (vgl. Abb. 11) aufgelöst werden.

Standpunkt: 35° 59′ N, 076° 28′ E. Foto: M. Kuhle, 16. 9. 1986

ming vom Lanschou Institut (China). Neun weitere Wissenschaftler aus beiden Ländern waren beteiligt. Aber erst zahlreiche chinesische Helfer, einheimische Treiber mit ihren Kamelen und Hochträger machten die Ausführung möglich. Ein zweiköpfiges Aufnahmeteam führte eine begleitende Filmdokumentation über Ablauf und Organisation der Expedition sowie die Gewinnung von Meßdaten durch. Gleichzeitig wurde der glaziale Formenschatz in seinem regionalen Zusammenhang erfaßt.

Die Gemeinschaftsexpedition führte die Wissenschaftler für drei Monate nach Westtibet. Dort, wo die Gebirgssysteme von Kuenlun und Karakorum zusammenlaufen, versprach man sich die Lösung eines wichtigen geographischen Problems. Thema war die eiszeitliche Vergletscherung Tibets und damit ganz Hochasiens.

Der Anflug endete in der Oasenstadt Kashgar in dem von Gebirgen eingefaßten Tarim-Becken. Seit Jahrhunderten ist dieser zentral gelegene Ort Ausgangspunkt für Expeditionen und für Handelskarawanen, die den westlichen Teil Hochasiens auf der Nord-Süd-Route queren.

Kashgar verdankt seine Existenz in einem weithin ariden Umfeld einem aufwendigen Bewässerungssystem. Als agrarisches Handelszentrum führt es über einen Tausende von Kilometern weiten Einzugsbereich die verschiedensten Ethnien zusammen. Sowohl indo-arische als auch mongolische und tibetische Volksgruppen trifft man hier an.

Reisende fühlen sich in eine andere Zeit versetzt. Hier kann man Handwerke beobachten, die im übrigen China nur noch selten betrieben werden. Die Innenstadt Kashgars wird vom orientalischen Bazarhandel geprägt. Die Expeditionsmannschaft kann hier ihre mitgebrachten Nahrungsmittel durch haltbare hiesige Lebensmittel ergänzen, wie Erdnüsse und Aprikosen oder Walnüsse, Mandeln und Rosinen. An die starke Würzung der Speisen – wie sie bei dem kontinental-heißen Sommerklima Zentralasiens notwendig ist – muß sich der Europäer erst gewöhnen.

Sobald die Expedition – am 17. August – die Oasenstadt verlassen hat, beginnt die Fahrt durch das Kuenlun-Vorland nach Süden, über beinahe vegetationslose Schotterfächer. Die Sommerluft ist von Löß erfüllt, dem feinen Gesteinsstaub, der aus den eiszeitlichen, von Gletscherschmelzwässern abgelagerten Sedimenten ausgeblasen wird.

Die Schotterstraße führt im Tarim-Becken randlich durch die Wüste Takla Makan und weiter über den Hauptkamm des 6½ km hohen Kuenlun-

Gebirges. Die anschließende Strecke über das ebenso hohe Aghil-Gebirge bis in die Nordabdachung des Zentralen Karakorum ist nur mit einer Kamelkarawane zu bewältigen.

Die tonnenschwere Ausrüstung ist auf zwei Lastwagen verladen, die dem Bus in die schluchtartigen Täler des Kuenlun folgen. Dies Gebirgssystem wird in einem knapp 5000 m hohen Paß gequert. Auf die runden, schuttbedeckten Bergrücken fällt auch im Sommer zeitweise Schnee. Die Talfahrt nach Süden hinab erfolgt über ein ganzes System von Schotterterrassen. Sie dokumentieren die Talgeschichte der letzten 12000 Jahre.

Am 20. August endet die Fahrt bei der Militärstation Mazar oberhalb des Yarkand-Flusses in 3800 m. Als weitverzweigter Schmelzwasserstrom durchfließt der Yarkand das große Längstal zwischen Kuenlun und Aghil-Gebirge. In dieser Hochgebirgswüste erfolgen mehrere Akklimatisationsaufstiege bis 4500 m hinauf. Das Yarkand-Tal kanalisiert kalte katabatische Winde aus Westtibet herab, die Geschwindigkeiten von 100 km pro Stunde erreichen können.

Ein chinesischer Arzt begleitet die Expedition. Besonders anfangs können ungenügende Höhenanpassung, Klimaveränderung oder Nahrungsumstellung zu Beschwerden führen.

Da das Expeditionsgebiet von hier an weder mit Fahrzeugen noch aus der Luft erreichbar ist, bleibt man bis heute auf die Karawane angewiesen. In Mazar müssen deshalb Kamele angemietet werden. Dazu sind Treiber mit ihren Tieren aus dem Tarim-Becken hierher gezogen. Professor Xü Daoming ist der für den organisatorischen Ablauf zuständige Expeditionsleiter auf chinesischer Seite. Er führt mit den Sprechern der meist uigurischen Treiber Verhandlungen über den Zeitplan der Expedition sowie die Entlohnung. Ein uigurisch sprechender Dolmetscher erleichtert die Verständigung. Man einigt sich schließlich auf 20 Treiber und wählt 70 Tiere aus. Sie sollen die Ausrüstung der Expedition, aber auch ihr eigenes Futter transportieren. Diese zur Familie der Kamele gehörenden asiatischen Trampeltiere haben zwei Höcker. Sie tragen mit ihren robusten Packsätteln selbst in diesen Höhen noch Lasten von 100–200 kg. Als Reittiere werden die Kamele später nur in Ausnahmesituationen zum Einsatz kommen.

Vor dem Abmarsch bereiten die Treiber aus Maismehl und Wasser Kraftfutter für ihre Tiere zu. Denn die Trockenheit und Vegetationsarmut bietet längs der Route keine ausreichenden Weidemöglichkeiten. Alle Lebensmittel werden hier erschöpfend genutzt. Sogar die Kerne der Aprikosen werden aufgeschlagen. Am nächsten Morgen wird die Karawane aufbrechen.

Die ersten vier Tage, vom 26. bis 29. August, waren für den Marsch zu den Aghil-Ketten vorgesehen. Dafür mußte von Mazar zwei Tage lang der Yarkand abwärts verfolgt werden. Auf dieser noch relativ guten Wegstrecke wurde an den mit Bazar Dara und Ilyk bezeichneten Punkten kampiert. Weniger einfach war der Aufstieg durch die Schlucht des Surukwat, eines südlichen Nebenflusses des Yarkand, zu einem Nomadenplatz im Aghil-Gebirge in 4200m Höhe.

Da der Sammelplatz der Kamele immer abseits liegt, müssen die Tiere morgens zum Beladen ins Lager geführt werden. Vor besonders anstrengenden Marschtagen werden die Kamele mit Getreidekörnern und -spreu gefüttert. Während des Wiederkäuens lassen sie sich am besten beladen. Jedes Tier sollte seiner Konstitution und seinem schwankenden Leistungsvermögen entsprechend behandelt werden. Deshalb wird die Lastenverteilung innerhalb der Karawane variiert. Die jüngeren Treiber sind dabei auf die Erfahrung der älteren angewiesen. Rachman, der Karawanenführer, ist hier besonders gefragt.

Seit Generationen werden Lasten in Säcken und Stoffplanen transportiert, die sich gut verschnüren lassen. Demgegenüber stellen die stoßfesten Transporttonnen und Aluminiumkisten ungewöhnliche Anforderungen an Treiber und Tiere. Wegen ihrer Sperrigkeit und ihrer Eigenschwingungen behindern sie die Tiere auf Schritt und Tritt. Die Aluminiumkisten sind besser zu packen. Sie sind aber nur schwallwassergeschützt. Deshalb werden die empfindlichen elektronischen Meßgeräte und das Filmmaterial in den vollständig wasserdichten Tonnen transportiert. Nicht immer gelingt es, die Lasten nahe am Tierleib zu verschnüren und den Schwerpunkt tief zu halten. Paßgänger haben darunter besonders zu leiden. Die Kamele sind zu mehreren hintereinandergebunden. Während die älteren, vorne laufenden Tiere mit Hilfe eines Nasenholzes dirigiert werden, reicht für die jüngeren ein einfaches Kopfgeschirr. Der einzelne Treiber führt vier oder mehr Kamele, je nach Schwierigkeit der Wegstrecke.

Diese Trasse ist erst vor wenigen Jahren im Yarkand-Tal weitergeführt worden. Doch Muren, Fels- und Bergstürze und jahreszeitliche Hochwasser haben sie an vielen Stellen bereits wieder zerstört. Kamele sind hier die einzig in Frage kommenden Lasttiere, da sie mit der extremen Vegetationslosigkeit noch am besten zurechtkommen. Ihre Trittsicherheit jedoch ist selbst bei schwachen Abstiegen eher unzulänglich. Im Laufe des Tages zieht sich die Karawane auseinander. Es wird jedoch darauf geachtet, daß die mit Zelten und Lagerutensilien beladenen Tiere als erste und möglichst noch bei Tageslicht eintreffen. So ist das Lager Ilyk bereits aufgebaut.

Während der Tagesetappen gehen die Wissenschaftler auch fachlichen Arbeiten nach, hier der Geograph Andreas Schulze. – Im Konfluenzbereich von Yarkand und Surukwat liegen klassische Rundhöcker, eiszeitliche Gletscherschliffflächen. Die spiegelnden Glättungen auf dem Schiefergestein beweisen, daß die Gletscherverfüllung dieses Talsystems erst wenige Jahrtausende zurückliegt. Zur Sicherung der Geländeanalyse werden die Gesteinsproben später im Labor überprüft werden.

Rundhöcker findet man nur noch an wenigen Stellen. Denn sie sind von mächtigen glazifluvialen Schottern weitgehend zusedimentiert worden. Die über diesen charakteristischen Talboden mit seinen ausgedehnten Terrassen aufsteigenden Felsflanken lassen das typische Trogtalprofil erkennen. Sie zeigen eine über 1 000 m mächtige Eisfüllung an. Nur einen Tagesmarsch das Surukwat-Tal aufwärts wird die Wurzelzone der Schotterterrassen erreicht. Aus einer Terrassenwand löst der Geograph Holger Dietrich einige Schotterkomponenten sowie Proben der feinen Zwischenmasse heraus. Aus der Beschaffenheit der Körner werden sich Details über den einstigen Transport- und Ablagerungsprozeß gewinnen lassen.

Diese Schotterablagerungen erreichen sieben Niveaus und mehrere hundert Meter Mächtigkeit. Sowohl ihre Schichten als auch die Terrassenoberflächen sind steiler abgedacht als die heutige Taltiefenlinie – ein wichtiger Indikator für alle von Gletscherschmelzwassern aufgebauten Schotterfluren. Dieses Lockergestein ist so fest verbacken, daß es sich zur Anlage kleiner Höhlenwohnungen für die wenigen hier lebenden Hirtennomaden eignet.

Die Flanken des Surukwat-Tales treten aufwärts immer enger zusammen. Für die nun folgende schwierige Wegstrecke hinauf ins Aghil-Gebirge wird die Befestigung der Lasten überprüft. An der Südostseite der Schlucht muß die Karawane auf schmalen Gesimsen Höhe gewinnen, um die vor ihr liegende Engstelle passieren zu können. An einem besonders steilen Flankenvorsprung gleitet plötzlich eines der unerfahrenen Jungtiere aus. Es verendet einige Meter über dem Wildbach mit gebrochenem Rückgrat. Die Expedition hat später den Verlust weiterer Tiere hinnehmen müssen – nicht nur des schwierigen Geländes wegen, sondern auch aufgrund zunehmender Entkräftung.

Im Bereich der Surukwat-Schlucht sind auf dem anstehenden Quarzitgestein perfekt erhaltene Gletscherschrammen zu finden. Sie entstehen, wenn Gesteinsbruchstücke vom Eis am Fels entlanggezogen werden, und sind ein direkter Nachweis für frühere Gletscher. Kennzeichnend für solche Kritzungen ist ihre garbenförmige Anordnung. Quarzit bewahrt wegen seiner Feinkörnigkeit und Härte solche Spuren am besten.

In der zweiten Augusthälfte trifft man hoch im Aghil-Gebirge, hier oberhalb von 4000 m, noch einzelne Gruppen kirgisischer Hirtennomaden mit ihren Herden an. Sie bevorzugen Wohnplätze an überhängenden Felsfluchten. An diesem günstigen Platz schlägt die Karawane am 29. August ihr viertes Lager auf. Die Nomaden treffen zu der Zeit Vorbereitungen, um für den Spätsommer und Herbst in eine tiefer gelegene Behausung abzusteigen. Milch, Käse, Fleisch und Getreidemehl sind Grundlage ihrer Speisen. Auch der Gast wird an der Mahlzeit beteiligt.

Am nächsten Morgen geht es um einen zügigen Abmarsch, denn es gilt, den 4870 m hohen Aghil-Paß zu überschreiten. Die Route folgt dem sich aufwärts weitenden Aghil-Tal, dessen Boden von riesigen Murfächern bedeckt ist. In kleineren Gruppen erreicht die Karawane den weitgespannten Paßbereich, in dem kleine Seen die vorzeitliche glaziale Übertiefung ausweisen. Bei einem Rundblick von Norden nach Süden über die Westflanke des Passes ist die weit hinaufreichende Abrundung der Kalkfelsen auffällig – ein Zeichen dafür, daß der Paß einmal mit einer Mächtigkeit von mehreren 100 m vom Eis überflossen wurde. Er war also ein Transfluenzpaß des südlich liegenden eiszeitlichen Gletschersystems. Allein um die Paßhöhe zu erreichen, muß das Eis das angrenzende Shaksgam-Tal in einer Mächtigkeit von 1000 m aufgefüllt haben.

Nach einem schwierigen Abstieg erreicht die Karawane den Boden des Shaksgam-Tales erst bei Dunkelheit. Der aus dem Südosten kommende Shaksgam-Fluß leitet heute die Schmelzwässer großer Gletscher des Ost-Karakorum ab. Er hat eine kilometerbreite Schottersohle aufgebaut. Talabwärts weiter im Westen treten aus dem Zentral-Karakorum die Wasser von Skamri-, Sarpo-Laggo- und K2-Gletscher hinzu.

Um diese Gletscher zu erreichen, muß der Shaksgam-Strom mit seinen zahlreichen Armen überquert werden. Das kalte, reißende Wasser des Flusses muß durchritten werden. Die Lasten jüngerer Tiere werden deshalb vorübergehend diesseits deponiert. Zur Überquerung werden die kalten Morgenstunden genutzt, denn bis zum Nachmittag steigt der Pegel dieses Schmelzwassers um 20–30 cm an. Die Suspension, die Fracht an Ton und Siltkörnern, gibt dem Gletscherwasser eine milchige Trübe. Die tieferen Flußarme müssen diagonal aufwärts durchritten werden, damit sich die Tiere gut gegen die Strömung stemmen können. Das Risiko eines Unfalls steigt sprunghaft, sobald das Wasser den Rumpf der Tiere erreicht.

Für die Expedition gab es einen äußerst knappen Zeitrahmen, denn das Shaksgam-Tal ist erst in der zweiten Augusthälfte passierbar, wenn die som-

merlichen Abflußspitzen überschritten sind und der Pegel des Flusses fällt. Wenige Tage zuvor hätten die Kamele die reißenden Schmelzwasserfluten noch nicht durchqueren können.

Die Kamele brauchen jetzt einen Ruhetag. Hierfür ist ein mit Myricarien bestandener Bereich am Südufer besonders geeignet. Hier können die Tiere ausgiebig weiden. Die Büsche werden vom Grundwasser, d. h. von Gletscherschmelzwasser, versorgt. Regen fällt hier so gut wie keiner. Wegen des über die ganze Talbreite pendelnden Flußlaufes muß der Shaksgam noch mehrere Male durchritten werden.

Zwei weitere Tage waren notwendig, um den Weg Shaksgam-abwärts, das untere Mustagh-Tal aufwärts und durch das Tal, das zum K2 führt, bis zur Gletscherzunge hinauf zurückzulegen. Dabei wurde ein Depot in 3970m Höhe am sog. „Grünen Platz" eingerichtet, wo die Kamele bis zum Rückmarsch weiden konnten.

Im Shaksgam-Tal durchmißt die Karawane ein riesiges Trogtal. Den vom Gletscherschliff gerundeten Dolomitwänden liegen am Fuß Mur- und Schwemmkegel an, die vom Fluß immer neu unterschnitten werden. Die enormen fluvialen Aktivitäten halten auch die Flanken der angeschlossenen Nebentäler steil, so daß die Karawane den Wildbach des K2-Gletschers mehrfach queren muß. Hier in Gletschernähe stellt das sehr grobblockige Schuttmaterial, das von ausgespülter Moräne herrührt, große Anforderungen an die Kraft und Trittsicherheit der Tiere. Die Karawane kommt nur stockend voran. Ein Teil der Lasten wurde schließlich deponiert, um es wenigstens einer Vorhut zu ermöglichen, den Platz des Basislagers bis zur Dunkelheit zu erreichen.

Das Tal weitet sich in einem Zungenbecken, aus dem der Eisstrom erst vor wenigen Jahrzehnten zurückgeschmolzen ist. Hier wird der höchste Punkt des Karakorum-Systems sichtbar – der K2. Mit 8617m ist er der zweithöchste Gipfel der Erde. Er gehört zum Nährgebiet desjenigen Gletschers, den die Expedition in den kommenden Wochen untersuchen wird.

Direkt unterhalb der Gletscherzungenstirn ist am 2. September in 4130m das Basislager errichtet worden. Nach und nach werden in den folgenden Tagen Lasten von den verschiedenen Depots angeliefert. So kann die Klimameßstation aufgestellt werden: ein Windmesser, der Windstärke und -richtung mißt, zwei solcher Globalstrahlungsmesser mit halbkugelförmigen Meßbereichen sowie ein Strahlungsbilanzmesser. Die spezielle Klima- und Witterungssituation im unmittelbaren Vorfeld dieses Karakorum-Gletschers wird außerdem durch Bodentemperatur-Meßfühler und einen Thermohy-

grographen festgehalten. Die Messungen werden nun systematisch über die gesamte Periode der Feldarbeiten durchgeführt. Für die Zelte kam aus Sicherheitsgründen nur eine schmale Moränenleiste oberhalb des Gletscherbaches in Frage.

Der Botaniker Bernhard Dickoré erfaßt dieses Ökotop durch die Aufnahme des Vegetations- und Pflanzenbestandes. Hier im unmittelbaren Gletschervorfeld, an den Ufermoränenböschungen, die erst vor kurzem freigeschmolzen sind, haben bisher allein Kräuter und Zwergsträucher Fuß fassen können. Sie bleiben im groben Blockwerk geschützt vor dem kalten Gletscherwind. Von jeder Pflanzenart werden zwei bis drei Exemplare in einem Feldherbarium gepreßt. Beim Einlegen neuer Pflanzen werden auch die älteren Proben umgelegt, um nach und nach sämtliche Feuchtigkeit herauszuziehen.

Kameramann Kuno Lechner bereitet im Basislager die Geräte für die Dokumentation des weiteren Aufstiegs und der Arbeiten im Gletschergebiet vor. Das Zelt bietet den notwendigen Schutz vor Wind und Staub.

Das Gletscherende, vom K 2 18 km entfernt, ist derzeitig wieder im Vorstoß begriffen. Die pralle Zunge ist von meterdicker Obermoräne bedeckt. Von einem erhöhten Standort am orographisch linken Gletscherufer reicht der Blick vom schneebedeckten Aghil-Gebirge im Norden bis hin zum Süden über den gesamten K 2-Gletscher. Der Obermoränenschutt deckt diesen Talgletscher auf eine Länge von 6 km in ganzer Breite ab. Erst oberhalb von 4 650 m liegen größere Eisflächen offen. Derartige Obermoräne kennzeichnet das Ablationsgebiet des Gletschers, eine Klimahöhenstufe, in der der Abschmelzprozeß die Gletscherernährung übertrifft. Hier wurde mitten auf dem Gletscher eine weitere Klimameßstation installiert. Die Kalibrierung war auf der labilen Schuttdecke allerdings aufwendig.

Das für die Untersuchungen ausgewählte Talgletschersystem umfaßt neben dem vom K 2 abfließenden Hauptgletscher auch den 10 km langen Skyang-Kangri-Gletscher. Sein Einzugsbereich, der 7544 m hohe Skyang Kangri, liegt nordöstlich des K 2 im Karakorum-Hauptkamm. Im Konfluenzbereich dieser beiden Gletscher sollte das erste Hochlager, das Zwischenlager, aufgebaut werden, in 4 670 m Höhe. Wichtig für die Einrichtung dieses Lagers war es, einen auch bei schlechtem Wetter eindeutigen Weg vom Basislager über den Gletscher zu finden. Er sollte nur wenige Gegensteigungen haben und mit Lasten an einem Tag zu bewältigen sein. Die auf dem Gletscher installierte Klimastation lag auf halber Strecke zu diesem Lager.

Nachdem die deutschen Wissenschaftler die Route erkundet haben, schaffen sie Anfang September die ersten Lasten in das Zwischenlager hinauf: der

deutsche Expeditionsleiter Professor Matthias Kuhle, Andreas Schulze, Holger Dietrich, Bernhard Dickoré, Jens Peter Jacobsen und Kuno Lechner.

Der Weg führt vorbei an Gletscherbrunnen, vertikalen Schmelzwasserabflußröhren im Eis, aber auch an großen Höhlen im Gletscherkörper im Uferbereich, in denen breite Bänder eingelagerter Quermoräne und die geschichtete Struktur des Eises sichtbar werden. Hier setzen auch die Eispyramiden ein, in denen luftreiches weißes Eis die Obermoräne durchbricht. Unterhalb der Eislage, die die Pyramiden ausbildet, ist größerflächig die Quermoräne aufgeschlossen. Sie trennt das aus Lawinen gespeiste hangende Eis von einem darunter liegenden primären Eiskörper ab. Hier am Gletscherrand sind in das angrenzende Ablationstal Schotterflächen eingefüllt worden. Sie wurden aus dem östlichen Seitental vom Skyang-Kangri-Gletscherbach gegen die Barriere des Hauptgletschers aufgeschüttet.

Auf der ältesten Schotterterrasse ist das Zwischenlager aufgestellt. Der Bach ist in dieser Jahreszeit so kräftig, daß ihn seine Suspensionsfracht während des ganzen Tages trübt. Beim Reiswaschen stört das den chinesischen Koch nicht. Doch für die Bereitung von Getränken läßt er das Wasser abstehen. In den zentralen Lagern wird mit Benzin gekocht, weil davon noch in Kashgar ein größerer Vorrat zu bekommen war. In den abgelegenen Hochlagern benutzen die Wissenschaftler dann aus Deutschland mitgebrachte Gaskocher. Mehrere Wochen lang wird Wang Daxian das Zwischenlager versorgen. Der andere chinesische Koch bleibt für das Basislager zuständig.

Hier vom Zwischenlager aus müssen so schnell wie möglich die Aufstiegsmöglichkeiten in die oberen Gletscherbereiche erkundet werden. Die zunächst vorgesehene Route am östlichen Gletscherrand stellt sich als steinschlaggefährdet heraus. Mehrfach müssen die Routenpläne umgestoßen werden. Die Höhengruppe steht unter Zeitdruck. Um ihren Gesundheitszustand zu überwachen, ist der Expeditionsarzt Dr. Li Boliang ins Zwischenlager heraufgekommen.

Der mehrere hundert Meter breite Raum zwischen Gletscherrand und Talhang, in dem das Camp liegt, nahm noch 10 bis 20 Jahre zuvor das Ende der Skyang-Kangri-Gletscherzunge auf. Diese Gletscherzunge hat bis zu 60 m hohe Endmoränenhügel gegen die Eispyramiden des K2-Gletschers aufgeschoben. Dahinter ist Schmelzwasser aufgestaut. Die gegenüberliegenden Nebengletscher fließen im Gegensatz zum Skyang-Kangri-Gletscher steil von ihren Einzugsbereichen herab. Sie münden, im Schatten der Westflanke, noch heute in den Hauptgletscher ein.

Nachdem schließlich ein Weg durch das randliche Eispyramidenlabyrinth gefunden ist, wird das Gelände einfacher. Die Route zum K 2 folgt nun einem Obermoränenstrang entlang kleiner supraglazialer Schmelzwasserbäche. Diese Route kann in den folgenden Wochen annähernd beibehalten werden. Denn die teilweise mit Neuschnee bedeckten Obermoränenstreifen verändern sich nur langsam. Die starke Sonneneinstrahlung an schönen Tagen führt zur typischen Schmelzablation subtropischer Breiten und läßt die Eispyramiden über 20 m hoch herauswachsen.

Auf dieser oberen Route müssen zahlreiche Gegensteigungen überwunden werden. Die Vorhut hat am 13. September einige Zelte hinaufgetragen, um ein Hochlager am Nordsporn des K 2 zu errichten. Die ersten Trägergruppen bringen nun Gerätschaften, vor allem die dritte Klimameßstation, den Gletscher hinauf. Auf diesen Gletscherabschnitten nimmt die Obermoräne noch die Hälfte der Eisstromoberfläche ein. Sie ist in das Niveau der Eispyramidenspitzen hier um viele Meter eingesenkt. Ursache ist ihre stärkere Erwärmung durch die Sonneneinstrahlung, aber auch ihre noch geringe Mächtigkeit.

Der Weg vom Zwischenlager bis zum Nordsporn des K 2 ist 10 km lang, und das Hochlager wird häufig erst gegen Abend erreicht.[1]

Die Zelte des Hochlagers waren in 5 150 m in idealer Position mitten im Einzugsbereich des K 2-Gletschers aufgestellt. Von hier aus waren alle geplanten Arbeitsgänge in den Firngebieten westlich und östlich in eintägigen Unternehmungen zu bewältigen. In 5 330 m wurde dicht unterhalb des K 2-Nordsporns die Klimahochstation aufgestellt.

Wenn die Sonne den Gipfel des K 2 erreicht, liegen Gletscher und Hochlager noch lange im Schatten. Gegen Morgen werden die niedrigsten Temperaturen erreicht, die selbst in dieser Jahreszeit auf unter –20 °C fallen können. In den zwischen Blöcken der Obermoräne aufgestellten Doppelwandzelten sinken die Temperaturen jedoch nur wenig unter den Gefrierpunkt.

Andreas Schulze ist zuständig für die Klimamessungen im Lager, die morgens, mittags und abends die Witterung registrieren.

> [Schulze:] „... da haben wir also Neuschnee, völlig eingeschmolzen, hier 20 mm. So, jetzt die Lufttemperatur hier ... 'n bißchen einspielen ... die Lufttemperaturen, 2 m: –6,7; 1,50: –6,5 und 2 cm im Schatten über Neuschnee: –6,0 ... jetzt die relative Feuchte. Also die relative Feuchte: alle drei Werte 51 %."

[1] Hier endet die erste Filmrolle.

Zu den Beobachtungen gehören auch Albedomessungen, die die Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche festhalten. Nach Neuschnee sind die Reflexionswerte am höchsten – fast 95 %.

> [Schulze:] „Für die Einstrahlung: 640 W; Rückstrahlung von der Neuschneeoberfläche: na so 'ne 570 W/m². Der Wind ist 1–2 m/s aus Südost, talabwärts."
>
> [Kuhle:] „Also, wir folgen jetzt hier noch der Mittelmoräne bis unter den Nordsporn, bis zum Depot, und dann gehen wir rechts hoch, Richtung Sarpo-Laggo-Paß, und da versuchen wir heute noch zwei, drei Stunden in die Richtung zu kommen."

Gleich in den ersten Tagen wird die Klimahochstation installiert. Die Wissenschaftler ziehen die Ausrüstung den Gletscher hinauf in den westlichen Firnkessel. Mit 75 kg ist diese Wetterstation die leichteste. Sie ist aber am kompliziertesten aufgebaut. Eine Batterieheizanlage hält sie auch bei sehr niedrigen Temperaturen arbeitsfähig. Der Meßcomputer wird zusätzlich von einem Sonnenkollektor gespeist. Ein Teil der Anlage wird in den Schnee eingegraben. Die zweite Arbeitsgruppe entnimmt hier in 5330 m Höhe Schnee- und Firnproben an einem bis auf das Gletschereis hinabreichenden Profil.

> [Kuhle:] „Herr Dietrich, hier haben wir noch ein ganz gutes Profil. Hier können wir noch mal drei Proben nehmen. Unten massives Eis: 0,3 g/cm³, und hier – der Bereich ist ganz deutlich abgesetzt – der Firn und oben der Altschnee. Ich glaube, hier werden wir noch mal was machen."

Die aus vielen Einzelteilen zusammenzusetzende Meßanlage wird mit Reepschnüren an ihrem Mast verspannt. Abschließend wird sie an den registrierenden Computer und die Energiequellen über einen zentralen Verteilerkasten angeschlossen. Um ausreichende Quantitäten für die spätere Analyse zu erhalten, werden die Schnee- und Firnproben an Ort und Stelle geschmolzen.

> [Kuhle:] „... müßte bald soweit sein. Der Kocher läuft seit 10 min. Dann müssen wir noch die Altschneeprobe nehmen. Ich brauch' die zweite Flasche noch ..."

Die Wetterstation soll in den kommenden Wochen selbsttätig die Witterungsbedingungen über und unter der Schneeoberfläche des westlichen Ursprungskessels über zwölf Kanäle messen und speichern. Das Wetter hat den ganzen Tag gehalten. So konnte der Aufbau bis zum Abend abgeschlossen werden.

Über Nacht hat es im Hochlager einige Zentimeter geschneit. Stärkere Schneefälle würden zum Abstieg in die tieferen Lager zwingen. Auch die Meßstation wäre bei größerer Neuschneehöhe nicht mehr funktionsfähig. Das Hochlager liegt in dieser Jahreszeit etwas unterhalb der Schneegrenze, so

daß an warmen Tagen auf dem Gletscher Schmelzwasser zur Verfügung steht. Bei solch größeren Karakorum-Gletschern läuft das Schmelzwasser in diesem Bereich auch in den Gletscherkörper hinein. Man spricht von einer warmen Infiltrationszone.

Um gesund zu bleiben, müssen die Expeditionsteilnehmer genug Flüssigkeit zu sich nehmen. Deshalb werden zu allen Mahlzeiten, aber auch unterwegs, Tee, Brühe oder Elektrolytgetränk zubereitet. Man sollte 3–5 l am Tag trinken – trotz des bei Kälte reduzierten Durstgefühls.

Die Arbeiten in den Firngebieten werden in der Hauptsache von den deutschen Wissenschaftlern durchgeführt. Bei gutem Wetter bringen ihnen Träger vom Zwischenlager weitere Ausrüstung und Nachschub an Verpflegung herauf. Sie tragen 20 bis 25 kg. Als Träger arbeiten einige der Treiber, während ihre Kamele sich am Grünen Platz aufhalten. Es sind aber auch spezielle Hochträger angeworben, die der Karawane nachgekommen waren. Auf dem Rückmarsch werden den Trägern die geschmolzenen Schneeproben mitgegeben, die in Deutschland ausgewertet werden sollen.

Täglich – und nach Neuschnee oft stündlich – gehen in den K 2-Wänden Lawinen ab. Sie bestreichen die gesamten Firnfelder. Immer wieder setzt sich die Mannschaft des Hochlagers zusammen, um die Untersuchungsprogramme, den Witterungsbedingungen entsprechend, aufeinander abzustimmen.

[Kuhle:] „Ja, die Frage ist nur, ob wir, wenn wir das machen, heute noch 'ne Seilschaft da hochschicken oder ob wir lieber, Herr Dietrich, heute unser Probenprogramm beenden."

[Dietrich:] „Fände ich sinnvoll, dann haben wir's nämlich unter Dach und Fach."

[Kuhle:] „Ja, ich bin mir nicht ganz sicher, ob wir nach diesem Niederschlag, nach diesem starken Schneefall in dieser Nacht so ohne weiteres unter der Wand Proben nehmen können, Herr Dietrich, heute. Ich meine, das Wetter ist gut, wir hatten's vor, aber die Lawinengefahr ist ziemlich heute."

[Jacobsen:] „Ja, bloß da müssen wir jetzt eines bedenken, es hat ja heut nacht geschneit. Also, ich glaube nicht, daß wir so ohne weiteres an die Punkte rankommen können, die wir uns so vorgenommen haben."

[Dietrich:] „Wir müssen ja nicht ganz in den Lawinenschnee reingehen. Wir können ja auch 'n Stückel weiter auf dem Gletscher Proben nehmen."

[Kuhle:] „Unterhalb der Kegel ..."

[Dietrich:] „Ja, da dürfte sich nicht viel ändern, im Gegenteil, von oben haben wir vielleicht irgendwelche anderen Werte drin."

[Kuhle:] „Es sei denn, es kommt 'ne Eislawine vom Eisbalkon, dann ..."

[Dietrich:] „Also, ich würde jetzt ganz gerne noch zwei Proben hier vom Gletscher nehmen, einmal vom Neuschnee und einmal vom Eis. Dann haben wir für heute noch vier Sets ..."

[Kuhle:] „... vom Camp I aus, Camp II aus, ja."

[Dietrich:] „... und können uns dann lieber noch ein Set für den Skyang-Kangri-Gletscher verwahren ..."

[Kuhle:] „Halt' ich für gut!"

[Dietrich:] „... und haben dann noch zwei Radioaktivitätsproben zu nehmen ..."

[Kuhle:] „Also 'n Kocher mitnehmen ..."

[Dietrich:] „... 'n Kocher müssen wir auch mitnehmen, ja."

[Kuhle:] „... und 'n Topf und den Stechzylinder, der gestern hochgekommen ist."

[Dietrich:] „Ja, müssen wir auch."

[Kuhle:] „Prima!"

Durch telemetrische Messungen werden an den unzugänglichen Steilwänden regelmäßig die Oberflächentemperaturen und ihr Gradient festgestellt.

[Schulze:] „Spornbasis im Meßzentrum 5300, besonnt: –8°."

Auf diese Weise lassen sich die Bedingungen der Flankeneisbildung in unterschiedlichen Expositionen und ihre Veränderung mit der Höhe erfassen.

[Schulze:] „Wandfuß, 5300 Meßzentrum, Schattenmessung: –13°."

Am K2 können Meßwerte aus höchster Höhe gewonnen werden.

[Schulze:] „Felsbereich unterhalb des Hängegletschers im Schatten, Meßzentrum zirka 8000: –25°. Und besonnte Felsflanke in gleicher Höhe, 8000 m: –21 °C."

Jeder Aufstieg in die Firngebiete folgt zunächst der Mittelmoräne bis unter den Nordsporn. Der östlich liegende Firnkessel ist gestuft. Seine Einfassungswände gehören zum Aufbau des 7½-tausend Meter hohen Skyang Kangri. Nach Norden schließt eine Gratschneide mit ihren über 6000 m hohen Gipfeln an, die das K2-Tal vom Skyang-Kangri-Tal dahinter trennt. Der westliche Firnkessel ist wesentlich ausgedehnter. Wenn schwerere Geräte zum Einsatz kommen, sind auch Hochträger dabei. In diesen abgelegenen Gletschergebieten sind sie noch nie gewesen. Ein Firnsattel, hinter dem das Nährgebiet des Sarpo-Laggo-Gletschers anschließt, bildet die westliche Begrenzung des K2-Gletschergebietes. Die Wände der Firnkessel sind außergewöhnlich steil und hoch. Den Hauptanteil an der Gesamternährung des Gletschers hat deshalb die Lawinenzufuhr.

Zweimal mußten die Untersuchungen bei Schlechtwettereinbrüchen ausgesetzt werden. Wegen der Schneefälle stiegen die Wissenschaftler für mehrere Tage zum Zwischenlager ab. Hier im Mündungsgebiet des Skyang-Kangri-Gletschers werden Untersuchungen zur Bewegung periglaziärer Schutthalden eingeschaltet. Für den Bewegungsprozeß ist der Wassergehalt des Lockergesteins ausschlaggebend. Mit einem Stechhygrometer bestimmt Matthias Kuhle deshalb in mehreren Horizonten die relative Feuchte und Temperatur.

> [Kuhle:] „71 % relative Feuchte ... bei einer Temperatur von 0,4 °C in gleicher Bodentiefe ... 1 cm über dem Schutt je nach Luftbewegung schwankend zwischen 5,7 und 4,5 % relativer Feuchte."

Die Intensität der Solifluktion hängt aber auch von der Wasseraufnahmefähigkeit der beteiligten Gesteine und der Hangneigung ab.

Hier am Zwischenlager hat es jetzt auch mehrere Zentimeter geschneit. Über die Funkverbindung zum Basislager erfährt der chinesische Lagermeister, daß selbst im Gletschervorfeld, 600 m tiefer, Schnee liegengeblieben ist. In regelmäßigem Sprechkontakt vereinbart er den Einsatz der Träger und organisiert den Transport des Nachschubs. Er kann aber auch jederzeit in Erfahrung bringen, wo Expeditionsmitglieder gerade unterwegs sind.

Weitere Geländebeobachtungen gelten den Gletschervorfeldern. Hier am Skyang-Kangri-Gletscher, an der glattgeschliffenen Talflanke, hat die zerfallende Zunge beim jüngsten Gletscherrückgang Toteiskomplexe hinterlassen. Kennzeichnend für die innere Struktur ist die auffällige Größe des Gletscherkorns – eines Kristallaggregats, das über 5 cm Länge erreichen kann. Unter Schutt kann Toteis mehrere Jahrzehnte erhalten bleiben. Im Gegensatz zum Hauptgletscher ist die Skyang-Kangri-Gletscherzunge auch heute im Rückschmelzen begriffen.

Dieser vom Skyang Kangri zum K 2-Tal abfließende Nebentalgletscher ist zur Zeit 8 km lang. Seine Zufuhr erfolgt einseitig aus der im Schatten liegenden orographisch linken Talflanke. Eine kurze Tagesetappe vom K 2-Gletscher entfernt werden am 30. September in 5 120 m Höhe zwei Zelte aufgestellt, um von dort aus den Skyang-Kangri-Gletscher zu erkunden.

Das sehr gute Wetter erlaubt auch hier Messungen mit dem Infrarot-Fernthermometer.

> [Schulze:] „Nahmessung hier im Lager, besonnter Firn, 1,20: –7°."

Zu jedem Meßwert werden, außer der Höhe, das Oberflächenmaterial, die Bestrahlungsintensität, aber auch Hangneigungsgruppe und Exposition fest-

gehalten. Die höchsten Meßfelder bietet der 7544 m hohe Skyang-Kangri-Gipfel.

[Kuhle:] „Substrat 9, Bestrahlung 3, Exposition 7, Hangneigungsgruppe 1."

Der Aufstieg erfolgt über Felssturz- und Moränenblockwerk auf der Sonnenseite des Tales. Bei diesen glazialmorphologischen Beobachtungen wird das Firngebiet unterhalb des Skyang Kangri überhaupt zum ersten Mal begangen. Auch die anderen Täler und Gletscher diesseits des Karakorum-Hauptkammes sind nach wie vor fast unbekannt, da nur vereinzelt Expeditionen hindurchgegangen sind. Wissenschaftlich bearbeitet waren die Gletschergebiete bis zu dieser deutsch-chinesischen Expedition noch gar nicht. Allerdings gibt es längst Luftbildkarten, und sogar eine Satellitenerkundung ist durchgeführt worden.

Die aus der meist im Schatten liegenden Seite abfließenden Eismassen erhalten einen großen Anteil an Driftschneezufuhr. Der Wind verfrachtet den Schnee über den Kamm und läßt mächtige Wächten am Grat und große Eisbalkone aus der Wand wachsen. Zahlreiche Lawinen sind die Folge. Der Riffeleisbesatz an den Steilwänden deutet auf häufigen Abgang kleinerer Lawinen hin, während von den Eisbalkonen sehr massive Abbrüche erfolgen. Dieses Eis hat selbst im Schneegrenzniveau nur eine Temperatur von −6 bis −10 °C. Es ist sehr spröde und fließt außerordentlich viskos hinab zum Talgletscher.

Im Zwischenlager können sich die Wissenschaftler einmal mit frisch zubereiteten chinesischen Spezialitäten verwöhnen lassen, z. B. Küchlein mit Fleischfüllung. Eine willkommene Abwechslung zu ihrer Höhenverpflegung aus Konserven. Zu den Küchlein gibt es die Brühe des für die Füllung gekochten frischen Hammelfleisches, mit reichlich Knoblauchzehen, Chili und Salz gewürzt. Große Mengen an grünem Tee bilden den Abschluß der Mahlzeit.

Nach mehreren Wochen, in der zweiten Oktoberwoche, müssen die Arbeiten am Fuße des K2 zum Abschluß gebracht werden. Im westlichen Firnbecken ist die Klimastation bereits abgebaut. Die Träger warten darauf, Geräte und Ausrüstung hinunterzutragen. Der Expeditionsleiter und Jens Peter Jacobsen besprechen die Wetterlage. Die Expedition darf auf dem Gletscher nicht von ersten Winterschneefällen überrascht werden.

[Kuhle:] „... wir haben jetzt fast Mitte Oktober, d. h. also ... Gut, daß wir die gestern runter haben. Also zwei, drei gute Tage müßten wir noch haben. Aber damit ist nicht mehr zu rechnen. Denn jede Nacht mindestens 10 cm

Neuschnee, das ist doch auf die Dauer 'n bißchen schwierig. Vor allem bleibt auch in Camp I bereits immer alles liegen ..."

Ein letztes Mal werden Proben entnommen, um auch gegen Ende des Haushaltsjahres die Beschaffenheit des Neuschnees oberhalb der Schneegrenze zu untersuchen. Mit Hilfe des 1000 cm^3 fassenden Stechzylinders wird der Wasserwert festgestellt – und damit die Menge des Niederschlags bestimmt.

Der 20 km lange Abstieg über den Gletscher geht auf erprobter Route ungleich schneller als die Aufstiege sechs Wochen zuvor. Am 11. Oktober ist das Zwischenlager abgebaut worden. Auch im Basislager ist der Aufbruch im Gange. Mehrere Transporte zum Depotlager am Grünen Platz haben bereits stattgefunden. Auch die Tragtiere sollten das unwegsame Gelände verlassen haben, bevor Schnee liegenbleibt.

Aufgrund seiner zentralen Lage im Mustagh-Tal, im Konfluenzbereich von K 2-Gletscher, Sarpo-Laggo-Gletscher und Skamri-Eisstrom, war das Lager am Grünen Platz in 3 970 m günstiger Ausgangspunkt für Untersuchungen in den Gletschervorfeldern. Während die chinesischen Hydrologen und die Botaniker schon länger in diesem Gebiet gearbeitet hatten, stand den deutschen Geographen bis zum Rückmarsch über den Aghil-Paß nur noch eine Woche zur Verfügung. Der richtige Zeitpunkt für die Überquerung der Pässe vor den Winterschneefällen durfte auf keinen Fall verpaßt werden.

In diesem lebensfeindlichen Hochgebirge haben sich dort, wo die Talsohle nicht in ganzer Breite vom Schmelzwasser aufgerissen wird, Böden und Vegetation entwickeln können. Alpine Grasmatten, Zwergsträucher und Myricarienbüsche bieten selbst im Herbst noch Weidegrund für die letzten mitgeführten Schafe – und natürlich die Kamele. Einheimische Tiere gibt es hier nur wenige. Im Lager werden schon Geräte und Gepäck zusammengestellt. Die Treiber kochen Nudeln und Tee. Sie genießen die Muße vor dem anstrengenden Rückmarsch.

In dieser Jahreszeit treten in der Karakorum-Nordabdachung fast täglich in den Nachmittagsstunden plötzliche Stürme auf. Sie blasen Sand, Silt und Lößstaub aus den Schottern der Gletschervorfelder aus. Die Böen reißen das Material bis über die Schneegrenze hinauf. Erst gegen Abend wird der Blick zum Shaksgam-Tal hinab wieder frei.

Holger Dietrich ist noch einmal zum K 2-Bach aufgestiegen, um die früheren Abflußdaten durch Messungen an einem repräsentativen Herbsttag zu vervollständigen. Wasserproben sollen dazu dienen, die Suspensionsfracht, die Gletschertrübe, zu bestimmen. An mehreren Punkten des Bachprofils

ermittelt er mit einem Meßflügel die Fließgeschwindigkeiten. Die Messungen werden zu festen Zeiten über den ganzen Tag wiederholt. Seit den ersten Sommermessungen ist die Abflußmenge bis auf ein Viertel zurückgegangen. Insgesamt wird sich aus der Schneemächtigkeit im Firngebiet und der Abflußmenge für den K2-Gletscher oberhalb der Schneegrenze ein Jahresniederschlag von etwa 1200 mm ergeben.

Matthias Kuhle untersucht eine 400 m über dem Mustagh-Tal gelegene spätglaziale Ufermoräne auf ihre Zusammensetzung. Auch hier soll die Beschaffenheit der feinen Grundmasse Einzelheiten des Transport- und Ablagerungsvorgangs erschließen. Weiter innen gewinnt er Thermolumineszenzproben zur Altersbestimmung. Sie müssen lichtdicht verpackt werden.

Über mächtige Schotterfluren, die den ganzen Talboden einnehmen, nähert man sich dem von Westen kommenden Skamri-Gletscher. Der starke Abschmelzvorgang am Gletschertor belegt, daß dieser Gletscher zurückgeht. Der Skamri-Gletscher ist mit 43 km Länge der größte Eisstrom der Region. Er ist bisher unerforscht und wurde wahrscheinlich noch nie begangen. Seine Zunge endet in 4030 m, und, was typisch ist für große Gletscher, es fehlt jegliche Stirnmoräne. Die vorzeitliche Ausdehnung ist darum nur anhand früherer Ufermoränen rekonstruierbar.

Am 19. Oktober verläßt die Expedition das Mustagh-Tal und wendet sich wieder nach Norden zum Shaksgam. Jetzt im Spätherbst stellen seine Querungen keine Schwierigkeit mehr dar. Bei schneidender Kälte wird nach anderthalb Tagen der Aghil-Paß erreicht. Er ist glücklicherweise noch schneefrei. Die Tiere müssen sich ausruhen. Durch wochenlange Mangelernährung bei rauhem Höhenklima sind sie ohnehin geschwächt. Bis zur Station Mazar am Südfuß der weißen Kuenlun-Kette hat die Karawane weitere vier Tagemärsche zu bewältigen.

Auf der Schottersohle des unteren Surukwat-Tales haben die Kamele Gelegenheit, in den herbstbraunen Myricarien zu weiden. Von einem Felsgipfel aus läßt sich der gesamte topographische Zusammenhang der eiszeitlichen Landschaftsentwicklung bis zum spätglazialen Aufbau der gewaltigen Schotterterrassen überblicken.

In Bazar Dara, vor der letzten gemeinsamen Marschetappe, stellt sich die Expeditionsmannschaft zu einer Gruppenaufnahme: inmitten der Treiber und Träger die Wissenschaftler, mit dem deutschen und dem chinesischen Expeditionsleiter.

Im Yarkand-Tal bleibt eine Gruppe zurück, um Torfproben zu nehmen. Für den Botaniker bergen die selten erhaltenen Schwemmböden wichtige Hin-

weise auf die Vegetationsentwicklung. Und dem Geomorphologen geben sie die Möglichkeit, das Mindestalter der unter dem Torfboden liegenden Schottersohle zu bestimmen.

Von Mazar aus führt der Weg, wieder mit Kraftfahrzeugen, durch die Ketten des Kuenlun. Beim Austritt aus diesem Gebirge hatten die Wissenschaftler noch einmal Gelegenheit, Zeugnisse der eiszeitlichen Vergletscherung Westtibets zu untersuchen. Hier am Nordrand des Kuenlun werden die Bergsporne durch pleistozäne Moränen dekakilometerweit ins Tarim-Becken hinein verlängert. In einem breiten Saum nebeneinanderliegend, bilden sie die Begrenzung alter Zungenbecken, die zu den Auslaßgletschern der letzten großen Vereisung gehören. Hier schließt in 2 000 m Höhe auch ein Kranz von Bewässerungsoasen an, von denen Tess und Pusseh aufgesucht wurden.

Der Gebirgsrand besteht aus kristallinen Schiefern und Kalken. Deutlich ist der Übergang von diesem anstehenden Gestein zum angelagerten Moränenmaterial erkennbar. 400 bis 600 m hoch sind diese Moränenwälle im Verlauf der pleistozänen Eiszeiten aufgeschoben worden. Die Auslaßgletscher haben dieses Gebiet letztmalig vor 20- bis 30 000 Jahren, also im letzten Glazial, erreicht. In den nacheiszeitlichen Lößmantel sind metertiefe Runsen eingeschnitten. In die Zungenbecken sind im Spätglazial Schotterfluren eingefüllt worden, die sich beim Verlassen des Beckens in weiten Fächern in die Tarim-Senke ausbreiten konnten.

Während der Begehung von Zungenbecken und Vorlandmoränen steht das ungewöhnliche Zusammentreffen von Wüstenklima und Vergletscherung im Mittelpunkt der Fachgespräche.

> [Kuhle:] "... very cold dry glaciers ..."

Aufgrund der großen klimatischen Diskrepanz war es bisher unvorstellbar erschienen, daß eiszeitliche Gletscher so weit in die Wüste hinabreichen konnten.

> [Kuhle:] "... going down here and we saw in parallel valleys the last week many evidence for moraine, big boulders and loam. And Professor Xue also made a profile yesterday ..."

Matthias Kuhle erläutert seine Auffassung einer sehr kalten Vergletscherung, die auch bei geringen Niederschlägen extreme Ausmaße erreichen kann.

> [Kuhle:] "... and the dunes now are typical also for dunes in the ice age. It was colder and more dry than now ..."

Xü Daoming führt seinem Assistenten Ding Yongjiang die Konsequenzen dieses Ansatzes aus. Dabei weist er ihn auch auf große erratische Blöcke hin. Diese können ihre Position weder durch fließendes Wasser noch durch Schlammströme erreicht haben, sondern eben nur durch Gletschereis.

Auf den weiten Sandflächen entsteht die sich in Windrichtung verlagernde Struktur von Rippelmarken. Der Flugsand lagert den spätglazialen Schotterfluren auf, die innerhalb der Zungenbecken eine Terrassenlandschaft bilden. Bewässerungsoasen liegen nun überall dort, wo die Niederterrasse breit ausgebildet ist, wenig oberhalb des heutigen Flusses. Hier gibt es also in einer Umgebung extremer Trockenheit kleine Bereiche üppigen Pflanzenwuchses. Dieser wird allein durch das Schmelzwasser möglich, das von Fremdlingsflüssen aus dem fernen Gebirge herangeführt wird. Die Oasen bleiben dennoch vom Wüstenklima bedroht. Von den Rändern dringen in die Ackerflächen von Tess die Flugsanddecken in breiter Front ein.

Die Böden dieser Oasen sind außergewöhnlich fruchtbar, denn in dem weitgehend unverwitterten Gesteinsschutt der wasserführenden Schotterlagen stehen reichlich Nährstoffe zur Verfügung. Durch die sehr starke Verdunstung gelangen diese bis in die Krume des Oberbodens. Eine mineralische Düngung wird dadurch unnötig. Die Gefahr einer Versalzung aus noch tieferen Bereichen besteht hier nicht, da die wasserstauende Grundmoräne den Schotterkörper gegen den Untergrund abschließt.

Die 17 km weiter westlich gelegene Siedlung Pusseh repräsentiert einen anderen, nicht an einen Fluß gebundenen Oasentyp. Hier, am Ende eines ehemaligen Zungenbeckens, sind die deckenden Schotter nur geringmächtig; die Grundmoräne tritt beinahe an die Oberfläche und bildet einen Quellhorizont aus. Dort, wo in ausgeschachteten Sammelbecken die Moränenschicht erreicht ist, tritt das Grundwasser zutage. Hier nehmen auch die Bewässerungskanäle ihren Anfang. Baumgalerien dienen als Windschutz. Dicke Lehmmauern garantieren den Bewohnern ausgeglichene Raumtemperaturen trotz des extrem kontinentalen, zentralasiatischen Klimas.

Mit dem Besuch dieser beiden Oasen an den tiefsten eiszeitlichen Gletscherrändern geht eine Forschungsreise zu Ende, die über die Rekonstruktion der eiszeitlichen Verhältnisse auch zum Verständnis der heutigen Gebirgslandschaft beitragen möchte. Anfang November tritt die Expedition über Kashgar, Urumtschi und Peking die Rückreise an.