

HERWIG WAKONIGG, ALEXANDER PODESSER

Klimaforschung am Institut für Geographie und Raumforschung

Zusammenfassung

Dieser Beitrag schildert die Aktivitäten in der klimageographischen Forschung vom Beginn des 20. bis zum Beginn des 21. Jahrhunderts. Klimageographische Arbeiten gewannen seit den 1970er Jahren an Bedeutung, es war jedoch die Gründung einer Abteilung für Klimageographie 1982, die dieses Forschungsfeld zu einem Schwerpunkt der Grazer Geographie machte. Die Abteilung entfaltete eine rege Forschungstätigkeit in verschiedenen Bereichen, besonders zu Hochgebirgs-, Umwelt- und Stadtklima. Zuletzt werden aktuelle Herausforderungen im Kontext des globalen Klimawandels angesprochen.

Abstract

Climate research at the Institute of Geography and Regional Science

This article describes the activities in climatological research from the beginning of the 20th to the beginning of the 21st century. Since the 1970s, studies on climatology have gained in importance, but only through the founding of a department for climatology in 1982, this research field became a focus in Graz geography. The department evolved with active research practices in various areas such as high mountain, environmental and urban climates among others. Finally, current challenges in the context of global climate change are addressed.

1 KLIMAFORSCHUNG AN DER GRAZER GEOGRAPHIE BIS 1982

1.1 FRÜHZEIT UND ERSTE SCHRITTE

Infolge der bescheidenen Dimension des Institutes, der Fokussierung auf das Lehramtsstudium und des universalistischen Zugangs der Geographie im Sinne der Abdeckung des gesamten Forschungsfeldes nicht nur durch das Fach *per se*, sondern auch durch die einzelnen wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (Lieb et al. 2021), gab es in der Frühzeit durch Jahrzehnte keinen wirklichen Schwerpunkt im Bereich der Klimaforschung. Während der „klassischen“ Zeit der Klimaforschung etwa von der Wende des 19. zum 20. Jh. bis zum Ersten Weltkrieg entstanden vor allem die als „Klimatographien“ bezeichneten bahnbrechenden Klima-Monographien der cisleithanischen Kronländer, die unter der Ägide von Julius Hann fast nur von Meteorologen verfasst wurden; eine der wenigen Ausnahmen war die „Klimatographie von Steiermark“ von Robert Klein, der aber als Arzt keine Beziehung zum damaligen geographischen Institut hatte (Klein 1909).

Nach dem Ersten Weltkrieg, der neben vielen anderen Bereichen auch für die Klimaforschung eine Zäsur bedeutete, wurden vor allem verdichtende Spezialstudien betrieben, und es wurde den Fragen der Niederschläge, des Schnees, des Föhns und der Lokalwinde im Gebirge, der Beziehung Klima–Gletscher und ganz allgemein den Fragen des Gebirgs-, aber auch des Strahlungsklimas nachgegangen. In dieser Zeit lässt sich ein gewisser Forschungsschwerpunkt im Geographischen Institut bereits mit dem Namen Sieghard Morawetz (1903–1993) verbinden, der zwar immer noch als universalistischer Geograph der „alten Schule“ gesehen werden muss, dessen Forschungsschwerpunkte aber eindeutig in der Physiogeographie gelegen waren, insbesondere in der Geomorphologie, Klimatologie und Glaziologie, wobei er letztere Bereiche bereits zueinander in Beziehung setzte. Aus der Feder von Morawetz, der seit Mitte der 1920er Jahre mit dem Institut verbunden war (zuletzt

1967–1974 als Ordinarius), stammt eine Vielzahl von kleinen Aufsätzen über verschiedenste Klimaphänomene, aber institutionalisiert wurde die Klimaforschung in seiner Zeit noch nicht.

1.2 DIE WITTERUNGSKLIMATOLOGIE DOMINIERT

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde ausgehend von Deutschland ein neuer Zweig der Klimatologie „entdeckt“, nämlich die Witterungsklimatologie, die in Österreich zuerst ebenfalls von meteorologischer Seite initiiert, dann aber sehr rasch von der Geographie aufgegriffen wurde, wobei insbesondere Franz Fliri in Innsbruck als Doyen dieses Forschungszweiges gesehen werden muss. Er hat auch die Anregung zu einer witterungsklimatologischen Dissertation über die Steiermark gegeben, die schließlich durch Herwig Wakonigg (*1942) verfasst wurde (Wakonigg 1970), der eine weitere über Kärnten folgte (Zauchner 1974). Beide Arbeiten wurden auf Basis der „Ostalpinen Wetterlagen“ bearbeitet.

Der Feder von Wakonigg entstammen noch etliche Studien über die Ostalpinen Wetterlagen und ihre Wirkungen, aber auch als neuer Ansatz Arbeiten über Wettertypen (z. B. Wakonigg 1981), die Beziehung zwischen Wetterlagen und Gletscherverhalten (etwa Wakonigg 1971) und schließlich 1978 als Habilitationsschrift das Hauptwerk „Witterung und Klima in der Steiermark“ (Abb. 1; Wakonigg 1978), welches wenigstens bis zum Erscheinen des „Klimaatlas Steiermark“ (Prettenthaler et al. 2010), dessen Text ebenfalls überwiegend von Wakonigg stammt, die wichtigste Quelle für die Beschreibung des Mesoklimas in der Steiermark, etwa in biologischen Regionalstudien, war. Von Wakonigg stammen auch einige regionale Monographien, etwa über Slowenien (Wakonigg 1983) oder Österreich (Wakonigg 1993). Eine vollständige Liste der Veröffentlichungen von Wakonigg bis 2002 findet sich in der Festschrift zu seinem 60. Geburtstag (Grazer Schriften zur Geographie und Raumforschung Bd. 38, 10–14).



Abb. 1: Titelseite des Buches „Witterung und Klima in der Steiermark“ (Wakonigg 1978)

1.3 DIE KLIMAFORSCHUNG WIRD INSTITUTIONALISIERT

Der entscheidende Fixpunkt bezüglich der Klimaforschung an der Grazer Geographie war aber das Jahr 1982 in Form von drei Schritten:

- Der erste war die Berufung von Wakonigg zum Ordinarius (bis 2008), der die Klimaforschung in Form der Einrichtung einer Abteilung für Klimageographie (bis 1999) institutionalisierte.
- Der zweite Schritt war die schon seit den 1970er Jahren erfolgte Zuwendung der Klimaforschung zu praktischen Fragen der Agrar- und Bioklimatologie, bis schließlich mit der Etablierung des Umweltschutzgedankens in Gesellschaft und Wissenschaft die diesbezügliche Forschung den Vorrang einnahm: Umweltverträglichkeitsgutachten, Lufthygiene, Schadstoffausbreitung, Stadt- und Geländeklima waren nun die neuen Begriffe seit den

1970er Jahren und wurden als Schwerpunkte der neuen Abteilung umgehend aufgegriffen.

- Damit verbunden war schließlich der dritte Schritt, nämlich die Aufnahme von Reinhold Lazar (*1951) als Assistent in das Institut bzw. in die Klimaabteilung. Lazar habilitierte sich für Physische Geographie 1990 – auf kumulativer Basis mit manchen der in Kap. 2 exemplarisch genannten Arbeiten – und wirkte als ao. Univ.-Prof. bis zu seiner Pensionierung 2016 an der Grazer Geographie.

Lazar war eine für die Grazer Geographie in besonderer Weise prägende Persönlichkeit mit außerordentlich hohem Arbeitsvermögen, weshalb er in den nachfolgenden Ausführungen eine besondere Rolle spielt. Er ist ein Beispiel einer Forscherpersönlichkeit außerhalb der Professorenkurie, die der Grazer Geographie nach innen und außen – in seinem Fall über mehr als drei Jahrzehnte – ihren Stempel aufgedrückt hat. Eine Auflistung von Lazars Arbeiten ist in diesem Rahmen unmöglich, aber allein die exemplarisch genannten belegen seine Schaffenskraft, seine Fähigkeit zu Kooperationen und letzten Endes die Bedeutung der Grazer Geographie auf dem Gebiet der angewandten klimatologischen Forschung. Als beliebter Betreuer von anwendungsbezogenen Diplom-, Master- und Doktorarbeiten hat er auch zahlreichen Absolventinnen und Absolventen den Sprung ins Berufsleben erleichtert oder ermöglicht. Auch von diesen Personen und ihren Arbeiten können in diesem Rahmen nur wenige genannt werden.

2 ANGEWANDTE KLIMAFORSCHUNG SEIT 1982

2.1 GELÄNDE- UND UMWELTKLIMATOLOGIE

Lazar war genau der Mann, auf den die nun aktuellen Forschungsbereiche regelrecht zugeschnitten waren. Mit seinem schon durch seine Dissertation über das Geländeklima des Gleintal-Riedellandes (Weststeiermark) geschärften Blick für die Verhältnisse vor Ort (Lazar 1979) und einem Sack voller neuer und unkonventi-



Abb. 2: Reinhold Lazar bei den Feldarbeiten zu einer geländeklimatologischen Studie im Sommer 1983 im Lesachtal (Kärnten) (Fotos: Lieb)

oneller Ideen stürzte er sich in die Arbeit, die bei seinen Aktivitäten immer den ersten Rang erhielt und hinter der organisatorische und private Obliegenheiten zurückstehen mussten. Thermometerhütten, Rauchpatronen, Infrarotsensoren, Fesselballons und Messfahrten mit dem PKW waren seine wichtigsten Werkzeuge, dazu kamen aber auch Messfahrten mit Fächflugzeugen, wie für die Darstellung des „klassischen“ Beckenklimas im Aichfeld (z. B. Lazar 1981), oder Messungen bei Bergbesteigungen und der Aufbau mehrerer Messnetze mit klassischen Thermometerhütten: Über Messdaten und Analogieschlüsse, später auch mit einfachen Modellansätzen, wurde die geländeklimatische Charakteristik der bodennahen Luftschicht untersucht.

Damit war Lazar der erste, der Messungen auf Basis der üblicherweise von der amtlichen Meteorologie benutzten Zwei-Meter-Thermometerhütten in der Geländeklimatologie durchführte, wodurch alle Ergebnisse mit jenen der Mesoklimatologie uneingeschränkt vergleichbar wurden (Abb. 2). Die wahre Stärke der Arbeitsmethodik von Lazar war aber die spontane Improvisation als geradezu Standard-Logistik, wobei einfachste Hilfsmittel wie eine Rolle Draht, ein paar Nägel und ein Beil sowie einfache Widerstandsthermometer mit digitaler Anzeige eine aufwändige Messlogistik, wie etwa voll ausgestattete Messfahrzeuge, ersetzen mussten und

auch konnten. Der Vorteil lag in dem geringen finanziellen und organisatorischen Aufwand, wodurch die Zahl der parallel laufenden Messkampagnen bei gleichem materiellem Aufwand entscheidend vergrößert werden konnte. Auf diese Weise war er in der Lage, kleinere angewandte Projekte völlig unbürokratisch ohne lange Wartezeiten abzuwickeln und den bescheidenen Aufwand vielfach auch aus eigener Tasche zu bestreiten. Dabei waren viele seiner Studien Auftragsarbeiten der Behörde oder von Firmen oder Einbindungen in übergeordnete Projekte, wobei er bald den Ruf der diesbezüglich einzigen „Institution“ in der Steiermark erlangte.

Ein anderer Vorteil in seiner Arbeitsweise lag in seinem ungebrochenen Arbeitseifer vor Ort, wohl bedingt durch eine stark ausgeprägte wissenschaftliche Neugierde, die ohnehin unabdingbare Voraussetzung für jede Art wissenschaftlicher Forschung ist. Bei der Arbeit vor Ort rückten alle Bedürfnisse des täglichen Lebens in den Hintergrund und als Mitarbeiter musste man ihn durchaus daran erinnern, dass „man“, also auch er, irgendwann essen, trinken oder auch schlafen müsste. Solcherart verschmolzen bei ihm Beruf(ung) und Privatleben zu einer unzertrennlichen Einheit, wodurch auch seine Produktivität eine enorme Höhe erreichte.



Abb. 3: Reinhold Lazar auf dem Aconcagua mit frisch montiertem Messgerät, 20. 2. 2006 (Foto:Siebenhaar)

2.2 KLIMAFORSCHUNG IN HEIMISCHEN UND ÜBERSEE-HOCHGEBIRGEN

Lazar war auch ein begeisterter Bergsteiger und trotz einer lang währenden hartnäckigen Krankheit mit einer staunenswerten Kondition gesegnet, wodurch er sein Forschungsfeld auch in das Hochgebirge ausweiten konnte. Solcherart kann er sich zugutehalten, die damals höchste Gipfel-Messstation der Welt auf dem Llullaillaco (6739 m) in den Anden eingerichtet zu haben (Lazar u. Podesser 2005), dem später eine ähnliche Aktion auf dem noch höheren Aconcagua (6961 m, Abb. 3) sowie auf dem Chamser Kangri (6622 m) in Ladakh folgte. Die zusammengefassten Ergebnisse aller Messungen auf diesen Sechstausendern finden sich in der Diplomarbeit von Reinmüller (2010). Diese Aktivitäten hatte Lazar 2003 mit dem von ihm initiierten Projekt „HAMS.net“ (High Altitude Meteorological Station Network) gestartet, welches durch das Wegener Center für Klima und Globalen Wandel an der Universität Graz unterstützt wurde.

Als Beispiel für Forschungen in Hochgebirgslagen der Alpen seien Lazars Messungen in Dolinen des Dachsteinplateaus genannt, wo er Temperaturminima bis -48°C nachweisen konnte. Die Ergebnisse dieser Messungen von extrem tiefen Temperaturen in Dolinen wurden von Prenner (2011) ausgewertet (Abb. 4). Viele der Forschungen bezüglich der Extremtempera-

turen in Dolinen im Dachsteinmassiv, aber auch jene bezüglich des Gipfelklimas des Llullaillaco und anderer Hochgipfel, sind noch weiter im Gange.

Wie unkonventionell und spontan Lazar seine Studien ansetzte, zeigt recht gut das Beispiel einer Geländeklimastudie in den Hochlagen der Insel Teneriffa. Er packte – schlicht aus wissenschaftlicher Neugierde – einige Temperaturlogger in einen Koffer, flog auf die Insel und befestigte die Logger an den wichtigsten Stellen im dortigen Nationalpark. Die Ranger, die ihn zur Rede stellten, teilte er umgehend zur Mitarbeit ein und hatte nach einer Woche genug Daten für eine Geländeklimastudie, wozu er den Druck der Farbabbildungen selbst finanzierte (Lazar 1996).

2.3 MIKROKLIMATOLOGIE AN KALTEN SCHUTTHALDEN

Parallel zu den im Kap. 2.2 beschriebenen Forschungen und angeregt durch die gleichzeitig von Gerhard Karl Lieb initiierten Aktivitäten zu Permafrostforschung (Kap. 3; Kellerer-Pirkbauer u. Bauer 2021), befasste sich Wakonigg seit den 1990er Jahren auch mit einem besonderen mikroklimatischen Phänomen, nämlich den kalten Schutthalden („cold scree slopes“), deren Entstehung und Funktionsweise er erstmals im deutschen Sprachraum eindeutig und widerspruchsfrei darstellen konnte (Wakonigg 1996). Entscheidend waren dabei mehrjährige Temperatur- und Luftfeuchte-Dauerregistrierungen an den zwei ausgewählten Typlokalitäten Untertal bei Schladming, Steiermark, und Pflüghof im Maltatal, Kärnten (Abb. 5), unter der Mitwirkung von Andreas Pilz, der die Abteilung für Klimageographie (und andere Forschungsgruppen an der Grazer Geographie) vielfach als Messtechniker unterstützte. Dabei wurden an den beprobten Schutthalden nicht nur Messungen im unteren (kalten) Bereich vorgenommen, sondern auch im oberen (warmen) Bereich, wodurch letzten Endes gezeigt werden konnte, dass beide Bereiche im Sinne des Kamineffektes immer Teil des Gesamtsystems sein

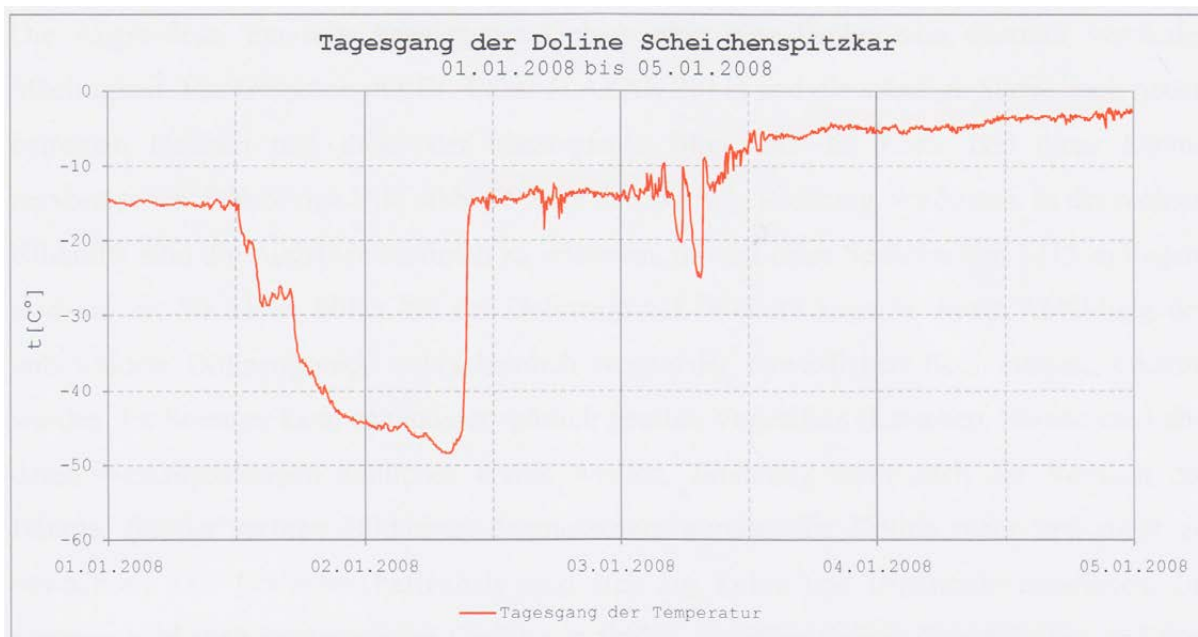


Abb. 4: Tagesgang der Temperatur an der Sonderstation Scheichenspitzkar (2384 m, Dachsteingruppe, Steiermark) im Zeitraum 1. 1.–5. 1. 2008 (Prenner 2011, Abb. 75)



Abb. 5: Eisbildungen im unteren Teil der kalten Schutthalde am Pflüghof (Maltatal, Kärnten) in 890 m Höhe. (Foto: Wakonigg, 23. 5. 2005)

müssen und die Abkühlung unten nicht ohne Zusammenhang mit der Erwärmung oben funktionieren kann.

2.4 KOOPERATIONEN UND NETWORKING

Hinter den Aktivitäten der Abteilung für Klimageographie im In- und Ausland standen selbstverständlich zahlreiche Kooperationen, die Lazar etwa mit seinem bevorzugten Zielgebiet Lateinamerika – allein seine Besuche von Bolivien erreichen eine zweistellige Zahl – unterhielt. Diese führten dort, über die Hochgebirgs-

studien hinausgehend, auch zu angewandten stadtklimatischen Forschungen (z. B. Ihl et al. 1998; siehe auch Kap. 2.5). Äußerst befruchtend wirkte sich auch der wissenschaftliche Austausch mit dem (deutschen) „Arbeitskreis Klima“ aus, an dessen jährlich stattfindenden Fachtagungen zumindest ein Mitarbeiter der Abteilung für Klimageographie konsequent teilnahm und von denen Lazar selbst auch zwei in Graz organisierte. Forschungsergebnisse aus der Grazer Geographie gehörten somit zum fixen Bestandteil des Programms dieser Fachveranstaltungen. Wissenschaftliche Zusammenarbeit erfolgte aber auch über die deutschen Fachtagungen von METTOOLS, bei der Vertreterinnen und Vertreter von Wissenschaft, Genehmigungsbehörden und Gutachterbüros die neuesten Entwicklungen im Bereich der Umweltmeteorologie diskutieren.

Ausgehend von Alexander Podesser, einem Absolventen der Grazer Geographie, der ab 1999 an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in der Steiermark tätig war und 2010 deren Leitung übernahm, entstand speziell ab den 2000er Jahren eine verstärkte Zusammenarbeit mit dieser Institution. In dieser Zeit absolvierten nicht nur zahlreiche



Abb. 6: Fesselballonsondierung am 13.10.2005 am Talboden des oberen Ennstales (Steiermark) (Foto: Pilz)

Studierende ihre Pflichtpraxis beim Wetterdienst, sondern es entstanden auch zahlreiche Diplom- und Masterarbeiten zu aktuellen klimatologischen Fragestellungen sowie zur Schnee- und Lawinenkunde, die in Kooperation mit der ZAMG von Lehrenden der Grazer Geographie betreut wurden. Beispielfähig seien hierzu einige der solcherart bearbeiteten Themenfelder genannt: Im Fachbereich Ausbreitungsklimatologie wurde die Entstehung des Flurwindes in Graz untersucht, worauf später ein numerischer Modellansatz aufbaute. Eine weitere Arbeit untersuchte die unterschiedlichen Stabilitätsindizes der ÖNORM-Ausbreitungsklassen aus einem langjährigen Datensatz am Sendermast Dobl. Weiters wurde in einer Masterarbeit ein Algorithmus definiert, welcher mit Hilfe von Radiosondendaten vom Grazer Flughafen Inversionshöhen- und -stärken für das Südöstliche Alpenvorland klassifizierte. Weitere Arbeiten befassten sich auch mit witterungsklimatologischen Fragestellungen, so etwa mit Zugbahnen von Gewittern in der Steiermark oder der Kulissenwirkung steirischer Gebirgszüge für die Schnee- und -verteilung, um nur einige zu nennen.

Viele jüngere Arbeiten in der Klimaforschung wurden erst durch ein stetig dichter werdendes

Messnetz mit neuer, elektronischer Technologie und Sensorik möglich. Die klimatologischen Forschungen der Grazer Geographie nutzten einerseits die Daten der Kooperationspartner, insbesondere die der amtlichen Stationsnetze von ZAMG, Hydrographischem Dienst und der Umweltabteilung des Landes Steiermark. Andererseits stellte die Grazer Geographie ihrerseits auch die Daten selbstfinanzierter Sonderstationen bereit, welche auch für die Partnerorganisationen nützlich waren.

So etwa konnte für die ausbreitungsklimatologisch so

wichtige Windmessung, die zuvor über mechanische Messeinrichtungen oder gar nur Schätzung erfolgte, bereits in den 1990er Jahren ein modernes System mit Ultraschallsensorik und Fernübertragung an meist exponierten Standorten situiert werden. Auch mit anderen Messsystemen konnte das Institut aufwarten, etwa mit drei Fesselballonsonden-Systemen (Abb. 6), welche 1998 bei der großen Grazer Sommer- und Winter- Immissionsmesskampagne – gemeinsam mit der Universität für Bodenkultur, der Technischen Universität Graz und der ZAMG – eingesetzt wurden (Baumann et al. 1998). Damit konnte später erstmals die Dynamik der vertikalen Feinstaubverteilung in Graz dargestellt werden (Podesser u. Rieder 2007). Ein anderes Beispiel war ein SF₆-Tracing System, mit welchem eine grobe Quantifizierung der Ausbreitungspfade von Luftschadstoffen möglich wurde. Dabei wird das inerte Tracergas Schwefelhexafluorid diversen Emissionsquellen beigemischt und mit speziellen Luftsammlern über die Verdünnung auf die Immissionen geschlossen.

2.5 STADTKLIMAFORSCHUNG UND KLIMAEIGNUNGSKARTEN

Hierbei handelt es sich in Hinblick auf Außenwirkung bzw. gesellschaftlichen „Impact“ um das vielleicht wichtigste der angewandten Forschungsfelder der Abteilung für Klimageographie, die wiederum primär mit dem Namen Lazar zu verbinden sind. Die Zahl seiner gelände- und stadtklimatologischen Monographien, Studien und Gutachten ist Legion und auf diesem Forschungsfeld hatte er viele Jahre in der Steiermark gleichsam eine Fast-Monopolstellung inne. Dabei beruhten seine Erkenntnisse, wie in Kap. 2.1 schon erwähnt, fast ausschließlich auf dem Einsatz verschiedenster Messmethoden vor Ort, die er basierend auf seiner Erfahrung und seinem Einfühlungsvermögen für Umwelt und Klima einsetzte.

Es sind dies ohne Anspruch auf Vollständigkeit das etwa zwei Jahrzehnte dauernde Projekt

der Erstellung von Klimaeignungskarten für die gesamte Steiermark im Maßstab 1:50.000 in Zusammenarbeit mit der ARGE LÖSS auf Grundlage von lokalen Stationsnetzen, Fesselballonsondierungen und Messfahrten in Form von farbigen Karten mit der Darstellung von Klimaeignungs-Stufen (z. B. Lazar et al. 1993), die im digitalen Atlas des GIS Steiermark (2021) verfügbar sind. Die Pilotstudie für dieses in Mitteleuropa wohl einzigartige Projekt war die Bearbeitung des (alten) Bezirkes Radkersburg im Jahr 1983 (Gräf 1983).

Ausgelöst durch die zunehmende Luftverschmutzung wurde der umweltschutzrechtliche bzw. lufthygienische Aspekt immer bedeutender. Hierzu wurden sehr verschiedene Themenfelder bearbeitet, etwa der Zusammenhang damals neuartiger Waldschäden mit kontaminiertem Nebel (Podesser 1999) oder die Aufgabenstellung, Luftströmungen und Windsysteme nachzuweisen, die als Frischluftzubringer fungieren

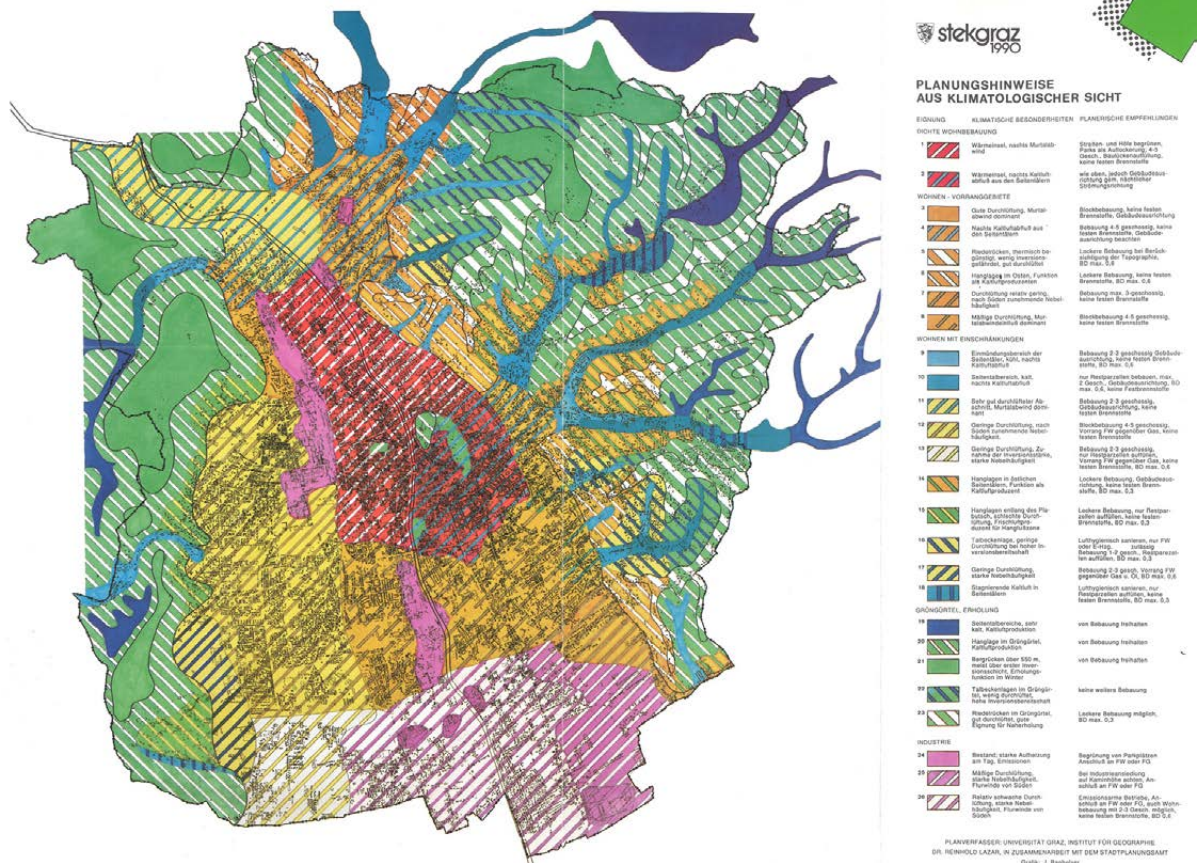


Abb. 7: Karte der Planungshinweise aus klimatologischer Sicht (Lazar et al. 1994)

oder für den Transport von Schadstoffen verantwortlich sind. Fragen wie diese sind vor allem für Städte wichtig, weshalb ab den 1980er Jahren sogenannte Stadtklimaanalysen, ausgehend von Deutschland, auch in Österreich aufkamen. Graz spielte darin insofern eine herausragende Rolle, als sich das Team um Lazar nicht, wie damals allgemein üblich, auf die bloße Interpretation von Messdaten beschränkte, sondern daraus auswirkungsorientiert auch Maßnahmenkataloge entwickelte. So entstanden Klimatopkarten und Karten der planerischen Hinweise als politische Entscheidungsgrundlagen in der Flächenwidmung zu Verbesserung des Stadtklima (Lazar u. Podesser 1998).

Basierend auf einer erstmal bereits 1986 in Graz durchgeführten Thermalscanner-Befliegung, welche von einem umfassenden Messprogramm begleitet war, entstand 1990 die erste Stadtklimaanalyse von Graz. Diese beinhaltete erstmals auch die oben erwähnten Planungshinweise aus klimatologischer Sicht (Abb. 7, Lazar et al. 1994), welche Eingang in das Stadtentwicklungskonzept (STEK) Graz fanden. Das Konzept der Ausweisung von Klimatopen und daraus abgeleiteter Planungskarten wurde auch 2004 bei einer Revision der Grazer Stadtklimaanalyse, die u. a. auf der Grundlage einer weiteren Befliegung entstand, angewendet (Lazar et al. 2006). Eine zusammenfassende Darstellung dieser und weiterer Stadtklimaanalysen bis 2011 findet sich – mitsamt umfassenden Literaturhinweisen – in Lazar u. Sulzer (o. J.). Ab 2021 entsteht für Graz ein umfangreiches Klimainformationssystem (KIS Graz) mit der „Stadtklimaanalyse 2.0“. Neben einem permanenten Klimamonitoring und weiteren Befliegungen werden auch numerische Ansätze unterschiedlicher Stadtklimamodelle zum Einsatz kommen.

Aufbauend auf den Erfahrungen aus Graz wurden auch andere Stadtklimastudien innerhalb (z. B. Salzburg: Lazar et al. 2020) und außerhalb von Österreich (z. B. Laibach/Ljubljana: Lazar u. Jernej 2000) durchgeführt. Dazu reihen sich die Stadtklimaanalysen in Übersee von Cochabamba und La Paz (Bolivien) bzw. Bucaramanga (Kolumbien) und Santiago de

Chile, überwiegend gestützt auf ein aus Graz mitgebrachtes Mess-Equipment (z. B. Lazar 2002).

3 AKTUELLE KLIMAÄNDERUNG UND NEUE HERAUSFORDERUNGEN

Spätestens in den 1990er Jahren wurden aber all diese Forschungsfelder von einem völlig neuen Fragenkreis überlagert, nämlich dem Problem der anthropogenen Klimaänderung bzw. der aktuellen globalen Erwärmung mit allen ihren Folgen. Eine fruchtbringende Befassung mit diesem Themenkreis ist aber nur mehr durch kooperative Zusammenarbeit im Team etwa mit dem Wegener-Center und mit neuen Modellen und Methoden möglich, was an der Grazer Geographie mit einem Generationenwechsel in der Nachfolge der Professur von Wakonigg einherging (genauer hierzu: Schöner u. Abermann 2021). Beispielhaft dafür sei aber das in Alleinarbeit entstandene Lehrbuch „Klima im Wandel“ (Wakonigg 2007) genannt, das den Stellenwert einer Verständnis fördernden Einführung hat, aber nicht aktuelle Forschungsergebnisse präsentiert.

Die aktuellen und zukünftigen Aufgaben und Forschungsfelder der Klimatologie stehen also in engem Zusammenhang mit der globalen Erwärmung. Dabei sind folgende Bereiche zu unterscheiden: (a) Szenarien und Prognosen einer zukünftigen Entwicklung des Weltklimas, (b) „Verdichtung“ der Aussagen von Szenarien und Prognosen auf einen regionalen bis lokalen Scale (Downscaling), (c) Forschung hinsichtlich der Adaptions- und Mitigationsstrategien sowie (d) Klimaänderungs-Folgenforschung. Die Grazer Geographie ist mittlerweile in den Bereichen b, c und d aktiv, wobei die zuletzt genannte wohl die längste Tradition aufweist.

Die Klimaänderungs-Folgenforschung eröffnet ein weites Feld für integrative und interdisziplinäre klimatologische bzw. klimabezogene Fragestellungen, weil letzten Endes jeder Bereich des Umweltsystems inklusive der Anthroposphäre von der Klimaänderung erfasst bzw. durch sie modifiziert wird. Dabei liegt für

die einschlägige österreichische Forschung der Themenkomplex Hochgebirge-Gletscher-Permafrost gewissermaßen nahe und wird daher von der Grazer Geographie, ausgehend von der damaligen Abteilung für Klimageographie, bereits seit Jahrzehnten bearbeitet (Kap. 2.3). Dem integrativen Charakter der Themenstellung entsprechend, ist dies aber keineswegs die Aufgabe der Klimatologie allein, weshalb darüber im Beitrag über geomorphologische Forschungen (Kellerer-Pirklbauer u. Bauer 2021) die Rede ist. In die Klimaänderungs-Folgenforschung in ganzheitlichem, also auch die Anthroposphäre bzw. Gesellschaft-Umwelt-Beziehungen umfassendem, Sinn sind heute alle Forschungsgruppen der Grazer Geographie involviert (Schöner u. Abermann 2021).

Die Leistungen der Geographie auf dem Feld der Klimaforschung liegen in den spezifischen Eigenheiten des Faches selbst begründet. Das sind der schon angesprochene integrative Zugang und vor allem das Verständnis für eine Regionalisierung, d. h. das Verständnis des Klimas als Phänomen mit Raumbezug, bestimmt durch den Wandel der räumlichen Strukturen und damit als selbst räumlich differenziertes Phänomen. Aus diesen beiden Eigenheiten ergaben und ergeben sich die besonderen Leistungen in Bereichen wie etwa der klimabezogenen Gletscherforschung, der paläoklimatologischen Forschung oder bei der Stadt- und Geländeklimatologie im Zusammenhang mit Fragen der angewandten Agrarklimatologie und Lufthygiene, um nur einige Aspekte zu nennen, die auch an der Grazer Geographie bearbeitet werden.

LITERATUR

- Baumann, K., Lazar, R., Piringer, M. (1998):** Die meteorologischen Ergebnisse der Messkampagne vom 10. bis 13. Jänner 1998 im Raum Graz. FWF-Projekt P12168-TEC. Projektbericht Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Z. 6683/96-U, Graz, 58 S.
- GIS Steiermark (2021):** Digitaler Atlas GIS Steiermark – Klimateignung. https://gis.stmk.gv.at/wgportal/atlasmobile/map/Basiskarten/Basiskarte?append-services=kl_reg_kl_eig,orient_adr&presentation=frischluftzubringer,wohnen,gewerbe,vorbehaltsflaechen&query=kleign (Zugriff: September 2021)
- Gräf, W. (Projektleiter) (1983):** Naturraumpotentialkarten der Steiermark Bezirks Radkersburg. Forschungsgesellschaft Joanneum, Institut für Umweltgeologie und Angewandte Geographie, Graz, 5 S. und 24 Karten.
- Ihl, M., Lazar, R., Podesser, A. (1998):** Ausbreitungsmeteorologie und lufthygienische Grundlagen im Großraum von Santiago de Chile unter besonderer Berücksichtigung des Sommersmogs. *Wetter und Leben* 50/2, 115–135.
- Kellerer-Pirklbauer, A., Bauer, C. (2021):** Von Bergspitzen zu Wüstenregionen: Ein Überblick über geomorphologische Forschungen an der Geographie der Universität Graz im Zeitraum 1886 bis 2021. In: 150 Jahre Grazer Geographie 1871–2021. Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung 51, 133–154 (in diesem Band).
- Klein, R. (1909):** Klimatographie von Steiermark. (Klimatographie von Österreich Bd. III), Wien, 194 S.
- Lazar, R. (1979):** Kleinklimatische Beobachtungen der Temperatur und der Talnebel mit besonderer Berücksichtigung des Temperaturminimums und der Spät- und Frühfröste in der Südweststeiermark. *Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz* 22, 80 S.
- Lazar, R. (1981):** Mächtigkeit und Intensität von Inversionen in einem ostalpinen Talbecken und ihre Erfassung durch Stationsprofile bzw. Meßflüge. *Wetter und Leben* 33, 17–26.
- Lazar, R. (1996):** Geländeklimatische Studien auf Teneriffa (insbesondere in den Cañadas). *Wetter und Leben* 48, 217–240.
- Lazar, R. (2002):** Stadtklima und Lufthygiene in Bucaramanga. *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung* 38, 173–182.
- Lazar, R., Bader, T. A., Braun, N., Kunčič, E., Sulzer, W. (1993):** Geländeklimatische Untersuchungen in der Steiermark – ein Rückblick über Forschungen zur angewandten Klimatologie am Institut für Geographie. *Wetter u. Leben* 45, 42–52.

- Lazar, R., Borovsky, M., Rainer, M., Sulzer, W. (2020):** Stadtklimastudie Stadt Salzburg – Beratung zu klimatischen Aspekten der Stadtplanung und Maßnahmen zur Verbesserung des Stadtklimas auch hinsichtlich des Klimawandels. Endbericht Graz, 191 S.
- Lazar, R., Buchroithner, M., Kaufmann, V. (1994):** Stadtklimaanalyse Graz. Magistrat Graz, Stadtplanungsamt (Hrsg.). Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz 32, 167 S.
- Lazar, R., Jernej, S., (2000):** Stadtklima und Lufthygiene von Laibach. Geogr. Jahresbericht aus Österreich 57, 34–56.
- Lazar, R., Podesser, A. (1998):** An urban climate analysis of Graz and its significance for urban planning in the tributary valleys east of Graz. *Atmospheric Environment* 33, 4195–4209.
- Lazar, R., Podesser, A. (2004):** Bericht über die Errichtung der höchstgelegenen Klimastation der Welt (Llullaillaco, 6.739 m). *ÖGM-Bulletin* 2002/2003, 47–50.
- Lazar, R., Sulzer, W. (o. J. [2013]):** Stadtklimaanalysen 1986, 1996, 2004 & 2011. Stadt Graz Stadtplanungsamt, Stadtvermessungsamt (Hg.), Graz, 297 S.
- Lazar, R., Sulzer, W., Fallinski, T., Kern, K., Kraack, A., Podesser, A., Wallner, H., Wurm, M. (2006):** Endbericht und Ergebnisdokumentation zur Thermalbefliegung 2004 in Graz. Eigenverlag Institut für Geographie und Raumforschung der Universität Graz, 144 S.
- Lieb G. K., Čede P., Fleck D. (2021):** Grazer Geographie – historische Aspekte und Chronologie. In: 150 Jahre Grazer Geographie 1871–2021. Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung 51, 11-45 (in diesem Band).
- Podesser, A. (1999):** Nebelklimatologische Untersuchungen im Müritzal unter besonderer Berücksichtigung der Wetterlagenabhängigkeit der Klimatelemente. Dissertation, Universität Graz, 140 S.
- Podesser, A., Rieder, H. (2007):** Tagesgang der vertikalen Feinstaubverteilung und Immissionsprognose mit numerischen Wettermodellen. Tagungsband VI. Fachtagung METTOOLS des Fachausschusses Umweltmeteorologie der DMG in Garmisch-Partenkirchen, 44–46.
- Prenner, F. (2011):** Klimatische Verhältnisse in unterschiedlichen Dolinen in der nördlichen Steiermark. Diplomarbeit, Universität Graz, 119 S.
- Prettenthaler F., Podesser A., Pilger H. (Hg.) (2010):** Klima atlas Steiermark. Periode 1971–2000, Eine anwenderorientierte Klimatographie. Reihe: Studien zum Klimawandel in Österreich 4. Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien, 358 S. <https://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/16178332/DE/> (Zugriff: September 2021)
- Reinmüller, J. (2010):** Klimaverhältnisse in extremen Hochlagen der Erde. Ergebnisse eines Sonderklimamessnetzes. Diplomarbeit, Universität Graz, 114 S.
- Schöner W., Abermann J. (2021):** Klimageographie – Klimaforschung – Herausforderungen der Zukunft. In: 150 Jahre Grazer Geographie 1871–2021. Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung 51, 107-114 (in diesem Band).
- Wakonigg, H. (1970):** Witterungsklimatologie der Steiermark. Dissertationen der Universität Graz 3, Wien, 335 S.
- Wakonigg, H. (1971):** Gletscherverhalten und Witterung. *Zeitschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie* VII, 103–123.
- Wakonigg, H. (1978):** Witterung und Klima in der Steiermark. Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Universität Graz 23, 473 S.
- Wakonigg, H. (1981):** Wetter und Witterung als komplexe Erscheinungen. Ein neuer Vorschlag zur Darstellung der örtlichen Witterung durch Mehrfachkombinationen im Sinne echter Witterungsklimatologie. *Wetter u. Leben* 33, 1–6 u. 69–93.
- Wakonigg, H. (1983):** Witterung und Klima in Slowenien. Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Universität Graz 25 (Festschrift f. S. Morawetz), 191–205.
- Wakonigg, H. (1993):** Überblick über Klima und Wetter in Österreich mit besonderer Berücksichtigung der Steiermark. *Biowetter* Bd. 12 (hrsg. Informationszentrale f. Umweltschutz, Graz), 1–8.
- Wakonigg, H. (1996):** Unterkühlte Schutthalden. In: Beiträge zur Permafrostforschung in Österreich. Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Universität Graz 33, 209–223.
- Wakonigg, H., 2007:** Klima im Wandel. LIT-Verlag, Berlin, Wien, 188 S.
- Zauchner, J. (1974):** Die ostalpinen Wetterlagen und ihre Auswirkung auf die Niederschlagsstruktur Kärntens. Unveröff. Diss. Graz, 329 S.