©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Tuexenia 23: 11–39. Göttingen 2003.

Aktuelle Aspekte der Vegetationskunde[1]

– Richard Pott, Holger Freund, Jörg Petersen, Gian-Reto Walther –

Zusammenfassung

Die Geobotanik oder Vegetationskunde mit all ihren Teildisziplinen (u.a. Biogeographie, Pflanzensoziologie, Pflanzenökologie, Biozönologie, Floren- und Vegetationsgeschichte, Paläoökologie) ist eine der wichtigsten ganzheitlichen Zugänge zur Biologie insgesamt und die Forschungsdisziplin, welche die Aufgabe hat, zeitliche und räumliche Muster der Diversität in der Pflanzenwelt zu dokumentieren, zu analysieren, visualisieren und zu interpretieren. Die Biodiversität ist zu einem Schlüsselbegriff der ökologischen wie auch geobotanischen Forschung geworden. Die belebte Welt unseres Planeten ist von unglaublicher Vielfalt. Die Anzahl bekannter Arten an Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen wird derzeit auf 1,4 Millionen veranschlagt, 5 bis 15 Millionen Arten werden global geschätzt. Diese Zahl lässt jedoch viele Hunderte oder Tausende von bislang noch nicht oder nur schlecht bestimmten Arten in gewissen Organismengruppen (z. B. Mikroorganismen) unberücksichtigt, welche bislang noch nicht oder nur unzureichend erfasst und beschrieben sind.

Die systematische Erfassung aller Arten in international angelegten und intensiv finanzierten Artenerfassungsprogrammen ist eine notwendige Zukunftsaufgabe. Die Einbindung der Pflanzen und Mikroorganismen in die natürlichen Ökosysteme, ihr euryökes oder stenökes Standortverhalten, die Erfassung ihrer Konkurrenzkraft und ihrer Migrationsfähigkeit sind beispielsweise vordergründige Aufgaben.

Neben den heute bekannten Arten hat wohl ein Mehrfaches dieser Zahl – vielleicht Millionen oder gar Milliarden – in der Vergangenheit gelebt. Sie sind heute ausgestorben, ohne je einmal lebend beschrieben worden zu sein. Nur ein kleiner Rest ist uns als Fossilien erhalten. Die Biodiversität unserer heutigen Welt muss also verstärkt kausal aus paläoökologischer Sicht beleuchtet werden.

Auch die natürliche Variabilität des Klimas, die Geodiversität und die Biodiversität sind als Schätze der heutigen Ökosysteme der Erde zu betrachten. Die Rekonstruktion natürlicher klimatischer Abläufe, die genaue Erfassung der Variabilität und der Schwankungsintensität des natürlichen Klimas und der gegebenenfalls anthropogenen Klimaerwärmung sind vordergründige Aufgaben hochspezialisierter, interdisziplinärer Forschung, an denen die Geobotanik ihren zukommenden Anteil haben wird. Dies wird an einigen Beispielen verdeutlicht.

Vor diesem Hintergrund sollen einige Aspekte vordergründiger Probleme des 21. Jahrhunderts aus globaler bis lokaler Perspektive diskutiert und schließlich die Rolle beleuchtet werden, welche geobotanische Forschung zu Beginn dieses neuen Jahrhunderts einnehmen könnte.

Abstract: Actual aspects of vegetation science

Geobotany or vegetation science with all its disciplines (biogeography, phytosociology, plant ecology, flora- and vegetation history, palaeoecology) is one of the most important holistic accesses to biology. These research disciplines have the task to document, analyse and visualize the species, their behaviour and interactions as well as their habitat in order to better understand the world of plants. Diversity has become a major key in ecological and geobotanical research. There is a huge variety in flora and fauna on our planet. At present the number of described species of plants, animals and microorganisms amounts 1.4 million species. This number disregards thousands of species (for example microorganisms), which are not or only insufficient specified up to now. The total number of species of the Earth is estimated up to 15 million.

Therefore, the systematic description of all species in international acquisition programs is a necessary task for the future. The integration of plants and microorganisms in natural eco-systems, their euryokes and stenoekes site-specific behavior, their competition strength and their migration ability are for example important tasks.

[1] Zum Vortrag auf der Jahrestagung 2002 in Göttingen von R. Pott.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Besides modern taxa, a huge number of species lived in the geological past. It seems that most of them have never been described, so that only a very small number is known as fossils. Therefore, modern biodiversity has also to be elucidated from a palaeoecological point of view.

Also the natural variability of the climate, the geodiversity and the biodiversity have to be regarded as treasures of the present eco-systems of the earth. The reconstruction of natural climatic processes, the registration of natural climatic dynamics and the possible anthropogenic greenhouse effect are tasks of highly specialized, interdisciplinary research, in which geobotany will have its coming position. This will be outlined by some examples.

On this basis, some aspects of the problems of the 21st century will be discussed from a global to local perspective, to elucidate the position of geobotanical research at the beginning of the new century.

Keywords: biodiversity, evolution, global warming, cellular automata.

1. Einführung: Biodiversität – der Schatz der Ökosysteme der Erde

Die belebte Welt dieses Planeten ist von unglaublicher Vielfalt. Die Anzahl bekannter Arten an Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen wird auf 1,4 Millionen geschätzt (Abb. 1 und WILSON 1994). Diese Zahl lässt jedoch viele Hunderte oder Tausende von noch nicht oder nur schlecht bestimmten Arten in gewissen Organismengruppen (z.B. *Bacteria* und *Archaea*) unberücksichtigt, welche bislang in der Literatur zur Biodiversität noch nicht erfasst sind. Im weiteren wartet noch eine Vielzahl an Organismen darauf, entdeckt und wissenschaftlich beschrieben zu werden. Nebst den heute bekannten Arten hat wohl ein Mehr-

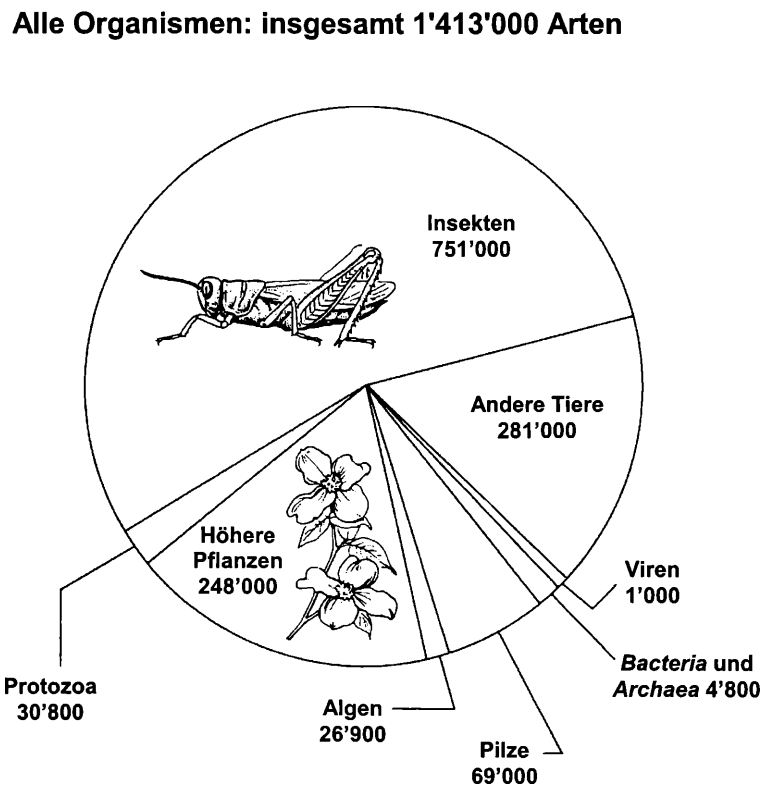


Abb. 1: Zahl und Verteilung der heute bekannten Arten (leicht verändert aus WILSON 1994).

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

faches dieser Zahl – vielleicht Millionen oder gar Milliarden – in der Vergangenheit gelebt und viele sind heute ausgestorben ohne je einmal lebend beschrieben worden zu sein. Nur ein kleiner Rest ist uns als Fossilien erhalten geblieben. Die **Diversität** ist zu einem Schlüsselbegriff der ökologischen Forschung geworden; die **Geodiversität** und die **Biodiversität** sind deshalb Grundlagen für die natürliche Vielfalt aller Ökosysteme unserer Erde.

1.1. Die Entwicklung der Biodiversität in geologischen Epochen

Der gesamte geologische Zeitraum des Lebens auf der Erde umfasst mehr als 3,5 Mrd. Jahre und begann mit dem Auftreten erster mikroskopisch kleiner Organismen, den Einzellern, welche **Stromatolithen-Ökosysteme** bildeten (Abb. 2). Der Ursprung eukaryontischer Organismen – der sogenannten „Höheren Organismen" – reicht ca. 1,8 Mrd. Jahre zurück. Ihre DNA wurde von Membranen eingefasst und die ersten Eukaryonten ähnelten den heute bekannten Protozoen und einfacheren Formen von Algen. Der steile Anstieg in der Biodiversitätskurve fand im **Kambrium**, vor 540 bis 500 Mio. Jahren statt (Abb. 3) und stellt im Evolutionsprozess einen wichtigen Schritt vorwärts dar. Möglicherweise haben die extremen Umweltbedingungen dieser Zeit, vor allem die massiven Vergletscherungen von den Polen bis zum Äquator, damals nicht nur Verderben gebracht, sondern die Evolution gewaltig angekurbelt. Neue, makroskopische Tiere und Pflanzen entstanden in radiativem Muster und bildeten die hauptsächlichen adaptiven Typen, welche noch heute existieren. Die Sauerstoffkonzentration in der Atmosphäre war schon nahe an der heutigen 21 Prozent-Marke. Der „big bang", der **kambrischen Artenexplosion** in der Evolution von Tieren und Pflanzen zu jener Zeit, formte eine neue, mikroskopische Welt von Pathogenen, Symbionten und Destruenten. Damals tauchten die meisten Tierstämme auf, die ja zum Teil noch heute auf der Welt existieren: von den Gliederfüßern bis zu den Schwämmen. Im späten **Ordovizium, Silur** und **Devon** bildeten erste terrestrische Pionierpflanzen, z.B. aus der Gattung *Psilophytum* (Abb. 4) dichte Matten und Strauchschichten über alle Kontinente. Im **Karbon**, vor ca. 340 Mio. Jahren, wurde diese Vegetation von Kohlewäldern verdrängt, welche von säulenartigen *Sigillaria*- und *Lycophytum*-Bäumen, Samenfarnen und einer Vielzahl an weiteren Farnen dominiert wurden. Im späten Paläozoikum und frühen Mesozoikum, vor nahezu 240 Mio. Jahren, waren viele der Karbon-Arten ausgestorben, mit Ausnahme der Farne, Koniferen, der *Cycas*-, *Cyathea*- und *Dicksonia*-Arten und zahlreicher anderer *Cycadatae* (Abb. 5–7).

Im Verlaufe der vergangenen 600 Mio. Jahren hat die Biodiversität, abgesehen von den zeitweise auftretenden Massenaussterbephänomenen, generell zugenommen (Abb. 3). Die Frage stellt sich, weshalb dieser Trend konstant aufwärts ging, trotz zwischenzeitlicher Phasen größerer oder kleiner Abnahmen und trotz wiederkehrender, fast vollständiger Umkehr der Garnitur an Arten, Gattungen und Familien. Teile der Antwort sind die **Wanderungen der Kontinentalplatten**, die **geographische Isolation** und die großen **Gebirgsbildungen**, welche die Artbildung und eine differenzierte Evolution begünstigt haben (Abb. 8).

Im späten **Paläozoikum** formte ein Riesenkontinent die Erdoberfläche, **Pangaea**. Im frühen Mesozoikum teilte sich Pangaea in zwei Fragmente, **Laurasia** im Norden und **Gondwana** im Süden. Indien löste sich von Gondwana und wanderte nordwärts Richtung Himalayischer Bogen. Erst vor ca. 100 Mio. Jahren erreichten die Kontinente ihre heutige Position, mit den sich zunehmend erweiternden Ozeanen dazwischen. Folgen davon sind die bekannten **Großdisjunktionen** gondwanischer Florenelemente in Südamerika und im australisch-pazifischen Raum (Beispiele sind die *Araucarien* mit *Araucaria* und *Agathis* sowie die *Nothofagus*-Arten, Abb. 9–15). Die Hauptgruppen an weiteren Tier- und Pflanzenarten entstanden durch die zunehmende Isolation und sie passten sich den neuen Lebensräumen an. Als Folge von Vikarianz und Konvergenz entstanden neue Formen von Organismengruppen und Ökosystemen mit dem Resultat der heutigen verschiedenen faunistischen und floristischen Provinzen.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

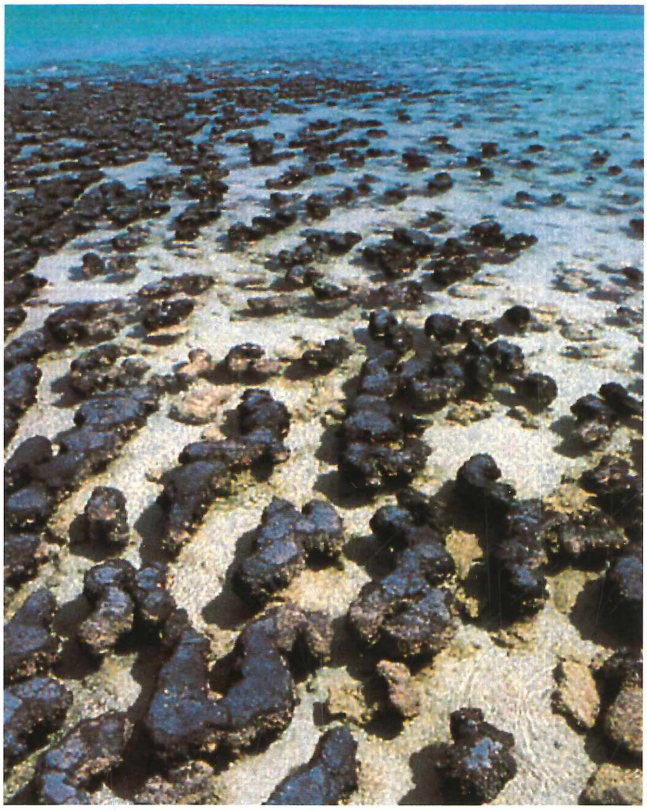


Abb. 2: Stromatolithen sind die ältesten bekannten Lebensformen der Erde, Shark Bay, Hamelin Pool, Westaustralien. Ähnlich Korallen ragen zahllose dunkle Höcker und Kuppen – manche bis zu 60 cm hoch aus dem flachen Wasser; sie verdanken ihre Existenz verschiedenen Cyanobakterien, die winzige Sedimentpartikel aus dem Salzwasser binden und so Schicht für Schicht aufgebaut haben. Diese Organismen gelten als die ältesten bekannten Lebewesen der Erde und existieren seit 3,5 Milliarden Jahren (aus FUCHS & BAEHR 1998).

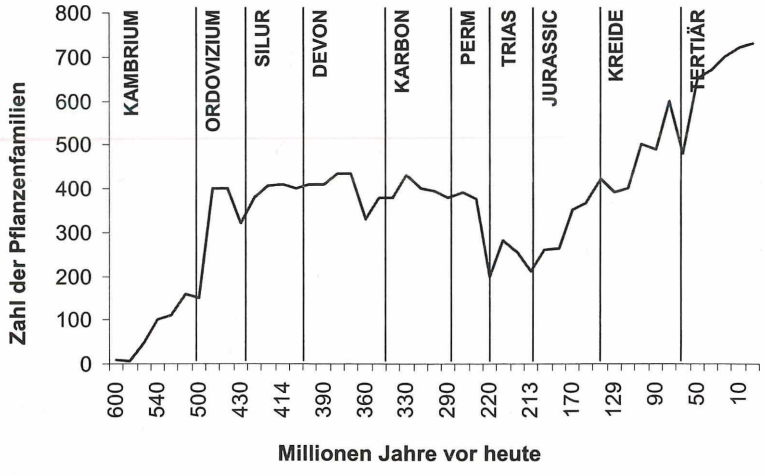


Abb. 3: Geologische Epochen und Biodiversität.

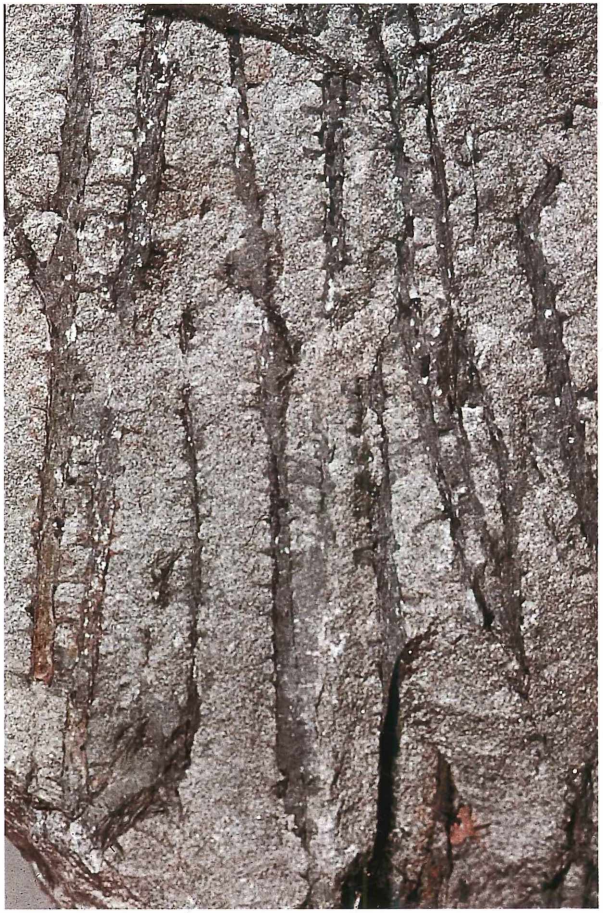


Abb. 4: Psilophyten aus dem Devon Kanadas.

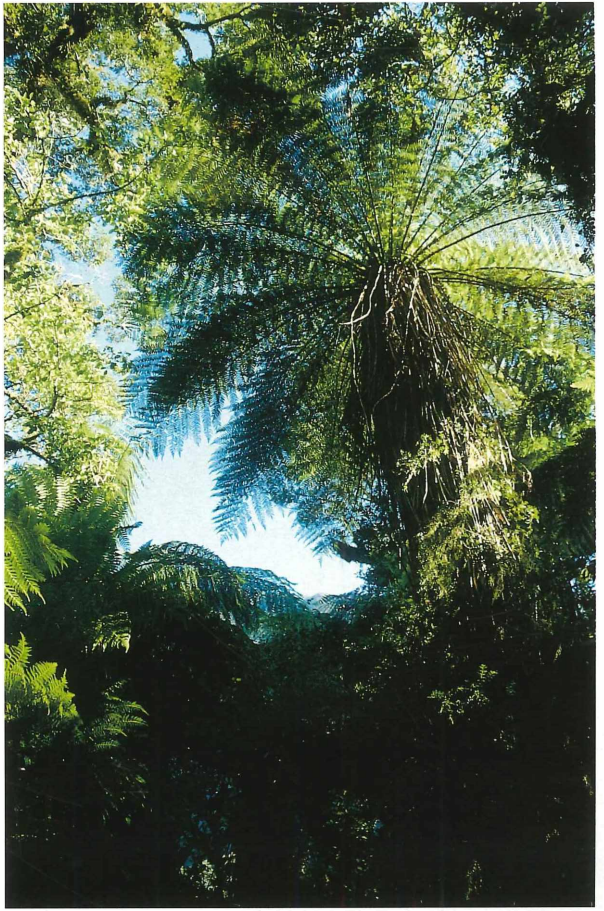


Abb. 5: Baumfarne der Gattungen *Cycas* und *Cyathea* in Neuseeland.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at



Abb. 6: *Cyathea calcicola*, N-Territory, Australien.

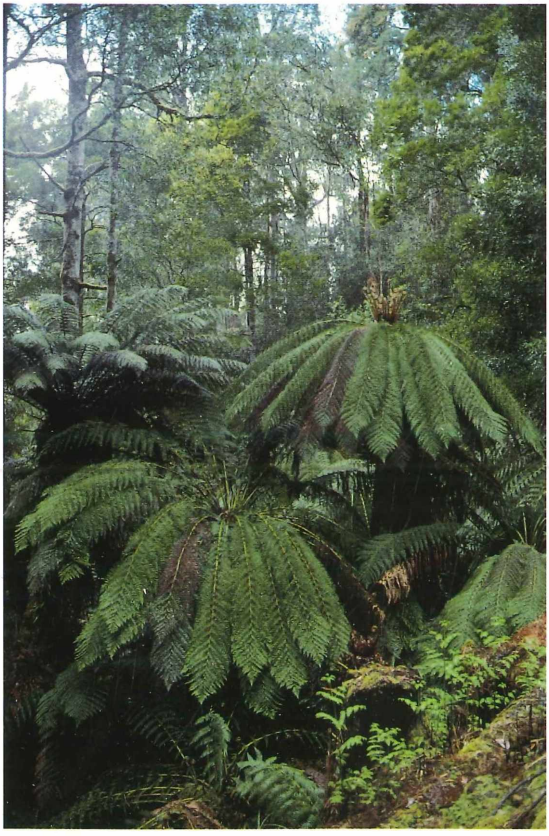


Abb. 7: *Dicksonia antarctica*, Tasmanien.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at



Abb. 8: Pangäa, Laurasia, Gondwana und der Zerfall von Gondwana.

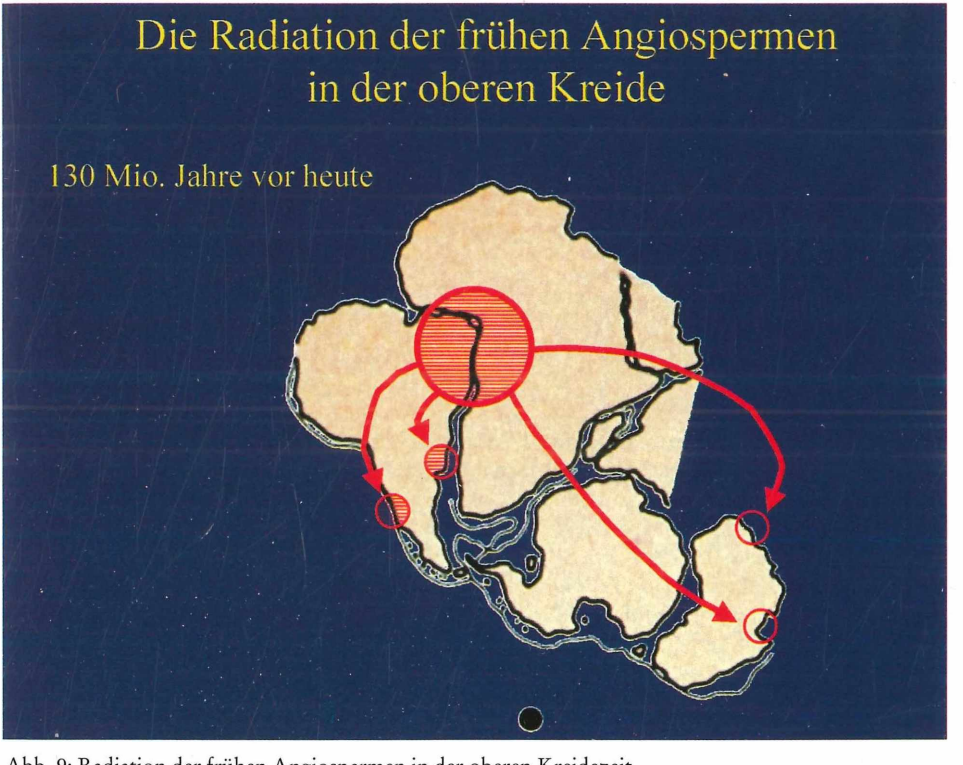


Abb. 9: Radiation der frühen Angiospermen in der oberen Kreidezeit.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at



Abb. 10: *Araucaria angustifolia* im Zentralplateau Südbrasiliens, Aparadosche Sera National Park.

1.2. Die heutige globale Biodiversität

Die heutige globale Artenvielfalt geht zu einem großen Teil auf diese Landmassenfragmentierung zurück. Die Diversitätskarte der höheren Pflanzen von BARTHLOTT et al. (1996) in Abbildung 16 weist verschiedene **Biodiversitätszentren** aus, welche überwiegend in den feuchten Tropen und Subtropen liegen. Weitere Zentren liegen in mediterran geprägten Regionen mit etesischem Klima, wie z.B. Südafrika, Australien und auf den Archipelen im Atlantischen Ozean (besonders Kanarische Inseln; s. HOBOHM 2000, POTT et al. 2003). Vergleichsweise hohe Artenzahlen lassen sich auch in außerarktischen Gebirgszonen wie den Anden in Südamerika finden, was darauf hinweist, dass eine hohe **Geodiversität** auch die **Biodiversität** erhöhen kann.

Nebst der Artenzahl beeinflussen aber auch andere Qualitätskriterien die Bedeutung der Biodiversität einer bestimmten Region. Der Anteil von Allophyten wird zu einem zunehmend wichtigen Kriterium, wenn es darum geht, die Qualität eines Lebensraumes einzuschätzen und die Folgen der biologischen Globalisierung in natürlichen Lebensräumen aufzuzeigen, die zur Verdrängung einheimischer Arten oder zur Neueinbürgerung führen (Abb. 17). Dazu kommt ein neuerlicher Eintrag von sogenannten „Wildformen" von Sträuchern, die heute in Baumschulen gezüchtet und die oftmals im Zuge von sogenannten „Renaturierungsmaßnahmen" in natürliche Systeme ausgebracht werden und sich von dort ausbreiten. Besonders deutlich wird dieses Phänomen in den einzigartigen Dünenökosystemen der Wattenmeer-Inseln, wo z. B. die ursprünglich asiatischen, heute jedoch geklonten Rosen *Rosa rugosa* und *R. spinosissima* sich sehr invasiv verhalten und die einheimische *Rosa pimpinellifolia* dauerhaft verdrängen (POTT 1995, PETERS & POTT 1999, PETERSEN et al. 2003). Es erstaunt deshalb nicht, dass natürliche und künstliche Biodiversität und potentielle Veränderungen derselben eine zunehmend wichtigere Rolle in der geobotanischen Forschung wie auch in der öffentlichen Diskussion spielen.

Damit ist nicht das reine Beschreiben und Zählen von Arten mit den üblichen Vergleichen phänotypisch-morphologischer Merkmale gemeint, sondern wir können zeigen, dass

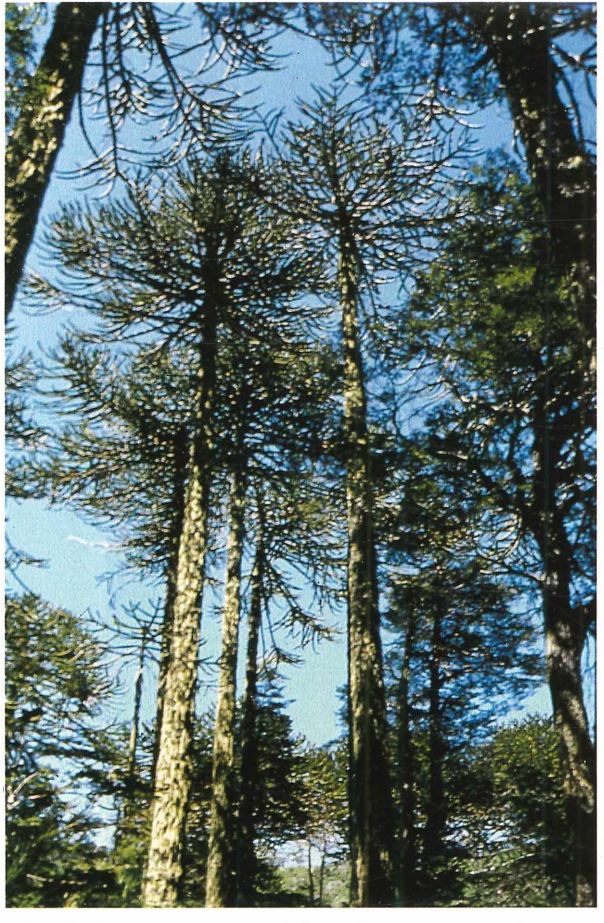


Abb. 11: *Araucaria araucana*, Südamerika.



Abb. 12: *Araucaria vitiensis*, Fidschi.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft, www.tuexenia.de, download unter www.zobodat.at

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at



Abb. 13: *Agathis robusta* in den tropischen Regenwäldern von Queensland, Australien.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at



Abb. 14: *Notofagus alpina* und *Notofagus dombeyi* –Wald im Nationalpark Tolhuaca in Südchile.



Abb. 15: *Nothofagus*-Wälder am Mt. Burns auf der Südinsel von Neuseeland.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

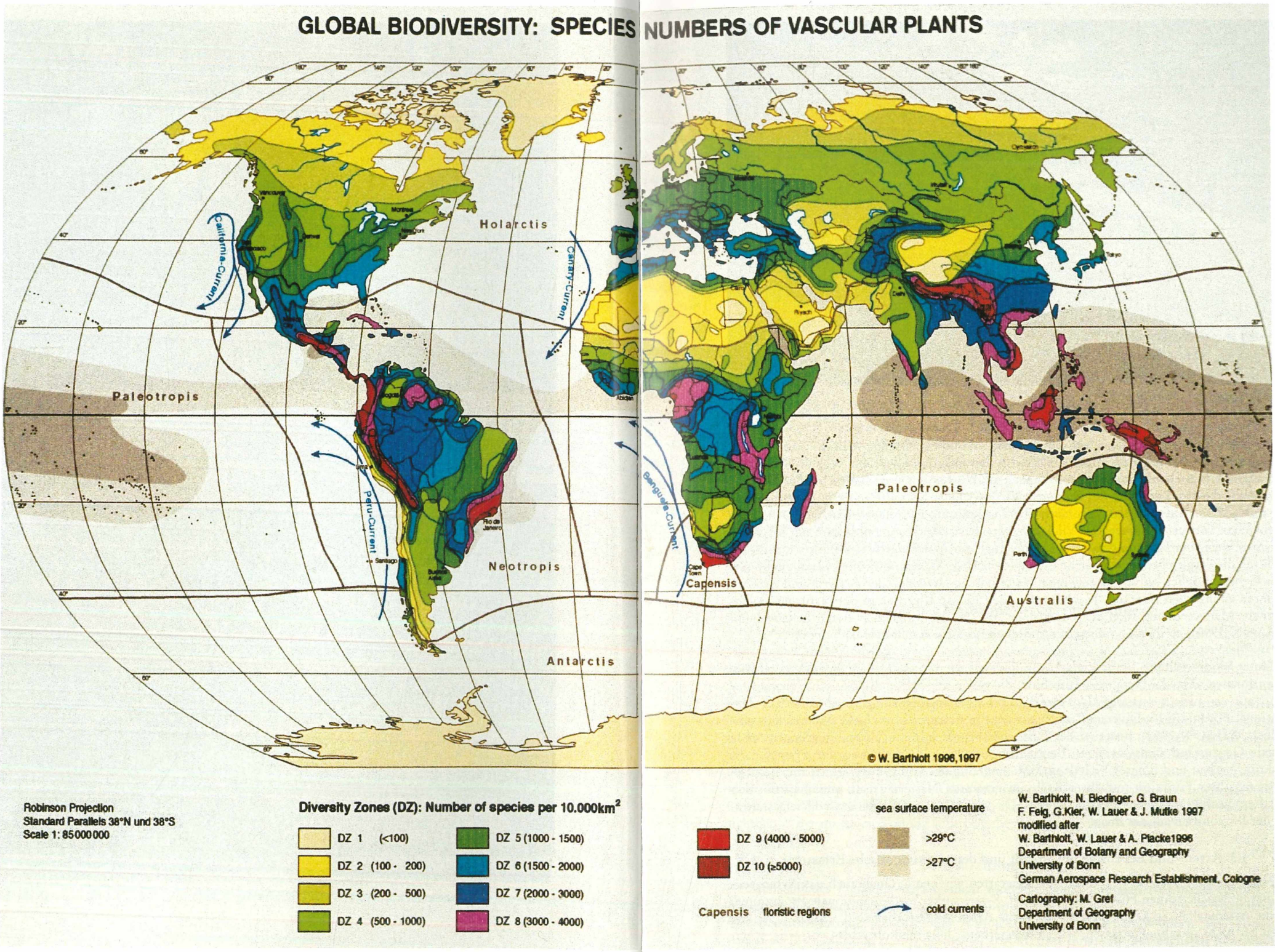


Abb. 16: Biodiversitätskarte von BARTHLOTT et al. 1996.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at



Abb. 17: Ausbreitung von nordhemisphärischen Allophyten entlang der Flüsse in den Alpen von Neuseeland.

ein Großteil der organismischen, physiologischen und biochemischen Vielfalt – alles wichtige Aspekte des Großbegriffes Biodiversität – in den mikrobiologischen, vegetationskundlichen und zoologischen Disziplinen beheimatet sind. So implizieren beispielsweise Darstellungen, wie die aus dem Buch des Zoologen EDWARD O. WILSON (1992) „The diversity of Life" (Abb. 1), dass Tiere, besonders die Insekten, und Höhere Pflanzen die höchste Artenvielfalt aufweisen. Eine große Vielfalt zeigen aber auch die derzeit bekannten Mikroorganismen, deren Artbestimmung verstärkt im Zuge der molekularen Revolution der Biologie durch die vergleichende Sequenzanalyse informativer Makromoleküle – vor allem homologer Gene – möglich wird. Die enorme physiologische Diversität der *Bacteria* und *Archaea* mit ihren zahlreichen Energie-, Kohlenstoff- oder Stickstoffquellen in der Natur ist sprichwörtlich. Man vermutet, dass derzeit weniger als 1% der möglichen Arten bekannt sind (AMANN 1999), so dass es vielleicht mindestens so viele Arten an Mikroorganismen gibt wie an Pflanzen und Tieren.

Unter **Biodiversität** oder biologischer Biodiversität wird im allgemeinen die Vielfalt aller Lebensformen, d.h. der Artenreichtum bzw. die taxonomische und genetische Vielfalt der Natur auf der Erde verstanden. Der Begriff „**Biodiversity**" wurde erstmals 1986 auf dem „National Forum on BioDiversity" als synonym für Artenreichtum bzw. Artenvielfalt eingeführt (WILSON 1992); heute ist der Diversitätsbegriff im naturwissenschaftlichen Sinne oftmals Gegenstand ökosystemarer Betrachtungen unter Einbeziehung der Fragen nach Struktur, Aufbau und innerer Vielfalt und Mannigfaltigkeit von Ökosystemen mit Berücksichtigung ihrer Funktion und ihrer Rolle im gesamten Naturhaushalt, was man mit den Begriffen „**stabilitiy** and **complexity**" belegt. Das zeigt sich in der Vielfalt und Vielgestaltigkeit der Biozönosen auf der Erde.

1.3. Arten- und Lebensformenvielfalt und deren systematische Erfassung

Noch nie gab es so viele Pflanzen- und Tierarten wie heute. Doch auch das **Artensterben** hat inzwischen einen Höchststand erreicht. Systematiker fordern nationale Programme, um die Artenvielfalt zu katalogisieren, bevor die Arten ausgestorben sind: „Wir können die Arten gar nicht so schnell erfassen, wie sie aussterben", hört man oft schlagwortartig, wenn

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

es um den Schutz der tropischen Regenwälder geht. Deshalb fordern zahlreiche Wissenschaftler ein staatlich unterstütztes und finanziertes Artenerfassungsprogramm nach dem Vorbild des Humangenomprojektes.

Bislang sind weltweit gerade mal zehn Prozent der schätzungsweise fünf bis fünfzehn Millionen Arten katalogisiert; dabei ist die Vielfalt heute so groß wie nie zuvor – weil viele Pflanzen und Tiere sich als Einwanderer abseits ihrer Heimatländer behaupten und auch, weil sich manche früher beschriebene Art inzwischen als Artenmix herausgestellt hat. Auf der anderen Seite verschwinden täglich zahlreiche Pflanzen- und Tierarten von unserem Globus. Wie viele das sind, können wir nicht einmal schätzen.

Was uns am meisten umtreibt, ist die Befürchtung, dass sich die Erde nahe an der Schwelle zu einem unkontrollierten Massensterben befindet, denn wir wissen nicht, wo in unseren Ökosystemen der Schwellenwert liegt und was wir ihm noch zumuten können. In den vergangenen 3,5 Milliarden Jahren hat das Leben gerade wegen seiner ungeheuren Vielfalt zwar alle Katastrophen überstanden, umso wichtiger sei es nun, diese Vielfalt auch zu bewahren. Schützen können wir aber nur, was wir kennen, das sagen wir immer und fordern verstärkte Anstrengungen, um neue Arten zu beschreiben, zu ordnen und zu erforschen. Dazu gehören auch moderne Methoden wie die genetische Charakterisierung neu entdeckter Tiere und Pflanzen. Was uns fehlt, ist eine vernünftige Infrastruktur für biologische Systematik. Bei den forschungspolitischen Entscheidungsträgern muss jetzt dringend ein Umdenken einsetzen. Es kann nicht sein, dass Milliarden in die Erforschung unseres Sonnensystems fließen, während in den Zonobiomen auf der Erde vieles unerforscht bleibt.

Eine systematische Ausweitung der **Exploration aller Biome** auf der Erde auf der Basis des anerkannten hohen wissenschaftlichen Niveaus der mitteleuropäischen Vegetationskunde mit all ihren Methoden und Instrumentarien ist die notwendige Konsequenz für künftige Forschungstätigkeiten auf dem Gebiet der Geobotanik. Die Zerstörung von Lebensraum als Folge menschlicher Aktivitäten muss heute als Hauptursache für den **Verlust an Biodiversität** angesehen werden. Das gilt sowohl für die industrialisierten Länder der Erde als auch für die sogenannten „Drittwelt-Länder", besonders aber für die tropischen und subtropischen Regionen. **Biotische Verarmung** – der Verlust an charakteristischer Vielfalt von Arten, Genen und Lebensgemeinschaften einer Region – ist beinahe unvermeidbare Konsequenz menschlichen Gebrauchs und häufig die Folge des Missbrauches natürlicher Ressourcen (MC NELLY et al. 1995, POTT 2001).

2. Globale Probleme im 21. Jahrhundert

Das Ausmaß der menschlichen Einflussnahme auf die Ökosysteme hat im vergangenen Jahrhundert massiv zugenommen – mit steigender Tendenz in den letzten Jahrzehnten. Seit 1980 ist die Weltwirtschaft um den Faktor drei gewachsen und die Weltbevölkerung hat um 30 Prozent auf 6 Milliarden Menschen zugenommen. Zunehmende **Landnutzungsintensität, Urbanisation, Industrialisierung** und **Verbrauch natürlicher Ressourcen** sollen an dieser Stelle als Stichworte genannt sein. Mit einer Abnahme dieses steigenden Verbrauchs ist in absehbarer Zukunft wohl nicht zu rechnen. Demographen rechnen statt dessen mit einer Bevölkerungszunahme bis zu 9 Mrd. Menschen in den kommenden 50 Jahren (WRI 2000). Demzufolge wird sich auch der oben angesprochene Druck noch verstärken, was schon heute häufig dazu verleitet, Ökosysteme zu Gunsten kurzfristigen Gewinns zu übernutzen, anstelle die Entwicklung langfristig nachhaltiger Nutzungsformen zu fördern, heute sichtbar an der massiven Rodung subtropischer und tropischer Wälder.

2.1. Klimafakten

Menschliches Handeln hat zu einem weiteren Effekt globalen Ausmaßes geführt: Die Änderung der Zusammensetzung der Atmosphäre beispielsweise durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe oder als Folge der Abholzung von natürlichen Wäldern. Sie haben den Anteil an **Kohlendioxid** (CO_2) dermaßen erhöht, dass innerhalb des nächsten Jahrhunderts

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

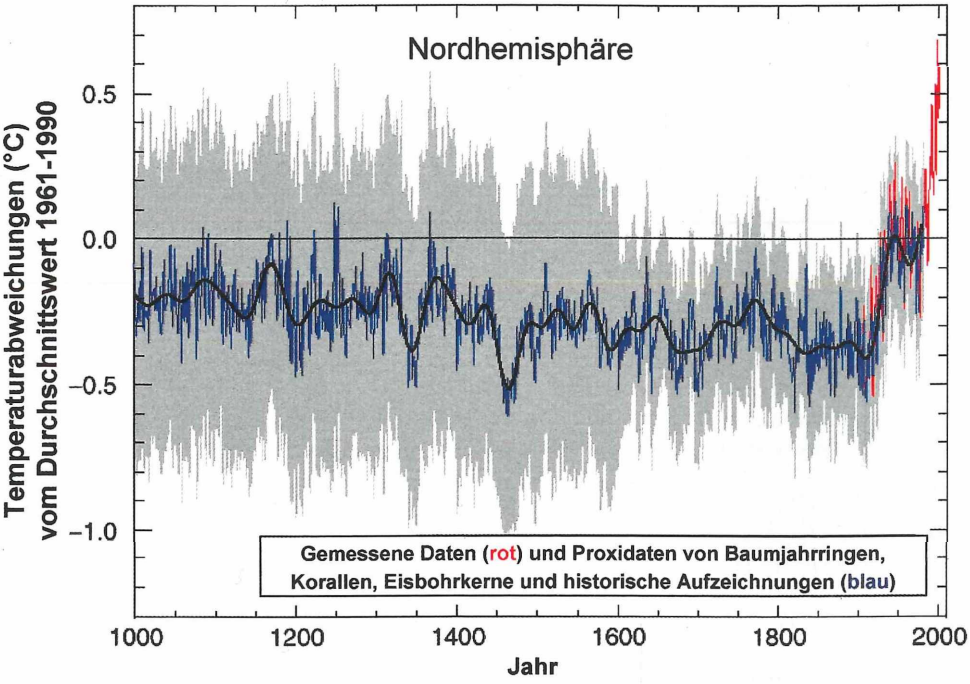


Abb. 18: Entwicklung der Oberflächentemperatur der Erde im letzten Jahrtausend (IPPC 2001).

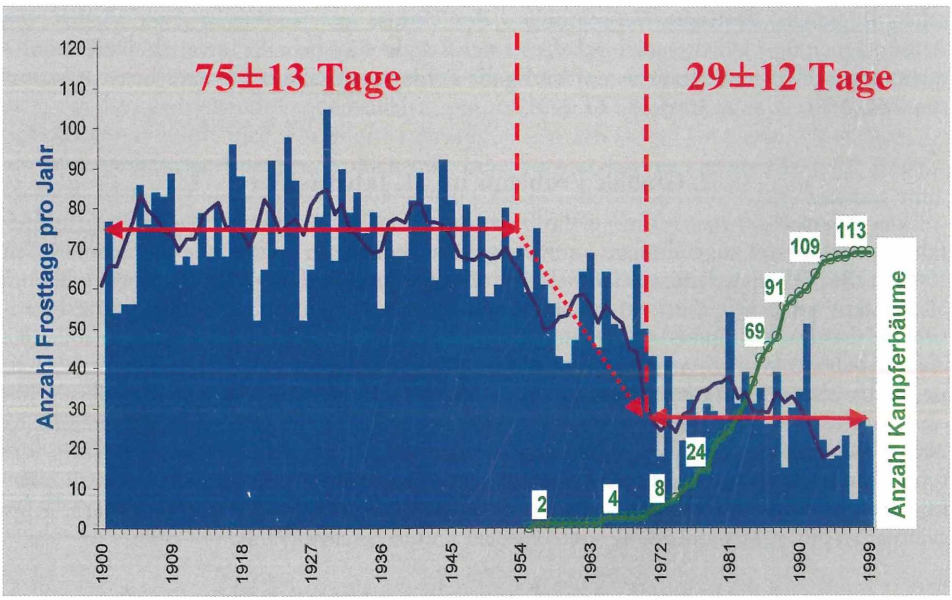


Abb. 19: Temperaturentwicklung und Etablierung von *Cinnamomum glanduliferum* im Tessin seit 1900 (nach WALTHER 2000, 2002).

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

mit einer globalen Änderung des Klimas und einer globalen Erwärmung der Erdoberfläche von 1,4–5,8 °C als Folge des Treibhauseffekts zu rechnen ist (vgl. Abb. 18, IPCC 2001). Auf globaler Ebene ist die Verbreitung von Tier- und Pflanzenarten hauptsächlich durch Klimaparameter bestimmt (z.B. WOODWARD 1987) und es wird angenommen, dass Änderungen der Temperatur oder Niederschläge auch die Ausdehnung der Großlebensräume beeinflussen (WATSON et al. 1997). In jüngster Zeit häufen sich Berichte über Verhaltensanpassungen und sich ändernde Artareale als Folge der wärmeren Klimabedingungen der vergangenen drei Jahrzehnte (HUGHES 2000, MCCARTY 2001, WALTHER et al. 2001, 2002a). Nachdem im vergangenen Jahrhundert die durchschnittliche Temperatur der Erdatmosphäre weltweit um rund 0,6 °C angestiegen ist (IPCC 2001), rechnen Klimaexperten für die kommenden Jahre mit einer noch stärkeren Erwärmung (siehe z.B. ZWIERS 2002), die naturraumabhängig negative oder positive Konsequenzen für Land- und Forstwirtschaft sowie für die Siedlungsflächen der Menschen in ökologisch sensiblen Regionen haben kann.

Wärmere Temperaturen treiben aber auch den globalen Wasserkreislauf an. Dies äußert sich in zunehmend verstärkten Trockenzeiten oder Hochwasserereignissen in verschiedenen Teilen der Erde. Der Meeresspiegel steigt gegenwärtig um 2,4 mm/Jahr mit wahrscheinlicher Zunahme, wenn das Abschmelzen der Gletscher und Polkappen voranschreitet (PELTIER & TUSHINGHAM 1989). Bis ins Jahr 2100 soll mit einem Anstieg des mittleren globalen Meeresniveaus von 0,09–0,88 m gerechnet werden (IPCC 2001). Kürzlich konnte eine Korrelation zwischen erhöhter Nordatlantischer Wellenoszillation und ansteigender Oberflächentemperatur nachgewiesen werden (GREVEMEYER et al. 2000). Verschiedene Modelle weisen ferner darauf hin, dass auch mit einer verstärkten Niederschlagsintensität und einer Zunahme an Extremereignissen gerechnet werden muss, wie dies seit 1992 in den Berichten des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) nachzulesen ist. Zahlreiche Faktoren beschränken aber nach wie vor unsere Fähigkeiten und Möglichkeiten, eventuelle Folgen einer zukünftigen Klimaänderung aufzudecken und konkret abschätzen zu können. Eines ist jedoch klar: die Zusammensetzung der Vegetationsdecke hängt einmal von den Migrationsraten der Arten ab und zum anderen davon, wie rasch sich in diesem Kontext die Bodenverhältnisse und andere Umweltfaktoren ändern. Es ist zum heutigen Zeitpunkt in keiner Art und Weise gesichert, dass die Wanderungskapazitäten der Arten mit der Rate der sich ändernden Umweltbedingungen Schritt halten können (WATSON et al. 1997). Mit anderen Worten bedeutet dies, dass in einem solchen Szenario mit lokalem Aussterben von Arten, z.B. auf Berggipfeln gerechnet werden könnte (GRABHERR et al. 1994). Ebenso sind in jüngster Zeit andere Phänome von Vegetationsveränderungen zu beobachten wie beispielsweise die Ausbreitung immergrüner Sträucher in sommergrünen Laubwäldern am Südrand der Alpen im Tessin, wo nachweislich seit den 1970er Jahren anhaltend milde Winter die Ausbreitung des drüsigen Kampferbaumes (*Cinnamomum glanduliferum*) und anderer immergrüner Laubholzarten ermöglichen (s. Abb. 19, S. 26, und CARRARO et al. 1999, WALTHER 1999, 2002).

Einigkeit besteht darin, dass dieser Temperaturanstieg zumindest teilweise auf die Verbrennung von fossilen Energieträgern (vor allem Kohle und Erdöl) durch den Menschen und das dabei freiwerdende Kohlendioxid zurückzuführen ist. Wie gewichtig jedoch der anthropogene Beitrag für die Entstehung des sogenannten Treibhauseffektes und der daraus postulierten Klimaerwärmung im Vergleich zu natürlichen Klimavariationen ist, bleibt derzeit eine wichtige Frage der paläoökologischen Grundlagenforschung.

2.2. Der Rückblick auf das Klima als Schlüssel für die Zukunft

Inmitten der aktuellen Klimadiskussion über das Kyoto-Protokoll von 1997, seine Umsetzung (z.B. Berlin 1999, Rio de Janeiro 2000, Den Haag 2000) und eventuelle Folgen hinsichtlich der erwarteten globalen Klimaerwärmung, erscheint das Buch „**Klimafakten**" von BERNER & STREIF (2001). In diesem Buch werden Fragen der Ursachen und Prognosen von Klimaveränderungen sowie der Klimaentwicklung insgesamt behandelt und die bislang bekannten Fakten vorgestellt. Schon im Vorwort dieses Buches weisen die Autoren

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

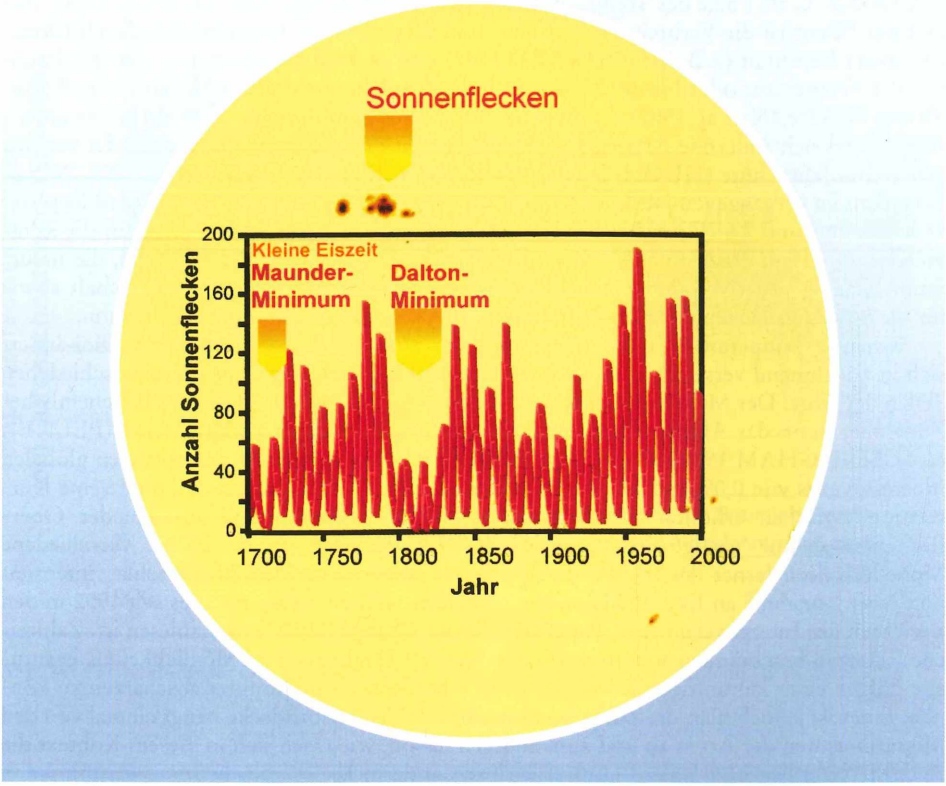


Abb. 20: Beobachtungen mit Teleskopen belegen zyklische Schwankungen der Anzahl von Sonnenflecken im Verlauf der letzten 300 Jahre. Immer wieder traten Abschnitte mit geringen Sonnenfleckenzahlen auf, wie z. B. das Maunder- und Dalton-Minimum (BERNER & STREIF 2001).

auf die derzeit so wichtige Problematik hin, dass nicht allen Bürgern und politischen Entscheidungsträgern die Grenzen der derzeit verfügbaren Klimamodelle, welche meist als Computersimulationen vorliegen, in ihren Dimensionen und in ihren Wirklichkeitsbezügen verständlich, nachvollziehbar und bewusst sind (vgl. auch REILLY et al. 2001, ALLEN et al. 2001). Es stellen sich folgende Fragen: Liegen wir in der Kohlendioxid-Diskussion richtig; ist das CO_2 ein quasi-finales Giftgas modernen Wirtschaftens? Wie forciert Wasserdampf, das wichtigste Treibhausgas überhaupt, unsere Klimaerwärmung?

Paläoklimaforscher diskutieren bislang ständig Zweifel an einem ausschließlich **anthropogenen Klimawandel**, stellen aber auch heraus, dass der Einfluss des modernen Menschen auf eine globale Erwärmung durch die Emission von Treibhausgasen nicht vollkommen auszuschließen ist. Es ist darüber hinaus schon lange bekannt, dass die Wissenschaftler mit geologischem und paläoökologischem Hintergrund bei der oftmals in den letzten Jahren prognostizierten Klimaentwicklung (Schlagworte „Global warming", „Klimakatastrophe") nach Extrapolationen von Daten seit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert eher zurückhaltend waren.

Es ist hinlänglich bekannt, dass der **Klimawandel in der Erdgeschichte** seit dem Präkambrium mit sich immer verändernden Klimazonen in globaler Sicht sowie mit immer wiederkehrenden Warm- und Kaltphasen offenbar eine Spielart einer gottgewollten Ordnung ist, der wir ungezählte **zyklische** oder **periodische Klimaveränderungen** mit wiederkehrenden Abkühlungen und Erwärmungen in manchen Regionen der Erde verdanken. So wissen

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

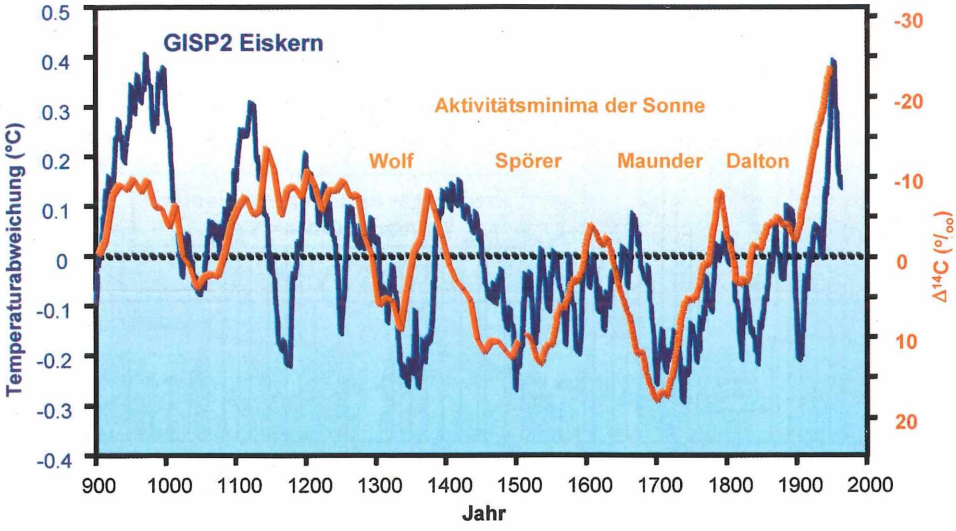


Abb. 21: Korrelation zwischen der rekonstruierten Temperaturkurve aus dem Grönlandeiskern und der Sonnenfleckenaktivität (nach BERNER & STREIF 2001).

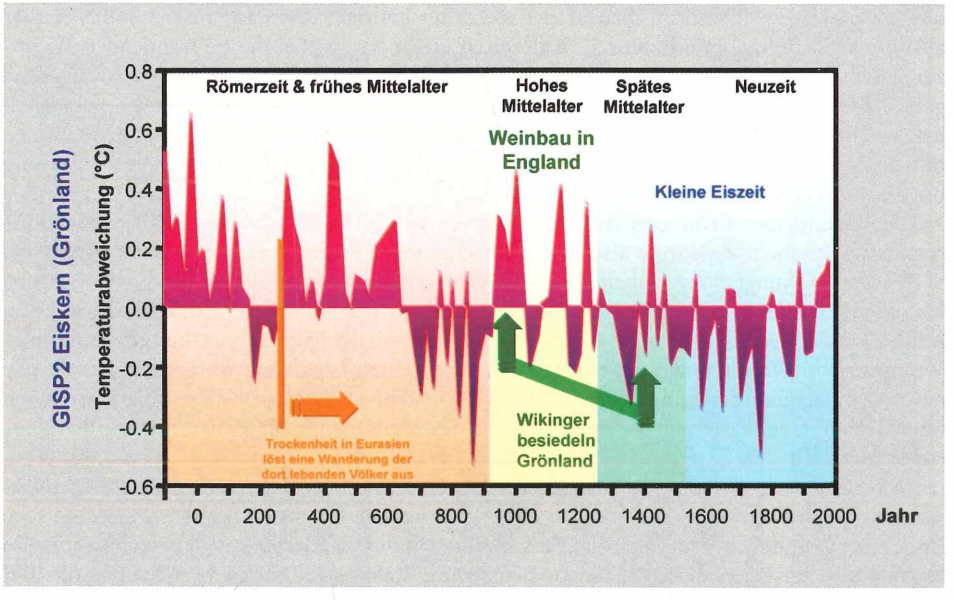


Abb. 22: Paläoökologische Rekonstruktion der Klima- und Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa auf der Basis der Korrelation zwischen der rekonstruierten Temperaturkurve aus dem Grönlandeiskern und der Sonnenfleckenaktivität (nach POTT & FREUND 2002).

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

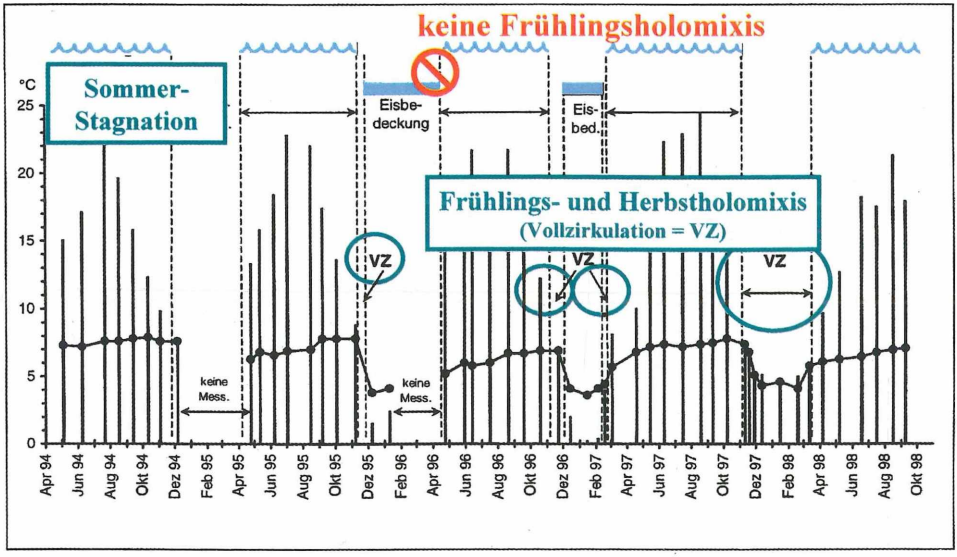


Abb. 24: Phasenwechsel von Stagnation und Zirkulation am Beispiel des „Großen Heiligen Meeres" nach einer Meßperiode von 4 Jahren. (ergänzt nach HAGEMANN et al. 2000).

wir heute durch die Anhäufungen zahlreicher Paläoklima-Proxydaten, dass sich die Erde seit etwa 2,6 Mio. Jahren im quartären Eiszeitalter befindet und dass unser Globus seither allein in dieser Phase mindestens 20 **Kaltzeiten** erlebt hat, wobei die sie trennenden Warmzeiten jeweils rund zehnmal kürzer waren als die Kaltzeiten. Selbst innerhalb der Kaltzeiten gab es **Zwischenwarmzeiten**, die das rauhe Klima kurzzeitig etwas freundlicher erschienen ließen. Diese Klimaschwankungen sind jedesmal deutlich in zahlreichen Pollendiagrammen mit entsprechenden Vegetationsschwankungen repräsentiert (s. neuere Zusammenfassung für das europäische Holozän bei POTT 2000a).

Die Grundlagen dafür sind mit den sogenannten „äußeren" und „inneren" Klimafaktoren zu beschreiben: die **Sonne als Klimafaktor** und ihre Rolle als „Energiefabrik" (Abb. 20, S. 28); die Wirkungen der globalen Land-Meer-Verteilung heute und in der Erdvergangenheit sowie die Verschiebung der Kontinente mit ihren Folgen für das Klima sind weiterhin fundamentale Bestandteile von Klimaänderungen. Solche Klimaschwankungen mit ihren Wechseln von Warm- und Kaltzeiten bilden somit einen besonders wertvollen Aspekt der neuen Klimafaktenforschung (Abb. 21, S. 29): wir kennen in groben Zügen die natürlichen klimatischen Grundphänomene und die Rolle des Menschen im Holozän für Nordwesteuropa (Abb. 22).

Aus historisch-globaler Sicht wissen wir ferner, dass die **Konzentration des Kohlendioxids** im Erdaltertum teilweise deutlich höher war als heute. Das trifft auch für geologische Epochen zu, in denen sich die großen Eisschilde von den Polen her ausbreiteten, so etwa im Karbon und im Perm. Darüber hinaus belegen die Rekonstruktionen von Temperatur und Kohlendioxid, dass atmosphärischer Kohlendioxidgehalt und Lufttemperatur über die letzten 570 Millionen Jahre hinweg nicht immer im Gleichschritt verliefen (BERNER 1999, WIGLEY 2000).

In Anbetracht der zunehmenden Erkenntnisse um die Bedeutung beispielsweise des **Wasserdampfes als Treibhausgas** kommt dem neu diskutierten Paradigmenwechsel von der Nutzung fossiler Energieträger zur künftigen Nutzung und Verwendung von Wasserstoff als vorherrschendes Brenngas eine besondere Bedeutung zu: Dabei sollte man auch die Erkenntnisse der Meteorologen nutzen, die vermuten, dass die Hälfte des heute freigesetzten

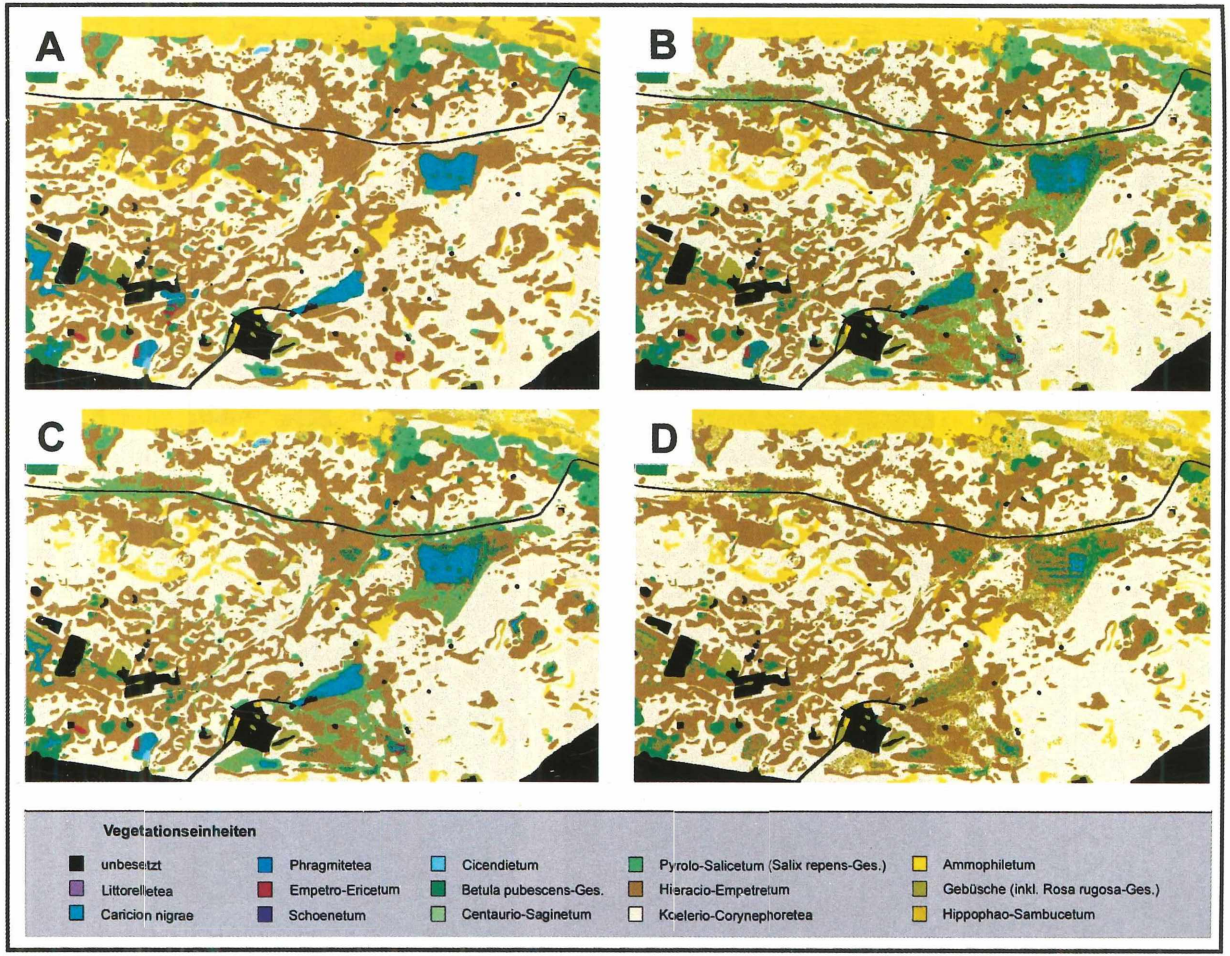


Abb. 26: Simulation der Vegetationsentwicklung des Ist-Zustandes (A) im Pirolatal auf Langeoog für ein Trockenereignis nach 15 (B), 20 (C) und 25 (D) Jahren (vgl. DAUCK 2001).

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

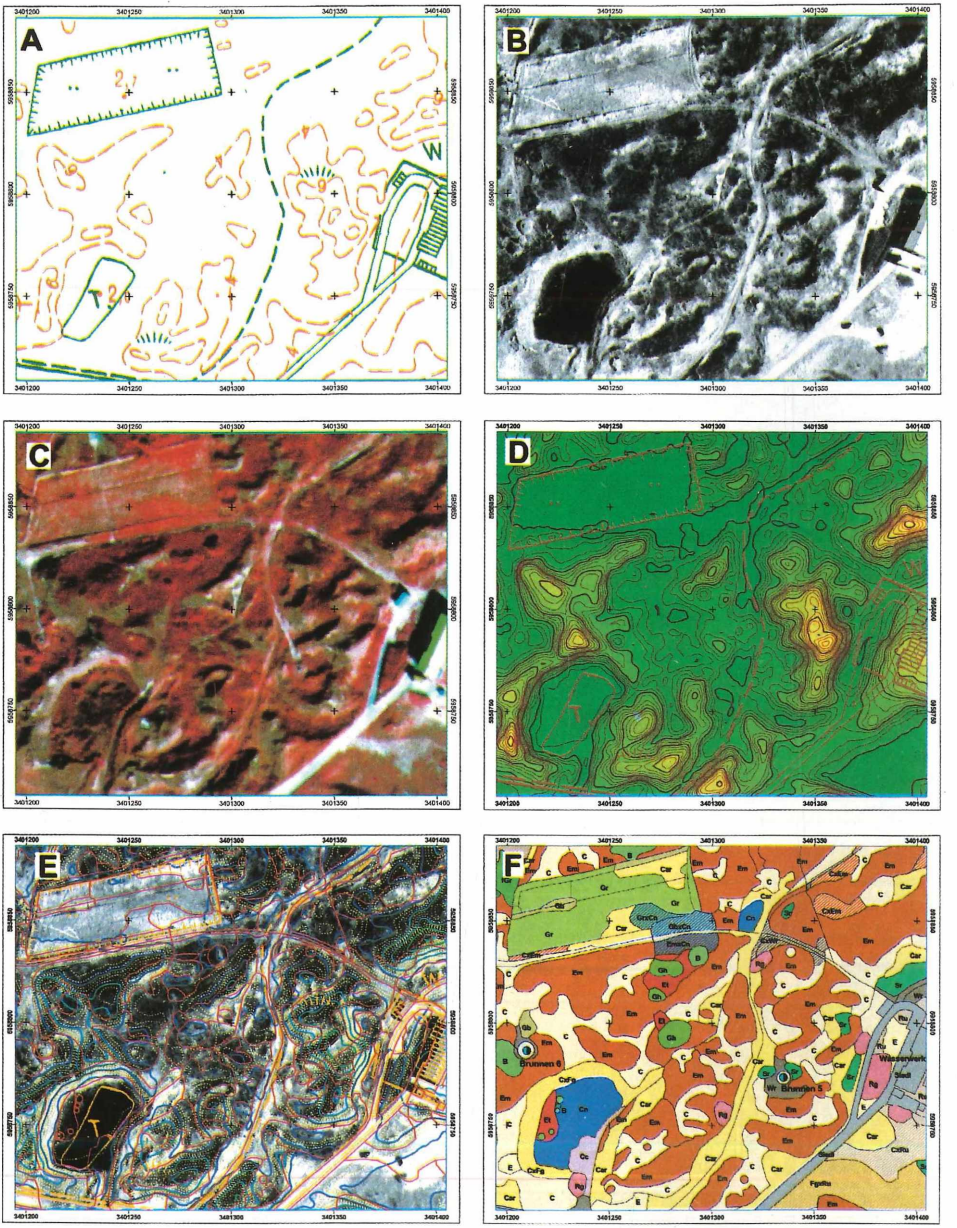


Abb. 27: Datengrundlage und Ergebnisse der Vegetationskartierung am Beispiel eines Detail-Bereiches vom Grundwasser-Einzugsgebiet der Insel Langeoog (A: Deutsche Grundkarte, B: Schwarz-Weiß-Luftbild, C: Color-Infrarot-Luftbild, D: Höhenmodell, E: Feldkarte und F: Vegetationskarte, nach PETERSEN et al. 2003).

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Wasserdampfes aus der in großen Höhen der Atmosphäre ablaufenden chemischen Umwandlung des Spurengases Methan stammt. Die Zunahme des Wasserdampfes hat heutzutage gleich zwei ungünstige Auswirkungen: zum einen begünstigt eine feuchte Atmosphäre in großen Höhen die Bildung von sogenannten Eiskristall-Wolken oder sogenannten polaren stratosphärischen Wolken. An den Eiskristallen laufen die chemischen Reaktionen ab, die zur Zerstörung der Ozonschicht führen. Nimmt der Wasserdampf also weiter zu, ist damit zu rechnen, dass sich das Ozonloch über der Antarktis und möglicherweise auch die Ozonverluste über der Nordhalbkugel trotz eingeleiteter Gegenmaßnahmen nicht wie erwünscht zurückbilden, sondern womöglich im Gegenteil bedrohlicher werden. Zum anderen absorbiert der zunehmende Wasserdampf mehr Wärme. Im Gesamtsystem der Atmosphäre ist also der **Wasserdampf** mit mehr als 66 Prozent ein entscheidender Faktor für die Speicherung von Wärmeenergie, gefolgt von **Kohlendioxid** mit rund 29 Prozent und den weiteren **Treibhausgasen** Stickoxide (0,14 %), FCKW (0,28 %), Methan (0,47 %) und übrigen Gasen mit einem Gesamtvolumen von etwa 5 Prozent. Welche Auswirkungen diese Phänomene in ihrem Zusammenwirken für die Pflanzen und die Vegetation insgesamt haben, wird zunehmend Bedeutung in der vegetationsökologischen Forschung erlangen.

So sollten wir vermehrt auch die paläoökologisch-vegetationsgeschichtlichen Ergebnisse und Daten mit den aktuellen Geländemessdaten verknüpfen, um gesicherte Modelle zu erarbeiten. Notwendig ist die Rekonstruktion der Klimavergangenheit mit Ausblicken in ein Zukunftsszenario: Wir stehen offenbar am Anfang einer außergewöhnlich langen Warmzeit. Sie ist durch die geringe Änderung der Sonneneinstrahlung in den nächsten 50 000 Jahren bedingt; vorprogrammiert durch die Konstellation zwischen Erde und Sonne. Die langfristigen, wiederkehrenden Änderungen der Sonneneinstrahlung im Rahmen von mehreren 10.000 Jahren wurden erstmals von M. MILANKOVITCH (1941) beschrieben. Solche **Milankovitch-Zyklen** lassen sich aus astronomischen Gesetzmäßigkeiten für Vergangenheit und Zukunft berechnen. Sie sind in hohen geographischen Breiten durch den Neigungswinkel der Erdrotationsachse gegenüber der Umlaufbahn der Erde um die Sonne (sogen. **Obliquität**) geprägt, während in niederen Breiten der Einfluß von den Änderungen des Ellipsenradius der Erdumlaufbahn um die Sonne (sogen. **Exzentrizität**) und der entsprechenden Strahlungsenergie durch den Abstand von Sonne und Erde überwiegt. So ist nach den derzeitigen astronomischen Modellen eine nächste starke Abkühlung des Klimas erst in ca. 50 000 Jahren zu erwarten. Ähnlich der „Achterbahnfahrt" des Klimas in der jüngsten Vergangenheit während der letzten Weichseleiszeit vor ca. 20 000 bis 10 000 Jahren vor heute bewegen wir uns dann auf eine neue Kaltzeit zu und zwar unabhängig davon, ob die Menschheit heute die Konzentration des Kohlendioxids in der Atmosphäre durch die Verbrennung von Erdöl, Erdgas und Kohle erhöht. Auch wenn der Kohlendioxid-Beitrag für die Klimaveränderungen weit schwächer sein sollte als oftmals befürchtet, so ist doch ein vernünftiger Umgang mit den Ressourcen der Erde unabdingbare Voraussetzung für den Erhalt einer gesunden Umwelt.

3. Anforderungen an die geobotanische Forschung im 21. Jahrhundert

Vor dem Hintergrund dieser aktuellen Umweltforschung stellt sich die Frage nach den Aspekten, welche eine moderne Vegetationskunde als solche denn erfüllen muss. Die vergangenen Jahrzehnte sind gekennzeichnet durch eine buchstäbliche Informations-Explosion in jeder Forschungsdisziplin (vgl. z.B. EDWARDS 2000). Die wissenschaftliche Forschungsgemeinschaft trägt zunehmend detailliertere und genauere Informationen der räumlichen Verbreitung und der zeitlich dynamischen Muster an physikalischen, biotischen und vom Menschen beeinflussten Variablen und Prozessen von lokaler bis globaler Skala zusammen. Mit dieser Datenfülle, aufbereitet und visualisiert durch **moderne Informationstechnologien,** wie z.B. **Geographischen Informationssysteme** (GIS), lassen sich Phänomene wie Verschiebungen der Meeresströmungen, verändernde Verbreitungsmuster der Vegetation im Zusammenhang mit der globalen Klimaänderung, saisonale und interannuelle Ände-

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

rungen der Produktivität terrestrischer und mariner Ökosysteme, sowie Veränderungen der Weltbevölkerung und die damit zusammenhängenden Auswirkungen auf die Lebensraumumwandlung und -fragmentierung aufzeigen.

Bis heute hat sich die geobotanische Forschung zu einem großen Teil auf die Verbreitung von Organismen auf der Erdoberfläche und während der Erdgeschichte konzentriert. Da gibt es aber auch eine Liste an Fragen, wie z. B.:

- Warum sind bestimmte Arten oder höhere taxonomische Einheiten auf ihr heutiges Verbreitungsgebiet beschränkt, und was hindert sie daran, andere Gebiete zu erschließen?
- Welche Rollen spielen Faktoren wie das Klima, die Topographie und Interaktionen mit anderen Organismen bei der Limitierung von Artarealen; wie haben historische Ereignisse diese Verbreitungsareale mitgeformt?
- Was sind die verantwortlichen Faktoren für die hohen Artenzahlen in den Tropen und Subtropen im Vergleich beispielsweise mit den arktischen Zonen?
- Wie verlief die Kolonisierung isolierter Inseln ab und warum weisen diese eine geringere Artenzahl auf als vergleichbare Lebensräume auf dem Festland?

Alles Fragen, die einfach zu stellen sind, aber nicht ganz so einfach zu beantworten. Es mangelt nach wie vor an grundlegenden Erkenntnissen, welche für die genaue Beschreibung ökosystemarer Prozesse in globalem, regionalem oder manchmal sogar lokalem Maßstab von Bedeutung sind. Doch Vorsicht ist besonders geboten, da viele bekannte Faktoren aus der Literatur heute leider allzu gern und schnell ignoriert werden und die besonders in der anglo-amerikanischen Welt verbreitete Meinung **„das Neue ist jeweils auch das Bessere"** nicht immer den echten wissenschaftlichen Fortschritt widerspiegelt. Dabei sitzen viele Fachvertreter verwandter Forschungsrichtungen durchaus im Glashaus; man denke an **„Waldsterben"**, **„Mosaik-Zyklus-Spekulation"**, **„Insel-Theorien"** und vieles mehr, wofür wir bislang noch keine verifizierenden Beispiele haben.

3.1. Das Skalenproblem geländewissenschaftlicher Forschung

Noch nie zuvor spielte die ökologische Forschung in der Bewältigung großer sozialer und ökonomischer Probleme auf dieser Erde eine so wichtige Rolle. In gleichem Maße aber, wie die Erkenntnis wuchs, dass die Ökologie einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung dieser Aufgaben leisten kann, stiegen auch die Anforderungen an die ökologische Grundlagenforschung. Vor diesem Hintergrund kann eine fundamentale Frage wie folgt formuliert werden: Sind wir aufgrund ökologischer Forschungsergebnisse wirklich in der Lage, zur Lösung der anstehenden Probleme einen echten Beitrag leisten zu können (EDWARDS et al. 1993)?

Von zentraler Bedeutung ist dabei das Problem einer angemessenen Skala, in welcher ökologische Forschung im allgemeinen und gerade die geobotanische Feldforschung im speziellen betrieben wird. TILMAN (1989) untersuchte Beiträge, welche in der Zeit zwischen 1977 und 1987 in der Zeitschrift ECOLOGY publiziert wurden. Insgesamt wurden 749 Studien analysiert, die sich hauptsächlich auf Ergebnisse aus Feldbeobachtungen oder Experimenten stützten. Er stellte fest, dass die Mehrheit der untersuchten Studien auf Kurzzeit-Beobachtungen oder Kurzzeit-Experimenten basierten, und die Häufigkeit der publizierten Angaben mit zunehmender Versuchsdauer abnahm (Abb. 23). 40 Prozent der untersuchten Arbeiten dauerten weniger als ein Jahr (in der Regel eine Feldsaison) und mehr als 80 Prozent drei oder weniger Feldsaisons. Der Anteil an Arbeiten mit einer Untersuchungsdauer von fünf oder mehr Feldsaisons lag unter 10 Prozent. Die Mehrheit der Studien die länger als zehn Jahre und alle Studien die länger als fünfzig Jahre dauerten, basierten auf Chronosequenzen oder paläoökologischen Rekonstruktionen und nicht auf Direktbeobachtungen.

In der Dynamik von Pflanzengesellschaften spielt die räumliche Dimension eine ebenso wichtige Rolle. Es überrascht nicht, dass ein ähnliches Bild aus der Untersuchung von KAREIVA & ANDERSON (1989) resultiert, welche die räumliche Skala von entsprechenden Arbeiten mit experimentell veränderten Ressourcen oder Populationen zum Inhalt haben, die zwischen 1980 und 1986 im selben Journal publiziert wurden. Beinahe ein Viertel aller Arbeiten bezog sich auf Flächen mit weniger als 0,25 m im Durchmesser; die Hälfte der

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Studien verwendete Untersuchungsflächen, die nicht mehr als 1 m Durchmesser aufwiesen. Die untersuchten Pflanzengesellschaften und Ökosysteme nehmen dagegen manchmal mehrere Hektar ein.

Diese Beispiele zeigen, dass die Mehrheit der ökologischen Studien der jüngeren Vergangenheit auf kurzzeitigen und kleinskaligen Untersuchungen basiert. Vielleicht ließen sich zu viele Wissenschafter dazu verleiten, Fragestellungen in kleinem Raum und kurzer Bearbeitungszeit zu definieren, anstatt adäquate Skalen der Versuchsanordnung festzulegen. Daraus lassen sich folgende Schlüsse für künftige vegetationsökologisch-geobotanische Forschungsprojekte ziehen:

- Oftmals wird eine lange Zeitreihe benötigt, um nachhaltige Veränderungen oder Trends in natürlichen Systemen zu erkennen. Sehr oft sind wir mit Prozessen konfrontiert, welche sich zwar ändern, bei denen aber die jährlichen Schwankungen größer sind als die Größenordnung des Trends. Gerade in solchen Beispielen sind langfristig angelegte Studien nötig, um einen langfristigen Trend vom „Hintergrundrauschen" unterscheiden zu können (FRANKLIN 1989, POTT 2000b und Abb. 24, S. 30).
- Resultate auch aus zwei- oder dreijährigen Studien oder sogar von fünf oder zehn Jahren können irreführend sein, wenn es darum geht, Kontinuitäten, Veränderungen oder Trends festzustellen (LIKENS 1989).

Auch in der Vegetationskunde haben wir es mit komplexen und dynamischen Objekten zu tun und es darf z.B. die Frage nach der Relevanz einer einzelnen Vegetationsaufnahme bezüglich ihrer längerfristigen Aussagekraft in den Raum gestellt werden. GASSMANN et al. (2000) betrachten Einzelaufnahmen als nicht mehr als ein Kalenderblatt, welches eine Momentaufnahme eines sich laufend verändernden Systems festhält.

3.2. Welche Konsequenzen sollen für zukünftige Aufgaben der modernen Vegetationskunde gezogen werden?

Die vergangenen Jahrzehnte haben eine Explosion an Information in jeder ökologischen Forschungsrichtung gebracht. Es ist jedoch fraglich, ob der Erkenntnisgewinn in gleichem Masse zugenommen hat wie die Anzahl publizierter Arbeiten. TILMAN (1989) ist überrascht von der Tatsache, dass Agronomen, die annuelle Pflanzen in Monokulturen untersuchen, mindestens zwei volle Lebenszyklen ihrer Versuchspflanzen dokumentieren müssen, damit die Resultate überhaupt publiziert werden können. Dahingegen werden in der Ökologie Beiträge zur Publikation eingereicht, die gerade mal auf einer dreimonatigen Felduntersuchung basieren, Organismen aber zum Inhalt haben, welche 100 und mehr Jahre alt werden können. Die Kurzfristigkeit derartiger ökologischer Feldforschung hat unsere bisherige Sicht der Zusammenhänge in der Natur geprägt. Wir brauchen ein stärkeres Gewicht auf Langzeitstudien, wenn wir die Gesetzmäßigkeiten in natürlichen Systemen verstehen wollen (s. Abb. 24).

Wir kennen die Natur als multikausales System, dessen Muster abhängig ist von:

- direkt wirkenden physikalischen Faktoren,
- intraspezifischen und interspezifischen biotischen Interaktionen
- sowie von indirekten und Rückkoppelungseffekten einer Art oder eines Elements des Systems auf andere.

Die Untersuchung zunehmend komplexer ökologischer Fragestellungen, welche viele wechselwirkende Faktoren miteinbezieht, erfordert den Einsatz entsprechender Methoden. Der Umgang mit nicht-linearen komplexen Systemen gewinnt zunehmend an Bedeutung und bringt neue Elemente mit sich, wie z.B. die zirkulare Kausalität; nicht nur in der Physik und Chemie, sondern auch in der Biologie und Vegetationskunde. Modelle auf der Basis sogenannter „zellulärer Automaten" sind nur ein vielversprechender Ansatz, der in diesem Kontext genannt werden soll (vgl. z.B. SILVERTOWN et al. 1992, BELDE & RICHTER 1997, WALTHER et al. 1999, GASSMANN et al. 2000, PETERSEN 2001, PETERSEN et al. 2001, WALTHER et al. 2002b).

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

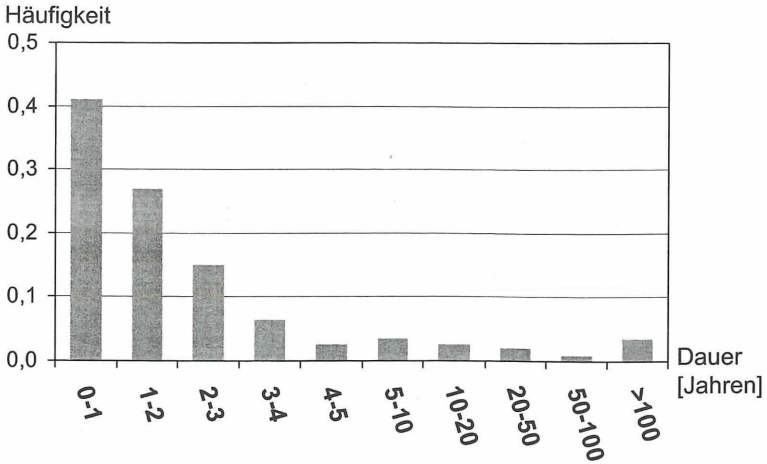


Abb. 23: Untersuchungsdauer von Feldstudien und Experimenten, die in der Zeit von 1977–1987 in der Zeitschrift ECOLOGY veröffentlicht wurden. Weniger als 40% der Untersuchungen erstrecken sich über eine Feldsaison, ca. 86% dauerten höchstens 3 Jahre und nur ca. 7% der Untersuchungen berücksichtigen eine Zeitspanne von mehr als fünf Jahren, wobei sich Aussagen über einen Zeitraum von 50–100 Jahren auf Chronosequenzen und paläoökologische Rekonstruktionen stützen (nach TILMAN 1989).

Als Beispiel sei die Anwendung eines Zellulären Automaten auf den Wattenmeer-Inseln aufgeführt. Hier wurde für das sich im zentralen Bereich der Trinkwassergewinnung befindende Pirolatal der Insel Langeoog ein räumliches Vegetationsmodell entwickelt, das die Auswirkungen zukünftiger Grundwasserbewirtschaftung auf die Vegetationsdynamik abschätzen soll. Für die Simulation der Vegetationsentwicklung in feuchten Dünentälern wurde ein Gitter aus quadratischen Rasterzellen verwendet. Jeder dieser Zellen ist ein Zustandsvektor zugeordnet worden, der die Vegetationseinheit und die fünf Standortfaktoren Bodenfeuchte, Bodenazidität, organische Substanz, Salinität und anthropo-zoogene Beeinträchtigung enthält (s. Abb. 25 u. PETERSEN et al. 2001). Die Informationen über die Zusammenhänge zwischen den Standortfaktoren und den Vegetationseinheiten stammen zum größten Teil aus PETERSEN (2000). Durch noch laufende Sensitivitätsanalysen und Validierungen soll versucht werden, die Systemparameter optimal einzustellen. Das Ziel ist es, durch das Vegetationsmodell die Auswirkungen von Änderungen des Grundwasserhaushalts auf die Vegetationsentwicklung in feuchten Dünentälern noch genauer zu prognostizieren. Abb. 26 (S. 31) zeigt die Simulation der Vegetationsentwicklung des Ist-Zustandes im Pirolatal für ein langjähriges Trockenereignis. Nicht nur für das Vegetationsmodell, sondern auch für das entwickelte Biomonitoring war eine hochauflösende und damit genaue Wiedergabe des Ist-Zustandes der Gebiete notwendig. Hierfür wurden EDV-gestützte Darstellungs- und Auswertetechniken mit traditioneller Kartiertechnik verknüpft (s. Abb. 27, S. 32, u. PETERSEN et al. 2003).

Diese Ausführungen zeigen, dass relativ einfache nicht-lineare Modelle in der Lage sind, komplexe dynamische Beziehungen wiederzugeben (s. z.B. MAY 1976, HASTINGS et al. 1993). Weitere Beispiele werden von KENKEL & WALKER (1996) für komplexe natürliche räumliche Muster und von ANAND & ORLÓCI (1997) für limitierte Vorhersehbarkeit zeitlich-räumlicher Dynamik in Pflanzengemeinschaften aufgeführt. Die Liste solcher Beispiele wird zunehmend länger (vgl. z.B. WALTHER et al. 2002b), was als Zeichen dafür gewertet werden kann, dass die Vegetationskunde in der Lage ist, unter Anwendung der zur Verfügung stehenden modernen Hilfsmittel, aktuelle Forschungsfragen zu behandeln, welche sich auch auf längere zeitliche und größere räumliche Räume beziehen und somit Probleme betreffen, deren Lösung im 21. Jahrhundert ansteht.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

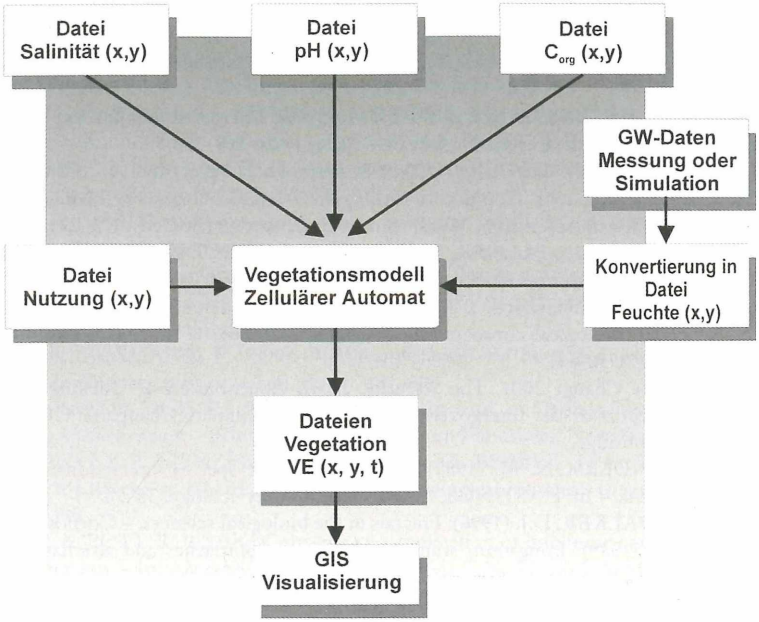


Abb. 25: Darstellung der Grundlagen eines Vegetationsmodells (Zellulärer Automat) bei einer Verknüpfung mit den Standortfaktoren Bodenfeuchte, Bodenazidität, organische Substanz, Salinität und anthropo-zoogene Beeinträchtigung (nach PETERSEN et al. 2001).

Literatur

ALLEN, M., RAPER, S. & MITCHELL, J. (2001): Uncertainty in the IPCC's Third Assessment Report. – Science 293: 430–433.

AMANN, R (1999): Biodiversität ohne Mikrobiologie? – vdbiol. 1/99: 5–6. München

ANAND, M. & ORLÓCI, L. (1997): Chaotic dynamics in a multispecies community. – Environ. Ecol. Stat. 4: 337–344.

BARTHLOTT, W., LAUER, W. & PLACKE, A. (1996): Global distribution of species diversity in vascular plants: towards a world map of phytodiversity. – Erdkunde 50/4: 317–327.

BELDE, M. & RICHTER, O. (1997): Zellulärer Automat zur Simulation der Sukzession auf Niedermoorstandorten bei unterschiedlichen Managementmaßnahmen. – Verh. Ges. Ökol. 27: 189–198.

BERNER, U. (1999): Kohlendioxid und Kohlenstoffkreislauf: Variationen vom Erdaltertum bis heute. – Terra Nostra 5, 99: 10–12.

BERNER, U. & STREIF, H. (Hrsg.) (2001): Klimafakten. Der Rückblick -ein Schlüssel für die Zukunft. – 1. u. 2. Aufl., Stuttgart: 238 S.

CARRARO, G., KLÖTZLI, F., WALTHER, G.-R., GIANONI, P. & MOSSI, R. (1999): Observed changes in vegetation in relation to climate warming. – Final report NRP 31. vdf Hochschulverlag, Zürich.

DAUCK, H.-P. (2001): Vegetationskundliche und geoökologische Untersuchungen der grundwasserbewirtschafteten Dünen auf Langeoog – eine GIS-gestützte Auswertung und Modellanalyse. – Diplomarbeit, Institut für Geographie und Geoökologie der TU Braunschweig: 198 S.

EDWARDS, P.J. (2000): Preface to the Bulletin of the Geobotanical Institute ETH. – Bull. Geobot. Inst. ETH 66: 1.

–, MAY, R.M. & WEBB, N.R. (eds.) (1993): Large-scale ecology and conservation biology. – Blackwell, Oxford.

FRANKLIN, J.F. (1989): Importance and justification of long-term studies in ecology. – In: LIKENS, G.E. (ed.): Long-term studies in ecology: 3–19.

FUCHS, D. & BAEHR, M. (1998): Australien–Natur–Reiseführer. – Kosmos-Stuttgart: 287 S.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

GASSMANN, F., KLÖTZLI, F. & WALTHER, G.-R. (2000): Simulation of observed types of dynamics of plants and plant communities. – J. Veg. Sci. 11(3): 397–408.
GRABHERR, G., GOTTFRIED, M. & PAULI, H. (1994): Climate effects an mountain plants. – Nature 369: 448.
GREVEMEYER, R., HERBER, R. & ESSEN, H.-H. (2000): Microseismological evidence for a changing wave climate in the northeast Atlantic Ocean. – Nature 408: 349–352.
HAGEMANN, B., POTT, R. & PUST, J. (2000): Bedeutung der Vegetation für Stillwasser-Ökosysteme, Trophiedifferenzierung und Trophieentwicklung im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer" (Kreis Steinfurt, Nordrhein-Westfalen). – Abh. Westf. Mus. Naturkunde 62 (Beiheft): 173–271. Münster
HASTINGS, A., HOM, C.L., ELLNER, S., TURCHIN, P. & GODFRAY, H.C.J. (1993): Chaos in ecology: Is mother nature a strange attractor? – Annu. Rev. Ecol. Syst. 24: 1–33.
HOBOHM, C. (2000): Biodiversität. – UTB, Quelle & Meyer, Heidelberg: 2145.
HUGHES, L. (2000): Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? – Trends Ecol. Evol. 15(2): 56–61.
IPCC (2001): Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – Cambridge University Press, Cambridge.
KAREIVA, P. & ANDERSON, M. (1989): Spatial aspects of species interactions: the wedding of models and experiments. – In: HASTINGS, A. (ed.): Community ecology: 35–50.
KENKEL, N.C. & WALKER, D.J. (1996): Fractals in the biological sciences. – Coenoses 11: 77–100.
LIKENS, G.E. (ed.) (1989): Long-term studies in ecology. Approaches and alternatives. – Springer, New York.
MAY, R.M. (1976): Simple mathematical models with very complicated dynamics. – Nature 261: 459–467.
MCCARTY, J.P. (2001): Ecological consequences of recent climate change. – Conserv. Biol. 15(2): 320–331.
MILANKOVITCH, M.M. (1941): Canon of insolation and the ice-age problem. – Königl. Serbische Akademie Beogard. Publ. US-Department of Commerce and the National Science Foundation Washington DC (1969).
MC NEELY, J.A., GADGIL, M., LEVEQUE, C., PADOCH, C. & REDFORD, K. (1995): Human influences an biodiversity. – In: HEYWOOD, V.H. & WATSON, R.T. (eds.): Global Biodiversity Assessment: 711–821.
PELTIER, W. & TUSHINGHAM, M. (1989): Global sea level rise and the greenhouse effect: Might they be connected? – Science 244: 807.
PETERS, M & POTT, R. (1999): Natur und Tourismus auf Norderney. – Abhandl. Westf. Mus. Naturkunde 61, Beiheft, 174 S. Münster.
PETERSEN, J. (2000): Die Dünentalvegetation der Wattenmeer-Inseln in der südlichen Nordsee. Eine pflanzensoziologische und ökologische Vergleichsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzung und Naturschutz. – Husum: 336 S.
– (2001): Die Vegetation der Wattenmeer-Inseln im raum-zeitlichen Wandel; ein Beispiel für den Einsatz moderner vegetationsanalytischer Methoden. – Ber. Reinh. Tüxen-Ges. 13: 139–155. Hannover.
–, POTT, R. & RICHTER, O. (2001): Dünentäler – ein gefährdeter Lebensraum im Interessenkonflikt zwischen Naturschutz und Grundwasserbewirtschaftung. – Zbl. Geol. Paläont. Teil 1, Heft 1/2. 1–18.
–, POTT, R., DAUCK, H.-P. & HAHN, D. (2003): Vegetation und Grundwasser. – In: Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste (im Druck).
POTT, R. (1995): Farbatlas Nordseeküste und Nordseeinseln; Ausgewählte Beispiele aus der südlichen Nordsee in geobotanischer Sicht. – Verlag E. Ulmer, Stuttgart: 287 S.
– (2000a): Palaeoclimate and vegetation – long-term vegetation dynamics in central Europe with particular reference to beech. – Phytocoenologia 30(3–4): 285–333. Berlin, Stuttgart.
– (2000b): Ökosystemanalyse des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer" (Kreis Steinfurt) – Interaktionen zwischen Still- und Fließgewässern, Grundwasser und Vegetation sowie Landnutzung und Naturschutz. – Abh. Westf. Mus. Naturk. 62, Beiheft. Münster: 397 S.
– (2001): Quo vadis – Vegetationskunde? Ein Rückblick auf die Plenardiskussion anlässlich der Jahrestagung der RTG am 8. April 2001 in Wien. – Ber. Reinh.-Tüxen-Ges. 13: 213–215. Hannover.
– & FREUND, H. (2002): Genese der Kulturlandschaften in Mitteleuropa. – Nova Acta Leopoldina, N.F. 87, Nr. 328 (im Druck), Halle.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

–, HÜPPE, J. & WILDPRET DE LA TORRE, W. (2003): Die Kanarischen Inseln – Natur und Kulturlandschaften. – Verlag E. Ulmer, Stuttgart (im Druck).
REILLY, J., STONE, P.H., FOREST, C.E., WEBSTER, M.D., JACOBY, H.D. & PRINN, R.G. (2001): Uncertainty and Climate Change Assessments. – Science 293: 430–433.
SILVERTOWN, J., HOLTIER, S., JOHNSON, J. & DALE, P. (1992): Cellular automaton models of interspecific competition for space – the effect of pattern and process. – J. Ecol. 80: 527–534.
TILMAN, D. (1989): Ecological experimentation: strengths and conceptional problems. – In: LIKENS, G.E. (ed.): Long-term studies in ecology: 136–157.
WALTHER, G.-R. (1999) Distribution and limits of evergreen broad-leaved (laurophyllous) species in Switzerland. – Bot. Helv. 109(2): 153–167.
– (2000): Climatic forcing on the dispersal of exotic species. – Phytocoenologia 30(3–4): 409–430.
– (2002): Weakening of climatic constraints with global warming and its consequences for evergreen broad-leaved species. – Folia Geobot. 37: 129–139.
–, KLÖTZLI, F. & GASSMANN, F. (1999): On the application of Chaos theory to analyse fluctuations in wet meadows: preliminary results. – Ann. Bot. 57: 31–40.
–, BURGA, C.A. & EDWARDS, P.J. (eds.) (2001): „Fingerprints" of Climate Change – Adapted behaviour and shifting species ranges. – Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
–, POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T.J.C., FROMENTIN, J.M., HOEGH-GULDBERG, O. & BAIRLEIN, F. (2002a): Ecological responses to recent climate change. – Nature 416: 389–395.
–, PETERSEN, J. & POTT, R. (2002b): Concepts and application of nonlinear complex systems theory to ecological succession. – In: AMBASHT, R. S. & AMBASHT, N. K. (eds.): Modern trends in Applied Terrestrial Ecology. – Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York (in press).
WATSON, R.T., ZINYOWERA, M.C. & MOSS, R.H. (eds.) (1997): The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability. A Special Report of IPCC Working group II. – Cambridge University Press, Cambridge.
WIGLEY, T.M.L. (2000): The science of climate change – global and US perspectives. – PEW Center for Climate Change. Goddard Inst. For Space Studies, New Hampshire: 51 S.
WILSON, E.O. (1992): The diversity of life. – 1. Ed., Penguin Press, London: 406 S.
– (1994): The diversity of life. – 2. Ed., Penguin Press, London.
WOODWARD, F. I. (1987): Climate and plant distribution. – Cambridge University Press, London.
WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI) (2000): World Resources 2000–2001. People and Ecosystems: The Fraying Web of Life. – WRI, Washington.
ZWIERS, F. W. (2002): The 20-year forecast. – Nature 416: 690–691.

Univ.-Professor Dr. Richard Pott
PD Dr. Holger Freund
Dr. Jörg Petersen
Dr. Gian-Reto Walther
Institut für Geobotanik Universität Hannover
Nienburger Str. 17
D-30167 Hannover
Tel.: +49 (0)511 – 762 3632
Fax: +49 (0)511 – 762 3633
e-mail: pott@geobotanik.uni-hannover.de
URL: www.unics.uni-hannover.de/Geobotanik

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Tuexenia - Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft

Jahr/Year: 2003

Band/Volume: NS_23

Autor(en)/Author(s): Pott Richard, Freund Holger, Petersen Jörg, Walther Gian-Reto

Artikel/Article: Aktuelle Aspekte der Vegetationskunde 11-39