

Vorschlag für ein Nationales Forschungsprogramm:

## Umgang mit dem Klimawandel – Landnutzung im Spannungsfeld von Ressourcenschutz, Nahrungs- und Energienachfrage

beschlossen vom Nationalen Komitee für Global Change Forschung (NKGCF) in seiner 44. Sitzung am 28.04.2008.

Das Nationale Komitee für Global Change Forschung empfiehlt, umgehend ein substantielles nationales Forschungsprogramm zum Thema „*Umgang mit dem Klimawandel – Landnutzung im Spannungsfeld von Ressourcenschutz, Nahrungs- und Energienachfrage*“ aufzulegen.

Das Programm soll die vorhandenen Kompetenzen der Universitäten und der außeruniversitären Forschungsorganisationen auf diesem Gebiet bündeln und die notwendige Grundlagenforschung mit der angewandten Forschung verbinden. Ziel ist die Entwicklung von Handlungsstrategien für eine gezielte Gestaltung der Landnutzung zur Vermeidung von Ursachen und zur Anpassung an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels. Der Vorschlag richtet sich an die nationalen Forschungsförderer DFG und BMBF.

Grundlagen für diese breit abgestimmte Empfehlung sind der Vorschlag des NKGCF für eine nationale Forschungsinitiative zum Klimawandel (30.3.2007), die weiter ausgearbeiteten Vorschläge für ein nationales Forschungsprogramm (25.05.2007, 17.01.2008), die breite Diskussion dieses Vorschlags mit den Senatskommissionen der DFG für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung, Agrarwissenschaften und Wasserforschung sowie die Ergebnisse der Diskussionen mit Vertretern der relevanten wissenschaftlichen Disziplinen im Rahmen des vom NKGCF durchgeführten Nationalen Kolloquiums zu diesem Thema am 3. und 4. April 2008 in Bad Honnef.

### 1. ZIELE DES NATIONALEN FORSCHUNGSPROGRAMMS

Die Nutzung der begrenzten Landoberfläche der Erde findet im Spannungsfeld zwischen den Nutzungspolen Nahrungsmittelproduktion, Energieversorgung, urbanem Lebensraum und ökosystemaren Dienstleistungen statt (Abbildung 1).

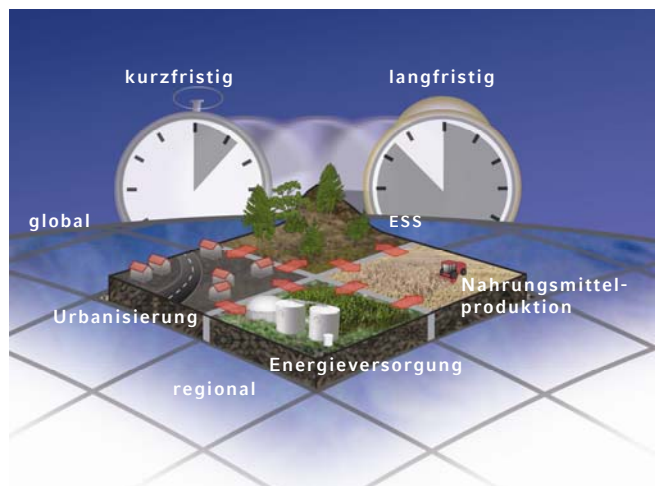


Abb. 1: Landnutzung im Spannungsfeld von Nahrungsmittelproduktion, Energieversorgung (Erneuerbare Energien), urbanem Lebensraum und ökosystemaren Dienstleistungen (ESS) in räumlicher und zeitlicher Abhängigkeit.

Der globale Klimawandel wird die natürlichen Rahmenbedingungen, denen Landnutzungsentscheidungen zugrunde liegen, regional verändern. Schon heute besteht darüber hinaus eine enge Wechselbeziehung zwischen globalen Faktoren (wie Globalisierung der wirtschaftlichen Aktivitäten und Integration der Märkte durch Welthandel) und regionalen Faktoren (wie Verfügbarkeit von Landoberfläche, Human- und Naturressourcen und Bevölkerungsentwicklung).

Das Spannungsfeld besteht bei Landnutzungsentscheidungen sowohl auf der kurzfristigen wie langfristigen Zeitskala auf der regionalen Ebene. Dort werden Landnutzungsentscheidungen gefällt. Regionale Landnutzungsentscheidungen werden aber durch globale Faktoren, wie Klimawandel und Welthandel stark beeinflusst und wirken in ihrer Summe auf den Klimawandel und die gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung zurück.

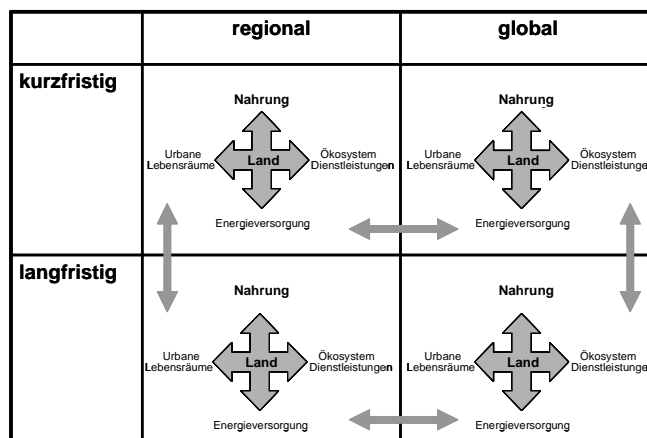


Abb. 2: Aspekte der Nutzung der Landoberfläche im Spannungsfeld zwischen Nutzungspolen Nahrung- und Energieversorgung, urbanen Lebensräumen und ökosystemaren Dienstleistungen.

Die kurzfristige Zeitskala (etwa 20 Jahre) beschreibt Herausforderungen wie beispielsweise die Entwicklung einer Strategie zur bestmöglichen Umsetzung politischer Beschlüsse der EU zur Klimapolitik, der 20-20-20-10-Ziele. Unter Berücksichtigung der langfristigen Zeitskala (50-100 Jahre) sollen grundsätzlichere, normative Fragen, wie z.B. zu der für die Erreichung bestimmter Nachhaltigkeitsziele bestmöglichen zukünftigen Landnutzung, in ausgewählten Regionen untersucht werden.

Das vom NKGCF vorgeschlagene Forschungsprogramm zielt darauf ab, Strategien zum Umgang mit dem Klimawandel speziell durch die gezielte Gestaltung der Landnutzung und der im Zusammenhang mit ihr auf der festen Erdoberfläche ablaufenden Prozesse (Stoff- und Energieflüsse und der aus den Wechselwirkungen der belebten und unbelebten Umwelt hervorgehenden ökosystemaren Dienstleistungen) zu entwickeln und zu validieren. Dabei sollen globale wie regionale Aspekte auf der kurzfristigen wie langfristigen Zeitskala untersucht werden. Es sollen integrative Ansätze unter Einbeziehung der relevanten wissenschaftlichen Disziplinen und unter Berücksichtigung der Beteiligten und Betroffenen geschaffen, weiterentwickelt und genutzt werden. Die wesentlichen Fragen angewandter Grundlagenforschung zielen auf die (i) Ver-

besserung des Systemverständnisses der natürlichen und gesellschaftlichen Prozesse und die (ii) Wechselwirkungen im Zusammenhang mit Landbedeckung und -nutzung auf der Basis integrativer Untersuchungen ab. Angewandte Forschungs- und Entwicklungsaufgaben bestehen in der Identifikation und systematischen Untersuchung von Handlungsoptionen (gesellschaftlich, technologisch, ökonomisch, ökologisch). Sie nutzen die aus der Integration entstandenen Erkenntnisgewinne zur Gestaltung einer gezielten nachhaltigen Landnutzung. Es wird erwartet, dass sie für unterschiedliche regionale Gegebenheiten eine effektive und effiziente Vermeidung der Ursachen und Anpassung an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels in Untersuchungsgebieten regionalen Zuschnitts identifizieren.

## 2. RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DAS NATIONALE FORSCHUNGSPROGRAMM

Die Landoberfläche nimmt ein Drittel der Erde ein. Sie ist an allen wichtigen Energie- und Stoffkreisläufen im Erdsystem zentral beteiligt. Die biotischen und abiotischen Prozesse und natürlichen Stoffkreisläufe auf der Erdoberfläche tragen wesentlich zur Stabilität des Erdsystems und zur Erhaltung der Lebensgrundlagen auf der Erde bei. Die Landoberfläche stellt darüber hinaus für den Menschen den primären Lebens- und Gestaltungsraum dar. Der Mensch hat in seiner bisherigen Entwicklung seine Lebensgrundlagen in Form von Nahrung, Naturressourcen und Rohstoffen primär von der Landoberfläche bezogen. Sie stellt eine essentielle Grundlage für die Nahrungsmittelproduktion und die Wasserversorgung dar, dient aber auch als Siedlungs- und Verkehrsfläche sowie zur Entsorgung von Abfällen.

Der Mensch hat in den letzten 300 Jahren, vorwiegend aber im 20. Jahrhundert, den größten verfügbaren Teil der Landoberfläche durch die Produktion von Nahrungsmitteln, Energie und die Nutzung als Siedlungsfläche bereits in Wert gesetzt. Die damit einhergehende Veränderung der Landnutzung geschieht heute vorwiegend durch dezentrale, in der Regel einzelwirtschaftlich bestimmte Entscheidungen einer Vielzahl von Akteuren. Weltweit werden durch die Ausbreitung landwirtschaftlicher Nutzflächen und durch Desertifikation naturbelassene Ökosysteme zurückgedrängt. Die Ausbreitung von Siedlungsflächen geht wiederum größtenteils auf Kosten der agrarwirtschaftlich nutzbaren Landfläche. Die entscheidenden Einflussfaktoren für diese Umgestaltung waren bisher der Anstieg der Bevölkerung, die Industrialisierung sowie die damit einhergehenden Veränderung der Lebensstile und Konsumgewohnheiten.

Im Zuge der beschriebenen Landnutzungsdynamik werden wichtige Stoffkreisläufe des Erdsystems, wie Wasser-, Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorkreislauf, zum Zweck der Erhöhung der Produktivität inzwischen von Menschen dominiert. Der globale Wasser- und Kohlenstoffkreislauf wird bereits zu über 50%, der Stickstoffkreislauf zu ca. 80% und der Phosphorkreislauf zu über 95% durch den Menschen bestimmt. Die mit Hilfe dieser Kreisläufe erzeugten Nahrungsmittel unterliegen einem stark wachsenden internationalen Handel, der u. a. dazu führt, dass auch in Regionen mit eingeschränktem Potential zur Nahrungsmittelproduktion, wie z.B. in Trockenregionen, die Bevölkerungsdichte stark ansteigt. Pflanzliche Agrarerzeugnisse werden in den hoch entwickelten Regionen Europas in steigendem Maß als erneuerbare Energieträger sowie, um die hohe Nachfrage nach tierischen Nahrungsmitteln zu befriedigen, als Futtermittel genutzt. So nutzt z.B. Deutschland heute schon die zweifache Fläche seines Staatsgebiets zur Deckung des nationalen Bedarfs an pflanzlicher und vor allem tierischer Nahrung. Um die Ansprüche der herrschenden Ernährungsgewohnheiten zu decken, werden daher Futtermittel im großen Umfang importiert. Diese Beanspruchung der Landressourcen sowie der Verbrauch der Naturressourcen der Exportländer (bzw. die mit ihrer Produktion einhergehende eventuelle Schädigung der Ökosysteme) ist in den Preisen der Handelswaren nicht enthalten. Die Dienstleistungen der Landoberfläche, zu denen neben der Erzeu-

gung von Nahrungs- und Futtermitteln sowie von Energie u. a. auch die Klärung des Wassers, die Stabilisierung des Lebens durch biologische Vielfalt und die Regulierung des globalen und regionalen Klimas gehören, stehen damit auf einer nicht vermehrbaren Landoberfläche in immer größerer Konkurrenz zum Flächenbedarf des Menschen.

Die Globalisierung der Weltwirtschaft hat die Veränderung der Landnutzung beschleunigt und die Nutzung der Naturressourcen intensiviert. Die Weltmärkte haben dies transparent gemacht und durch den Anstieg der Preise für Rohstoffe und Nahrungsmittel die zunehmende Knappheit von Naturressourcen nachdrücklich dokumentiert. Die Wechselbeziehung zwischen globalen (Weltmärkte und Welthandel) und regionalen Faktoren (Verfügbarkeit von Landoberfläche, Naturressourcen und Bevölkerungsentwicklung) hat im Zuge der Globalisierung stark zugenommen. Für die Zukunft fehlt eine begründete Vorstellung darüber, wie die praktisch nicht vermehrbare Landoberfläche natürliche Ressourcen und ökosystemare Dienstleistungen für eine weiter steigende Bevölkerung mit steigendem Einkommen und ressourcenintensiven Lebensstilen nachhaltig bereitstellen kann.

Die durch Bevölkerungsanstieg und Wirtschaftswachstum entstehende Verknappung der Naturressourcen wird durch den anthropogen verursachten Klimawandel verstärkt, der das Nutzungspotential der Landoberfläche regional verändern wird und gleichzeitig Anpassungsprozesse sowie Emissionsvermeidungsmaßnahmen verlangt. Diese erfordern ihrerseits verstärkt Leistungen von der Landoberfläche. Wie schon bei den heute wirkenden Einflussfaktoren für Landnutzungsänderungen beobachtet, spielt auch hier die global-regionale Wechselbeziehung eine große Rolle. Es besteht ein hochkomplexer Stoffaustausch zwischen Atmosphäre und Landoberfläche, die dabei sowohl die Funktion einer Stoffquelle als auch einer Stoffsenke einnehmen kann. Der einsetzende Klimawandel wird zu einem beachtlichen Teil gerade durch die Umgestaltung der Landoberfläche und die dabei emittierten Treibhausgase verursacht.

Neben den Veränderungen der Kohlenstoffquellen und -senken durch Landnutzung wird vor allem die Hydrosphäre beeinflusst. Veränderte Verdunstung, Übernutzung und Verschmutzung wirken sich massiv auf den Wasserkreislauf aus und gefährden seine Funktionsfähigkeit. Die Biodiversität wird primär durch Landnutzungsänderungen reduziert. Es ist damit sicher, dass die bereits heute spürbaren Folgen des Klimawandels zusammen mit der weiter anwachsenden Erdbevölkerung und der weltweit gestiegenen Ressourcennachfrage zu einer weiteren Belastung der globalen Landressourcen führen müssen. Dies wird vor allem in den sich entwickelnden Regionen der Erde sichtbar werden.

Die regionalen Unterschiede in der Intensität der Flächennutzung sowie der Effizienz im Einsatz der Naturressourcen sind sehr groß. So wird z.B. in Italien die dreifache Menge an Niederschlagswasser verbraucht als in Holland um ein Kilogramm Weizenmehl zu produzieren. In Mexiko ist für die Erzeugung eines Kilogramms Rindfleisch dreimal so viel Niederschlagswasser nötig als in Japan. Diese Unterschiede deuten auf die Existenz großes Potential für Effizienzsteigerungen im Umgang mit Naturressourcen. Neben den intensiv genutzten Räumen in den aufstrebenden Ländern Ost- und Südasiens, wie China und Indien, sowie den Ländern Europas und Nordamerikas, in denen so gut wie jede geeignete Fläche auch intensiv genutzt wird, existieren heute noch Regionen, in denen der Einfluss des Menschen gering ist. Zu ihnen zählen neben den großen Permafrostregionen in Asien und Nordamerika und den Vollwüsten, Teile des Amazonas- und des Kongobeckens sowie Teile von Subsahara-Afrika. Die bestimmenden Faktoren für die Intensität der Nutzung sind dort die Verfügbarkeit von Naturressourcen und die Bevölkerungsdichte.

Der globale Temperaturanstieg wird die bisher als gegeben angenommene regionale Verteilung der Nutzungspotentiale auf der Landoberfläche verändern. So sagen die verfügbaren Klimaszenarien voraus, dass in Regionen mit geringem Niederschlag sich dieser

weiter reduziert, während in Regionen mit hohen Niederschlagsmengen dieser erhalten bleibt oder sich sogar erhöhen wird. Der Temperaturanstieg wird auch in bisher für die menschliche Nutzung kaum geeigneten Räumen, wie z.B. den borealen Nadelwaldregionen und Permafrostregionen, in steigendem Maß neue Nutzungspotentiale erschließen. In anderen Regionen, wie dem Mittelmeerraum, werden sich dagegen die Nutzungspotentiale reduzieren.

Aufgrund des voraussichtlichen Bevölkerungswachstums von 3 Milliarden Menschen bis zum Jahr 2050 werden zusätzlich benötigte Wohn- und Verkehrsflächen von insgesamt 120 Millionen Hektar vorausgesagt (unter der Annahme von 0.025 ha/Mensch). Diese Siedlungsfläche entspricht etwa dem Zweifachen der heutigen Agrarfläche der EU. Die bis 2050 weltweit hinzukommenden Automobile werden nach ähnlicher Abschätzung weitere 60 Millionen Hektar an Stell- und Fahrflächen beanspruchen. Vor dem Hintergrund dieser Größenordnungen ist das neben den Ertragssteigerungen in der Vergangenheit immer als probat angesehene Mittel, nämlich die Erweiterung der weltweiten Anbauflächen zur Ausdehnung der Nahrungsmittelproduktion und zur Einführung der Produktion von erneuerbarer Energien kritisch auf sein Potential hin zu untersuchen.

Hinsichtlich der regionalspezifischen Nutzungsanpassung der Naturressourcen der Landoberfläche an den Klimawandel und an die Entwicklung der Gesellschaft ist über alle bereits dargestellte Fragenkomplexe hinaus das Ziel der Nachhaltigkeit nicht aus den Augen zu verlieren. Dies ist in der heute gängigen Praxis noch kein vordringliches Ziel von Landnutzungsentscheidungen. Nicht zuletzt zeigen die Ergebnisse des Millennium Ecosystem Assessments 2000, dass Nachhaltigkeit eine Grundvoraussetzung für die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit des Lebenserhaltungssystems der Erde und der auch für den Menschen essenziellen ökosystemaren Dienstleistungen des Erdsystems darstellt. Will man unter den bereits genannten Randbedingungen der Flächen- und Ressourcenknappheit sowie des Klimawandels das Ziel der Nachhaltigkeit erreichen, muss die zukünftige Gestaltung der Landnutzung deshalb als zielgerichtete Veränderung von Landoberflächenprozessen verstanden werden.

Gerade die Entwicklung der politischen Diskussion zur notwendigen Anpassung der Energiesysteme hin zu einer nachhaltigen Versorgung mit Energie, hat den Optionen, die die Landoberfläche dabei bietet, neue Bedeutung verliehen. Die im letzten Jahr beschlossenen politischen Vorgaben der EU zur verstärkten Nutzung biogener Energieträger im Rahmen der Renewable Energy Roadmap hat im Zusammenhang mit der steigenden Nachfrage nach Nahrungsmitteln eine intensive Diskussion ausgelöst, bis zu welchem Grad es möglich ist, nachwachsende Rohstoffe für die Energieversorgung zu nutzen. Den damit einhergehenden Potentialen zur Emissionsreduzierung stehen die Flächenkonkurrenz von Energiepflanzen und Nahrungsmitteln sowie die Frage nach der Nachhaltigkeit der Produktionsweisen (Palmöl, Soja oder Zuckerrohr) entgegen. Eindeutige Aussagen darüber, wie die politischen Vorgaben effizient und effektiv erreicht werden können, sind sowohl aus regionaler Sicht wie auch aus globaler Sicht mit dem heutigen Wissensstand nicht zu treffen. Daraus ergeben sich wichtige Forschungsfragen für das vorgeschlagene Nationale Forschungsprogramm, die mit den notwendigen Untersuchungen zu den längerfristigen Zeitskalen in geeigneter Weise verbunden werden müssen.

Bei der Identifizierung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel durch die gezielte Gestaltung der Landnutzung ergibt sich somit zusammenfassend ein Bündel unterschiedlicher Kriterien. Es müssen dabei sowohl

→ die Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Regionen durch global wirkende Prozesse berücksichtigt werden,

Landnutzungsänderungen in einer Region können durch ihren Einfluss auf die atmosphärischen und hydrologischen Zirkulationssysteme Nutzungspotentiale in anderen Regionen der Erde verändern indem sie zu Veränderun-

gen im Niederschlags- und Temperaturregime führen können. Für eine vorausschauende Gestaltung von Landnutzung im globalen Kontext müssen diese Wechselwirkungen verstanden und in ihrer Intensität abgeschätzt werden. Dies ermöglicht es, Unterschiede in der Sensitivität des Erdsystems auf regionale Landnutzungsänderungen zu untersuchen und damit Regionen zu identifizieren, in denen Landnutzungsänderungen einen besonders großen Einfluss auf das Erdsystem ausüben. Des Weiteren ermöglicht dies in einem erweiterten Kontext die Auswirkungen regionaler Entscheidungen auf das gesamte Klimasystem zu quantifizieren. Landnutzungsänderungen werden allerdings auch in immer größerem Maß durch die Verflechtungen des internationalen Handels mit landwirtschaftlichen Produkten bestimmt. Im Zuge dieses Handels werden Naturressourcen, wie z.B. Böden, das dabei verbrauchte Niederschlagswasser, die eingesetzte Energie und weitere Naturressourcen (z.B. Verschmutzung der Grundwasseraquifere und Flüsse) im Exportland in Anspruch genommen und damit der einheimischen Nutzung entzogen. Im Gegenzug verringert der Import von Nahrungsmitteln im Importland die Nutzung von Land- und Naturressourcen. Somit beeinflusst der Welthandel mit landwirtschaftlichen Produkten die Landnutzung weltweit und ist in die globale Betrachtung einzuschließen. Eine vergleichende Analyse der Effizienz im Umgang mit der Landressource und den mit ihr verbundenen Naturressourcen (z.B. Wasser, Energie, Boden, Biodiversität) in unterschiedlichen Regionen kann somit zu einer beträchtlichen globalen Einsparung von Naturressourcen führen. Der heutige Wissensstand über diese globalen Mechanismen der Ressourcennutzung und Landnutzungsänderungen ist noch rudimentär. Er erlaubt es noch nicht einmal, den relativen Einfluss von sich änderndem Welthandel und veränderter globaler Zirkulation auf die globale Verteilung der Landnutzung anzugeben.

als auch

→ die regional gegebenen Nutzungspotentiale und -limitierungen, ökonomischen, ökologischen, gesellschaftlichen, institutionellen und technologischen Gegebenheiten sowie kulturellen Besonderheiten berücksichtigt werden,

Es ist davon auszugehen, dass auch in Zukunft Entscheidungen über die Gestaltung der Landoberfläche hauptsächlich auf regionaler Ebene getroffen werden. Hierbei spielt im Fall begrenzter Landressourcen die Abwägung der Folgen unterschiedlicher Nutzungsalternativen sowie die Effizienz des Einsatzes der verfügbaren Naturressourcen bei der Aufdeckung und Lösung von Nutzungskonflikten eine bedeutende Rolle.

→ der auf der regionalen Ebene zu erwartende Verlauf der Klimaänderungen berücksichtigt werden,

Er führt zu einer zeitabhängigen Veränderung der Nutzungspotentiale, wobei die unterschiedlichen Zeitskalen, die mit verschiedenen Nutzungsoptionen verbunden sind (z.B. Wald vs. Siedlung vs. Agrarnutzung), berücksichtigt werden müssen.

und

→ die Faktoren Klimawandel, Bevölkerungsentwicklung, wirtschaftliche Entwicklung und die ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit als Entwicklungsziel berücksichtigt werden.

Regionale Landnutzungsentscheidungen stehen somit im Spannungsfeld zwischen Nahrungsmittelproduktion, Energieversorgung, urbanen Lebensräumen und ökosystemaren Dienstleistungen. Auch die Entscheidung, Land nicht zu nutzen ist in diesem Zusammenhang als Landnutzungsentscheidung zu sehen. Eine möglichst konstruktive Auflösung des Spannungsfeldes muss auf einer

detaillierten Analyse der trade-offs (Zielkonflikte) zwischen den verschiedenen in einer Region verfügbaren Landnutzungsalternativen beruhen. Dabei sind die in diesem Bereich liegenden Erkenntnislücken vordringlich sowohl auf der Prozessebene als auch im Bereich der integrativen, disziplinübergreifenden Methodik zu schließen. Untersuchungen die sich ausschließlich einem der angesprochenen Faktoren widmen, mögen deshalb sicher wichtige sektorale Forschungslücken schließen, sind aber wegen des integrativen Charakters der Fragestellung nicht Teil des vorgeschlagenen Nationalen Forschungsprogramms. Vielmehr geht es darum im Spannungsfeld der genannten Nutzungspole optimierte Gestaltungsmöglichkeiten für die künftige Landnutzung zu identifizieren.

Voraussetzung für die gezielte Gestaltung der Landnutzung ist Grundlagen-, Orientierungs- und Handlungswissen zur globalen wie regionalen Analyse der Potentiale der Landoberfläche. Wissenslücken bestehen (i) im methodischen Bereich der integrativen, disziplinübergreifenden Nutzungsanalyse, (ii) im Prozessverständnis über die Faktoren und Entscheidungsmechanismen, wie Landnutzung gestaltet wird und gestaltet werden könnte und welche Auswirkungen dies auf das Funktionieren der beteiligten Ökosysteme hat, sowie (iii) auf welche Weise und mit welcher Wirksamkeit die Prozesse auf der Erdoberfläche so gestaltet werden können, dass sie nachhaltig zu den anzustrebenden Anpassungs- und Vermeidungszielen beitragen. Wie Abbildung 2 zeigt, stellen sich die genannten Fragen auf der kurzfristigen wie langfristigen Zeitskala vorwiegend auf regionaler Ebene, auf der Landnutzungsentscheidungen gefällt werden. Bei der kurzfristigen Zeitskala geht es vordringlich darum, durch gebündelte Forschungsanstrengung aller Säulen der deutschen Forschungslandschaft einen Beitrag zu leisten, um z.B. die politischen Beschlüsse der EU zur Reduzierung von Treibhausgasen durch Bioenergie bestmöglich umzusetzen. Bei der Bearbeitung der langfristigen Zeitskala geht es ebenfalls um eine gebündelte und ebenso wichtige Forschungsanstrengungen aller Säulen der deutschen Forschungslandschaft. Hier müssen grundsätzlichere, normative Fragen (z.B. nach der für die Erreichung bestimmter Nachhaltigkeitsziele bestmöglichen zukünftigen Landnutzung) in ausgewählten Regionen untersucht werden. Die nächsten 15 Jahre werden entscheidend sein für die längerfristige zukünftige Entwicklung. Wie der Stern-Report gezeigt hat, werden sie darüber entscheiden, welcher Anteil der Wirtschaftsentwicklung mittelfristig für die Anpassung an den Klimawandel und für geeignete Vermeidungsstrategien aufgewandt werden muss. Insofern besteht eine enge Wechselwirkung zwischen den im Rahmen der Forschung auf der kurzfristigen und der langfristigen Zeitskala regional gewonnenen Erkenntnissen. Diese sind in den jeweiligen Forschungsansätzen zu berücksichtigen.

Die Qualität der Forschungsergebnisse auf der regionalen Ebene wird wegen der globalen Dimension des Klimawandels und des Welthandels sowohl auf der kurz- wie auch auf der langfristigen Zeitskala entscheidend von der Einbindung der untersuchten Regionen in den globalen Kontext bestimmt. Die globalen Einflüsse sind nicht im Detail vorhersagbar und müssen deshalb in Form von Zukunftsszenarien, die neben dem Klimawandel weitere absehbare Entwicklungen (Bevölkerung, Wirtschaftsentwicklung, Globalisierungsprozesse in Wirtschaft und Politik, Welthandel, etc.) einbeziehen, gemeinsam entwickelt und bei der Forschung auf regionaler Ebene berücksichtigt werden. Dazu muss der Grad regionaler Detailliertheit der globalen Zukunftsszenarien gegenüber dem heutigen Stand bedeutend erhöht werden. Erst dadurch können verlässlichere Aussagen über die Wirksamkeit von zielgerichteter Landnutzungsgestaltung auf regionaler und globaler Ebene getroffen werden.

Die Identifikation von Handlungsoptionen zur Anpassung an den Klimawandel durch Gestaltung von Landnutzung im Rahmen eines nationalen Forschungsprogramms erfordert deshalb eine gleichzeitige Berücksichtigung der regionalen wie globalen als auch der kurzfristigen und langfristigen Aspekte.

Der frühzeitige und ernsthafte Dialog zwischen der Wissenschaft und den regionalen wie globalen Akteuren wird die Akzeptanz der

Resultate der angewandten Forschung zur Gestaltung der Landnutzung in hohem Maß bestimmen. Auf der anderen Seite setzt die Entwicklung von Forschungsfragen und realistischen Annahmen für Zukunftsszenarien den ständigen Dialog zwischen Wissenschaft, Stakeholdern und Entscheidungsträgern voraus. Dieser ist deshalb ein wichtiger und zentraler Bestandteil des vorgeschlagenen Nationalen Forschungsprogramms.

### 3. ARCHITEKTUR DES NATIONALEN FORSCHUNGSPROGRAMMS

Aus Abbildung 1 und Abbildung 2 ergibt sich Struktur und Herangehensweise an das vorgeschlagene nationale Forschungsprogramm. Diese sind in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

Das vorgeschlagene Forschungsprogramm soll aus Komponenten bestehen, die sowohl regionale wie auch globale Aspekte der übergeordneten Forschungsfragestellung in engem wechselseitigem Austausch bearbeiten und die damit in engem wechselseitigen Austausch stehen. Sowohl für die Bearbeitung der globalen wie auch der regionalen Komponenten sind umfangreiche Methodentwicklungen notwendig, die die unterschiedlichen zu berücksichtigenden Prozesse, Kreisläufe, Naturressourcen, Handelsströme sowie die Landnutzungskonflikte zwischen ökosystemaren Dienstleistungen, Nahrungsmittelproduktion, Energieversorgung und urbanem Lebensraum in ihrer Wechselbeziehung beschreiben und vorhersagbar machen können. Alle regionalen Studien sollten dafür den gleichen Satz global konsistenter Zukunftsszenarien benutzen.

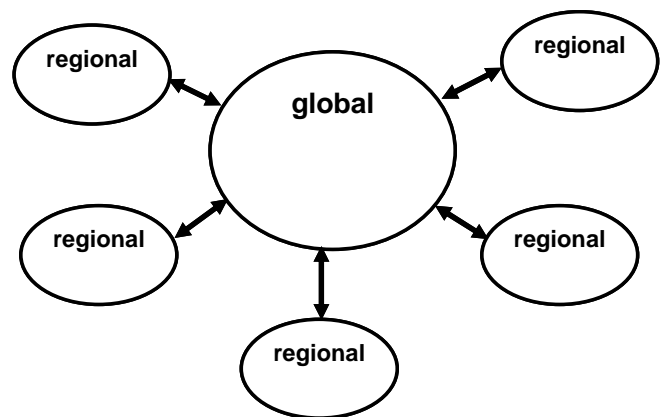


Abb. 3: Schema der übergeordneten Architektur des Nationalen Forschungsprogramms „Umgang mit dem Klimawandel“.

Auf der Ebene der regionalen Komponenten des Forschungsprogramms geht es somit vorrangig um:

- Nutzungskonflikte, Wirkungsmechanismen, Berücksichtigung globaler Randbedingungen
- Untersuchung der Auswirkung von Zukunftsszenarien auf der kurz- und langfristigen Zeitskala
- Erarbeitung von Handlungsoptionen (im Hinblick auf politische Entscheidungen) sowie die Untersuchung ihrer Wirksamkeit und Auswirkungen

Gleichzeitig sollte die Wechselwirkung der Regionen und der globalen Prozessabläufe untersucht und daraus Zukunftsszenarien abgeleitet werden.

Auf der globalen Ebene sind vor allem folgende Aspekte in die Forschung einzubeziehen:

- Flächenkonflikt zwischen Nahrungsmittelproduktion, Energieversorgung, Urbanisierung, Ökosystemdienstleistungen auf globaler Ebene
- Identifikation der Randbedingung des Klimawandels

- Identifikation regionaler Brennpunkte des Klimawandels unter Einbeziehung regionaler Akteure
- Entwicklung von Zukunftsszenarien für die kurz- und langfristige Zeitskala.

Aus der vorangestellten Analyse der Veränderung der Ansprüche, die die weitere Entwicklung der Gesellschaften sowie der Klimawandel an die Landressourcen auf der Erde stellen werden, leiten sich u. a. folgende übergreifende Forschungsfragestellungen ab:

- Wie wird die gegenwärtige Nutzung der Landoberfläche durch Nahrungsmittelproduktion, Energieversorgung, menschliche Siedlungen und Ökosystemleistungen auf regionaler und globaler Skala bestimmt?
- Welche regionalen und globalen Treiber bestimmen auf welche Weise die Landnutzung?
- Welche Möglichkeiten bestehen bzw. welche Strukturen müssen etabliert werden zur zielgerichteten Entwicklung der Landnutzung?
- In welchem Verhältnis steht auf regionaler und globaler Ebene das gegenwärtige Nutzungspotential der Landressourcen zur ihrer tatsächlichen Nutzung? Welche Potentiale zur Nutzungsänderung bzw. -erweiterung bestehen?
- Wie wird sich das Nutzungspotential der Landoberfläche bezüglich der vier im Konflikt stehenden Nutzungspolen (siehe Abb.1) mit den globalen Veränderungen (Klimawandel, Bevölkerungsentwicklung, Umweltverschmutzung, Technologieentwicklung, Pflanzenzucht, ...) verändern?
- Welche Konflikte ergeben sich heute und in Zukunft zwischen den vier Nutzungspolen, welche trade-offs werden erzielt und wie verändern sich diese zukünftig mit den globalen Veränderungen?
- Wie sieht eine optimale globale und regionale Nutzung der Landoberflächen aus?
- Welchen Einfluss haben Landnutzungsänderungen über die Stoffkreisläufe (insbesondere klimarelevante Gase sowie Energie- und Wasserbilanz) auf das Klimasystem?

#### 4. SCHWERPUNKTE DES NATIONALEN FORSCHUNGSPROGRAMMS

Landnutzungsentscheidungen fallen generell auf regionaler Ebene. Im Mittelpunkt des vorgeschlagenen nationalen Forschungsprogramms steht die Erforschung regionaler Strategien zur Anpassung an den Klimawandel bei gleichzeitiger Ausschöpfung der Emissions-Vermeidungsmöglichkeiten, die eine gezielte Gestaltung der Landnutzung bietet. Deshalb muss die Erforschung der Strategien in regional begrenzten Brennpunkten des Globalen Wandels stattfinden. Das vorgeschlagene Nationale Forschungsprogramm soll sich deshalb in einem global aufgespannten Rahmen auf Fallstudien zu regionalen Brennpunkten des globalen Wandels konzentrieren und bewegt sich somit auf zwei Ebenen:

##### 4.1 Globale Ebene

Im Vordergrund stehen die Erforschung der global ablaufenden Prozesse und Entwicklungen im Zusammenhang mit der Landnutzung (vorwiegend in den Bereichen Klimawandel und wirtschaftliche Globalisierung) sowie der Einfluss von Entscheidungen der regionalen Ebene auf die globalen Prozesse und Entwicklungen. Ein Pfeiler des vorgeschlagenen nationalen Forschungsprogramms ist deshalb eine starke globale Komponente. Sie untersucht integrativ die globalen Veränderungen, z. B. im Bereich des Klimawandels, der gesellschaftlichen Institutionen, der Wirtschaftsprozesse und der Natur und ihrer Ressourcen. Sie identifiziert Treiber des globalen Wandels, fasst das gewonnene Prozessverständnis in Modelle und leitet daraus Zukunftsszenarien zu Klima-, Wirtschafts-, Han-

dels- und Bevölkerungsentwicklung sowie der Funktionsfähigkeit von Ökosystemen ab. Diese Zukunftsszenarien müssen in enger Abstimmung mit den Untersuchungen des Bereichs regionaler Brennpunkte stattfinden.

##### 4.2 Regionale Ebene

Die zielgerichtete Gestaltung der Landnutzung wird zukünftig fast alle Regionen der Erde betreffen. Nicht alle Regionen sind vom Klimawandel und den weiteren globalen Veränderungen in gleichem Maß und in gleicher Weise betroffen, weshalb die Beschäftigung mit der Thematik nicht in allen Regionen gleich vordringlich ist.

Die Potentiale zur Anpassung an den Klimawandel durch Gestaltung der Landnutzung sind in Deutschland und Europa groß. Hier sind auch einschneidende, durch den Klimawandel hervorgerufene Änderungen des Nutzungspotentials zu erwarten. Darüber hinaus bestehen bedeutende Handlungsmöglichkeiten und entscheidende Handlungsnotwendigkeiten in Brennpunkten des globalen Wandels, wie Afrika, Asien oder Südamerika. Bereits heute existieren in diesen Regionen tief greifende Konflikte in der Landnutzung. Zukünftig ist mit einer Verschärfung der Konflikte zu rechnen. Der dortige Umgang mit dem Klimawandel wird direkt und indirekt auf Deutschland und Europa zurückwirken. Aus diesem Grund soll das Forschungsprogramm in ausgewählten Regionen, die globale Brennpunkte des Landnutzungswandels repräsentieren, umgesetzt werden.

Im Folgenden werden *Beispiele für regionale Brennpunkte* vorgestellt.

In *Mitteleuropa* (Norditalien bis Norddeutschland) wird der Klimawandel die Grundlagen für Landnutzungsentscheidungen regional unterschiedlich aber in starkem Umfang verändern. Dies geschieht vor allem durch die Verschiebung der Klimazonen. Dabei ist eine Ausdehnung der Trockenräume und des mediterran geprägten Klimas nach Norden zu erwarten. Damit einher gehen veränderte land- und forstwirtschaftliche Möglichkeiten (z.B. Änderung der Fruchtfolgen, möglicherweise in manchen Regionen zwei Ernten), eine Veränderung der Wasserverfügbarkeit, die Einführung neuer Tier- und Pflanzenarten sowie der daraus resultierenden Veränderung biologischer Vielfalt und der ökosystemaren Dienstleistungen. Hier geht es um die nachhaltige Gestaltung von Wasser-, Stoff- (z.B. Kohlenstoff) und Energiekreisläufen unter multiplen Kriterien von Energie- und Nahrungsmittelproduktion, Technologieentwicklung Prozessmanagement, Akteursentscheidungen und unter Berücksichtigung des Ressourcenschutzes sowie der ökologischen Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems.

Für die *hochdynamischen Wachstumsregionen* der Erde steht zu erwarten, dass die sich verändernden klimatischen Randbedingungen bei gleichzeitiger dynamischer wirtschaftlicher Entwicklung und der daraus resultierenden starken Umweltbelastung eine Weiterführung der heutigen Landnutzungspraktiken unmöglich machen. Hinzu kommen für diese Regionen Trends zur Megaurbanisierung, wodurch der Druck auf die Landnutzung erhöht und die Gewährleistung von intakten Ökosystemfunktionen massiv beeinträchtigt wird. Die Frage stellt sich hier, wie die Interaktion von Landnutzungssystemen mit Wirtschaftswachstum, Megaurbanisierung und Klimawandel unter Einbeziehung kultureller, sozialer und politischer Aspekte in einer Weise gesteuert werden kann, die Einkommensverbesserung und Ressourcenschutz vereint.

Den *Regionen des Permafrosts* stehen einschneidende Veränderungen der Landbedeckung durch starke Erwärmung, Niederschlagsänderung und das Auftauen der Böden bevor. Durch die Destabilisierung der Permafrostböden könnten diese gewaltigen Mengen an klimarelevanten Gasen (Kohlendioxid und Methan) emittieren und dadurch zum Klimawandel beitragen. Gleichzeitig könnten diese Regionen das Potential als zukünftige land- und forstwirtschaftliche Produktionsflächen zur Sicherung und Ausweitung der Nahrungsmittel- und Energieproduktion besitzen, weshalb z.B. Akteursentscheidungen unterschiedlicher Bereiche (sozial, po-

litisch, ökonomisch) unter der globalen Perspektive von Interesse sind und eingebunden werden sollten. Da heute 25% der Landoberfläche vom Permafrost unterlagert werden, stellt sich besonders in diesen Regionen u. a. die Fragen nach der Stärke als Treibhausgasquellen oder –senke, der Auswirkung der Verlagerung der Vegetationszonen nach Norden sowie des zukünftigen Nutzungspotentials dieser Regionen.

*Trockengebiete und ihre Randzonen* sind von besonderer Relevanz, weil ihre Ressourcen von Natur aus stark limitiert sind. Sie reagieren deshalb besonders empfindlich auf Temperaturanstieg, Niederschlagsrückgang und Bevölkerungsdynamik. Hierdurch beschleunigt sich die Desertifikation. Es ist davon auszugehen, dass die Regionen ohne gezielte Gestaltung der dortigen Nutzung unter einen kritischen Grenzwert der Produktivität fallen werden. Um durch Dürre verursachte wiederholte Ernteausfälle, die Migrationsprobleme von Umweltflüchtlingen und den Verlust nutzbaren Lebensraumes mit sich bringen, größtmöglich zu verringern, sind neue Landnutzungskonzepte insbesondere in Bezug auf Anpassungen an den stattfindenden Klimawandel dringend erforderlich. Forschungsbedarf besteht hierbei vor allem im Bereich der bevorstehenden Veränderungen von Böden, Biodiversität und Wasserressourcen, bei der technischen und konzeptionellen Optimierung der nachhaltigen Wassernutzung und der Nahrungsproduktion, bei der Untersuchung von Optionen der Energieproduktion sowie bei der Siedlungspolitik.

## 5. ROLLE DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSFÖRDERORGANISATIONEN UND DER FORSCHUNGSEINRICHTUNGEN

Die Relevanz und Komplexität des vorgeschlagenen Forschungsthemas und die Entwicklung handlungsorientierter, optimierter Lösungsansätze rechtfertigt ein konzertiertes Nationales Forschungsprogramm, das alle in Deutschland verfügbaren Kompetenzen zusammenführt. Es erfordert ein integratives, fächerübergreifendes Herangehen, ein abgestimmtes Zusammenspiel von Grundlagenforschung und angewandter Forschung sowie die Interaktion mit Stakeholdern.

Durch ihre spezifischen Profile sind die angesprochenen deutschen Forschungsförderorganisationen in der Lage, unterschiedliche Aspekte des Forschungsprogramms mit den ihnen zur Verfügung stehenden Mechanismen zu fördern. Folgende Beiträge sind dabei vorstellbar:

### 5.1 DFG

Im Rahmen des vorgeschlagenen Forschungsprogramms besteht großer Forschungsbedarf in der Grundlagenforschung bzw. der angewandten Grundlagenforschung sowohl bezüglich regional-spezifischer Ansätze als auch bezüglich der Integration der beteiligten Disziplinen aus den Natur- und Humanwissenschaften. Im Vordergrund steht dabei die Entwicklung und Anwendung integrativer regionaler Vorhersagemodelle und Szenarien zur Anpassung an den Klimawandel durch Gestaltung der Landnutzung. Erste, regional und disziplinär begrenzte Ansätze integrativer Modellierung und Szenarienbildung in Teilaspekten der Landnutzung bestehen bereits. Diese können Basis für stärker integrative Forschungsvorhaben sein.

Bei der Entwicklung geeigneter Integrationsansätze kann Deutschland auf eine hochkompetente und solide Basis an Wissenschaftlergruppen aus den beteiligten Disziplinen der Natur- und Humanwissenschaften zurückgreifen. Sie stützt sich vor allem auf das breite Fächerangebot der Universitäten und gewinnt an zusätzlicher Schlagkraft, wenn sie mit den außerhalb der Universitäten vorhandenen exzellenten Gruppen zusammengeführt wird. Das NKGCF sieht die Deutsche Forschungsgemeinschaft in herausgehobener Stellung bei der Entwicklung des benötigten Grundlagenwissens zu Methoden und Ansätzen der Integration auf regionaler Ebene. Sie kann in besonderer Weise die Bündelung ortsverteilter Potentiale und die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses unterstützen.

### 5.2 BMBF

Im Zuge der Grundlagenforschung im Bereich der Integration entstehen neue Forschungsmethoden und Anwendungen. Ihre Nutzung in integrierten regionalen Modellen erlaubt es auf einem bisher nicht gekanntem Niveau der Genauigkeit und Detailtreue in den oben genannten Schwerpunkten Handlungsoptionen für die zukünftige Gestaltung der Landnutzung zu erarbeiten. Ziel der angewandten Forschung ist deshalb die systematische Ermittlung effektiver und effizienter Gestaltungsmöglichkeiten der Landnutzung im Hinblick auf Mitigation von und Adaptation an die Folgen des Klimawandels.

Bei der Weiterentwicklung der handlungsorientierten Forschung kann man auf weit reichende Erfahrungen BMBF-geförderter Forschungsprojekte bauen. Hilfreich für die erfolgreiche Entwicklung von Handlungsoptionen wird die enge Einbeziehung der Beteiligten und Betroffenen in das Nationale Forschungsprogramm sein. Für die genannten Schwerpunkte sollen somit zunächst gemeinsam mit Stakeholdern konkurrierende Landnutzungsoptionen formuliert und daraus unterschiedliche Szenarien zukünftiger Gestaltung der Landnutzung entwickelt und auf ihre Wirksamkeit hin untersucht werden. Diese sollen dann mit integrativen Ansätzen auf ihre Effektivität und Effizienz und ihre Implementierbarkeit hin untersucht werden. Das NKGCF schlägt deshalb vor, dass sich der Beitrag des BMBF auf diese anwendungsorientierte Teilaspekte des nationalen Forschungsprogramms konzentriert, um den Entscheidungsträgern das nötige Orientierungs- und Handlungswissen zur Verfügung zu stellen.

### 5.3 Außeruniversitäre Forschungsorganisationen

Die Beteiligung der außeruniversitären Forschungsorganisationen bringt ein herausragendes Potential von in diesem Bereich tätigen Spitzenwissenschaftlern und Forschungsgruppen in das vorgeschlagene Programm ein. Das vorgeschlagene nationale Forschungsprogramm ist in seiner vollen Breite nur mit deren Beteiligung und unter Nutzung und Inwertsetzung der in Deutschland vorhandenen exzellenten Forschungsinfrastruktur durchführbar. Hierzu zählen u. a. die verfügbare Rechenkapazität zur Fortentwicklung globaler und regionaler Klimavorhersagen im DKRZ, die Messeinrichtungen der terrestrisch arbeitenden außeruniversitären Forschungsorganisationen, wie z.B. das Observatorium ZOTTO in Sibirien, das Spurengasbeobachtungssystem ICOS und das Netzwerk TERENO sowie die deutschen Fernerkundungsplattformen HALO, TerraSAR und EnMAP. Hinzu kommen die umfangreichen Datenbestände vorangegangener Forschungsprogramme. Das NKGCF sieht in der gemeinschaftlichen, komplementären Nutzung und in der Bereitstellung der vorhandenen Forschungsinfrastruktur für universitäre Forschungsgruppen einen originären Beitrag der außeruniversitären Forschungsorganisationen zur Förderung des nationalen Forschungsprogramms. Der Beitrag der außeruniversitären Forschungsorganisationen hat das Potential, den Kondensationskern des Programms zu bilden, da sich die unterschiedlichen Gruppen aus der Grundlagenforschung und aus der anwendungsorientierten Forschung im Umfeld gemeinsam genutzter Infrastruktur treffen und die entstehenden gemeinsamen Arbeitsgruppen austauschen können.

## 6. SCHRITTE ZUR IMPLEMENTIERUNG

Fächerübergreifende Integration und interdisziplinäre Weiterentwicklung von Wissen ist darauf angewiesen, das gesamte in Deutschland vorhandene wissenschaftliche Potential in den beteiligten Disziplinen anzusprechen. Dazu sollten die besten Vorschläge zur Lösung der angesprochenen Forschungsfragen in einen Wettbewerb treten. Um diesen Wettbewerb effektiv zu gestalten und in seiner Selbstorganisation aktiv zu unterstützen schlägt das NKGCF allen angesprochenen Forschungsförderorganisationen vor, für die genannten Forschungsfragestellungen Ausschreibungen für Ideenskizzen durchzuführen. Dies ermöglicht den interessierten Konsortien sich themen- und problemorientiert zu finden und zu

organisieren. Darüber hinaus erlaubt es eine qualitätsorientierte Auswahl geeigneter Konsortien im Vorfeld von Antragstellungen auf der Basis erfolgter Ausschreibungen. Zur internationalen Vernetzung der Projekte sollte die Plattform der vier internationalen Global Change Programme (IGBP, IHDP, WCRP, DIVERSITAS) und vor allem der Earth System Science Partnership (ESSP) genutzt werden.

Für die Umsetzung des Nationalen Forschungsprogramms empfiehlt das NKGCF, sich an folgenden Kriterien und Strukturvorgaben zu orientieren:

- Insgesamt erscheint eine Struktur bestehend aus einem globalen Konsortium und 4-5 regionalen Konsortien für eine Behandlung des Themas angemessen, wenn damit eine Berücksichtigung unterschiedlicher regionaler Brennpunkte gewährleistet ist.
- Für die Umsetzung des Nationalen Forschungsprogramms eignet sich ein 3-Phasenmodell.

In der ersten Phase sollen die globalen Grundprinzipien und –annahmen für ein Zukunftsszenario gemeinsam erarbeitet und festgelegt werden. Hierfür soll das globale Konsortium sehr eng mit den regionalen Konsortien zusammenarbeiten. Die regionalen Konsortien konzentrieren sich parallel auf die Entwicklung und Validierung integrativer methodischer Ansätze und die Erhebung der benötigten Daten. Das zum Ende der ersten Phase gemeinsam erarbeitete Zukunftsszenario stellt die Rahmenbedingung für alle weiteren Arbeiten der regionalen Konsortien dar.

In der zweiten Phase soll die Bedeutung der Rahmenbedingungen für die einzelnen Regionen herausgearbeitet sowie die Wechselwirkungen zwischen globalen und regionalen Fragestellungen verstärkt angegangen werden.

In der dritten Phase steht die Erarbeitung, Validierung und Evaluierung von Ergebnissen gemeinsam mit regionalen Stakeholdern im Vordergrund.

- Erfolgreiche Konsortien
  - müssen integrative Forschungsansätze verfolgen, bei denen die notwendige sektorale Forschung sich aus den Wissensdefiziten bei der Beantwortung der übergreifenden Forschungsfrage ableitet,
  - müssen universitäre und außeruniversitäre Forschung verbinden und sollen zu diesem Zweck eine ausgewogene Zusammensetzung aus Universitäten und Großforschungseinrichtungen aufweisen,
  - sollen einen frühzeitigen und substantiellen Dialog zu den Stakeholdern gewährleisten,
  - sollen den Wissenstransfer gewährleisten,
  - sollen Wert legen auf die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses vor allem im Bereich interdisziplinärer Integration.
- Fragestellungen sollen sich im Spannungsfeld zwischen den Nutzungspolen Nahrungsmittelproduktion, Energieversorgung, urbaner Lebensraum und ökosystemare Dienstleistung bewegen und nicht nur einzelne Felder behandeln.