



ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL – STRATEGIEN FÜR DIE RAUMPLANUNG IN LUXEMBURG

C-Change
Changing Climate, Changing Lives

Impressum

Auftraggeber



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère du Développement durable
et des Infrastructures
Département de l'Aménagement du territoire

Ministère du Développement durable et des Infrastructures Département de l'aménagement du territoire

4, Place de l'Europe | L-1499 Luxembourg
Kontakt: Manon Poeckes, Philippe Peters
Tel. +352-247-86927
manon.poeckes@mat.etat.lu
philippe.peters@mat.etat.lu

Inhaltliche Bearbeitung



angewandte geographie,
landschafts-, stadt- und raumplanung
Hartz - Saad - Wendl

agl | www.agl-online.de

Großherzog-Friedrich-Straße 47 | D-66111 Saarbrücken
Sascha Saad, Andrea Hartz, Christine Schaal-Lehr
Kontakt: Sascha Saad
Tel. +49-681/96025-11
saschasaad@agl-online.de

Layout



plan K advertising

83, Parc d'activités
L-8308 Capellen
Tel. +352 26 30 41-1
think@plan-K.lu

Juli 2012



INHALT

Vorwort	5
Englische Zusammenfassung	7
1. Der Klimawandel als weltweites Phänomen mit regionalen Auswirkungen	8
2. Der Klimawandel und die Folgen für Luxemburg	12
2.1 Klimamodelle und -projektionen	13
2.2 Klimaprojektionen für Luxemburg	14
2.3 Veränderung des Stadtklimas	20
3. Anforderungen an die räumliche Planung	22
3.1 Strategien zum Klimawandel	23
3.2 Klimawandel als Querschnittsaufgabe	23
3.3 Klimaschutz in der räumlichen Planung	24
3.4 Klimaanpassung in der räumlichen Planung	24
4. Wirkfolgen des Klimawandels in Luxemburg	26
5. Die Betroffenheit von Räumen	30
6. Handlungsfelder und Maßnahmen zur Klimaanpassung	34
6.1 Handlungsfeld „Anpassung an Hitzebelastung“	35
6.2 Handlungsfeld „Anpassung an Trockenheit“	41
6.3 Handlungsfeld „Anpassung an Hochwasser und Extremniederschläge“	42
6.4 Handlungsfeld „Anpassung an Starkwind und Stürme“	47
7. Wege der Umsetzung	48
7.1 Formale Instrumente der Landesplanung am Beispiel des <i>Programme Directeur</i>	49
7.2 Instrumente der Fachplanungen am Beispiel des Hochwasserschutzes	49
7.3 Formale Instrumente der Kommunen	50
7.4 Kooperationsprozesse	54
7.5 Strategien und Prozesse: Beispiele aus der C-Change-Projektpartnerschaft	55
8. Das C-Change-Projekt	60
9. Quellen, Literatur, Links	64





Sehr geehrte Damen und Herren,

Der Klimawandel ist eine der großen Herausforderungen unserer Zeit, welche unter anderem auch Auswirkungen auf die zukünftige Gestaltung unserer Städte und Siedlungen haben wird. Auch wenn über die genauen Auswirkungen des Klimawandels noch viel in Expertengruppen diskutiert wird, besteht die Gewissheit, dass sich unser Klima schon verändert hat und weiter verändern wird. Deswegen ist es eine gemeinsame Aufgabe, sich – neben dem Klimaschutz – heute bereits Gedanken über geeignete Anpassungsstrategien an den Klimawandel zu machen.

Aus diesem Grunde hat sich die Landesplanung, im Rahmen von Interreg IVB NWE aktiv an dem europäischen Projekt „C-Change“ (www.cchangeproject.org) beteiligt und zusammen mit Partnern aus den Niederlanden, Großbritannien, Frankreich und Deutschland das Thema „Klimawandel und Raumplanung“ behandelt.

Auf Grundlage dieses Erfahrungsaustausches vermittelt die vorliegende Broschüre, neben Fakten und Hintergrundwissen, viele Anregungen zum Handeln. Sie richtet sich in erster Linie an Architekten, Stadtplaner, Landschaftsplaner usw. aber auch an politisch Verantwortliche auf nationaler und kommunaler Ebene, die durch entsprechende Planungsprozesse und Maßnahmen den urbanen und stadtreionalen Raum entwickeln.

Das Maßnahmenpektrum ist breit und umfasst von der Verschattung von öffentlichen Plätzen, über die Durchgrünung des öffentlichen Raumes bis hin zur Festlegung von speziellen Bauvorschriften, auch Ansätze welche einer interkommunalen, regionalen Abstimmung bedürfen, wie z.B. das Freihalten von Luftleitbahnen in städtischen Regionen. Hervorzuheben ist, dass viele Empfehlungen nicht nur der Anpassung an den Klimawandel dienen, sondern auch insgesamt die Lebensqualität in der Stadt erhöhen. Durch eine gute Verknüpfung der Landesplanung mit der kommunalen Planung, besonders auch im Rahmen der Flächennutzungsplanung, werden wichtige Weichen für die Zukunft gesetzt.

Ein besonderer Dank geht an alle lokalen und internationalen Fachleute, die ihr Wissen eingebracht haben und im Rahmen von Workshops die Empfehlungen aus Sicht der Planungspraxis diskutiert und die Fertigstellung der Broschüre somit erheblich bereichert haben.

Marco SCHANK
Delegierter Minister für nachhaltige Entwicklung
und Infrastrukturen



Adaptation to Climate Change – Spatial Planning Strategies in Luxembourg

Climate adaptation is a new area of political action. Modern societies with their dense urban architectures, highly sensitive infrastructures and intensive land use are particularly vulnerable to the potential consequences of climate change. Adjusting long-lived and rather inflexible spatial and built structures to these new challenges calls for forward-thinking action. Which is why it is so important to become aware of this issue now and consider adaptation strategies and measures in due time.

Luxembourg, too, is facing the question of how the country and its municipalities can adjust to the repercussions of climate change. The brochure in hand details possible adaptation measures and strategies, especially given that they will need to be embedded in the future development of Luxembourg's agglomerations.

The brochure addresses all protagonists in Luxembourg engaged in the implementation of regional and spatial planning as well as planning on a municipal level. It provides an overview of the essential features of climate change and its expected consequences in Luxembourg, where regional climate projections expect annual average temperatures to rise considerably by the end of the 21st century. The summers will be noticeably drier, with more precipitations in winter. To be expected on top of this is an increase in the number of extreme weather events such as dry periods, heavy rains, storms, cold spells and heat waves.

These climate changes affect virtually all walks of life. Spatial planning measures are therefore also called upon to address climate change and its consequences. In doing so they can rely on two principal modes of action: climate mitigation and climate adaptation. Whereas climate mitigation is already anchored in the spatial planning, climate adaptation brings a whole new set of challenges. It calls for the implementation of measures that look much further ahead than the usual planning horizons, while making allowances for the uncertainties of climate projections. Where the cross-sectional challenge of climate change is concerned, touching on many political areas and levels of action, spatial planning departments can assume the role of a coordinator who collates fundamental data, defines objectives, and initiates measures in cooperation with the other protagonists involved.

Adaptation strategies can only be developed if the potential regional impact of climate change is assessed. Its consequences for the regional and settlement development have hence been studied in great detail, based on the essential climate changes. An impact and/or vulnerability analysis can meanwhile highlight to which extent regions or cities will be affected by the repercussions of climate change, and to what degree climate adaptation measures are required. The brochure introduces methodical approaches for this.

One focal point is the presentation of possible adaptation measures and their effectiveness, with a marked emphasis on the municipal, urban and/or regional level. Adaptation strategies for dealing with increasing heat stress are aimed at ensuring adequate night-time cooling by way of urban regional exchange systems and large park facilities, as well as daytime climate comfort by increasing albedo, enlarging the volume of greenery, providing shading, and creating running expanses of water. The adjustment to drought is most of all focused on safeguarding the supplies of drinking and service water, as well as the irrigation of open spaces. Flood protection and prevention meanwhile call for adjustment to the increasing incidence of high tides and extreme precipitations. The proposed measures are largely realisable in Luxembourg within the existing legal framework and planning system.

How the dynamic development of an urban space is linked to the aspects of climate change and climate adaptation is illustrated using the convention area in the south-western part of the Luxembourg City agglomeration as an example (a region merging 5 municipalities). In the context of climate change, intermunicipal cooperation gains a new meaning.

This brochure is Luxembourg's contribution to the transnational C-Change cooperation project, which is funded by the European Commission as part of the INTERREG IV B programme. Especially where climate change is concerned, exchange and cooperation on a European as well as international level are of the essence. The C-Change project contributes to this and is aimed at buttressing the links between the global phenomenon of climate change and its various regional effects.

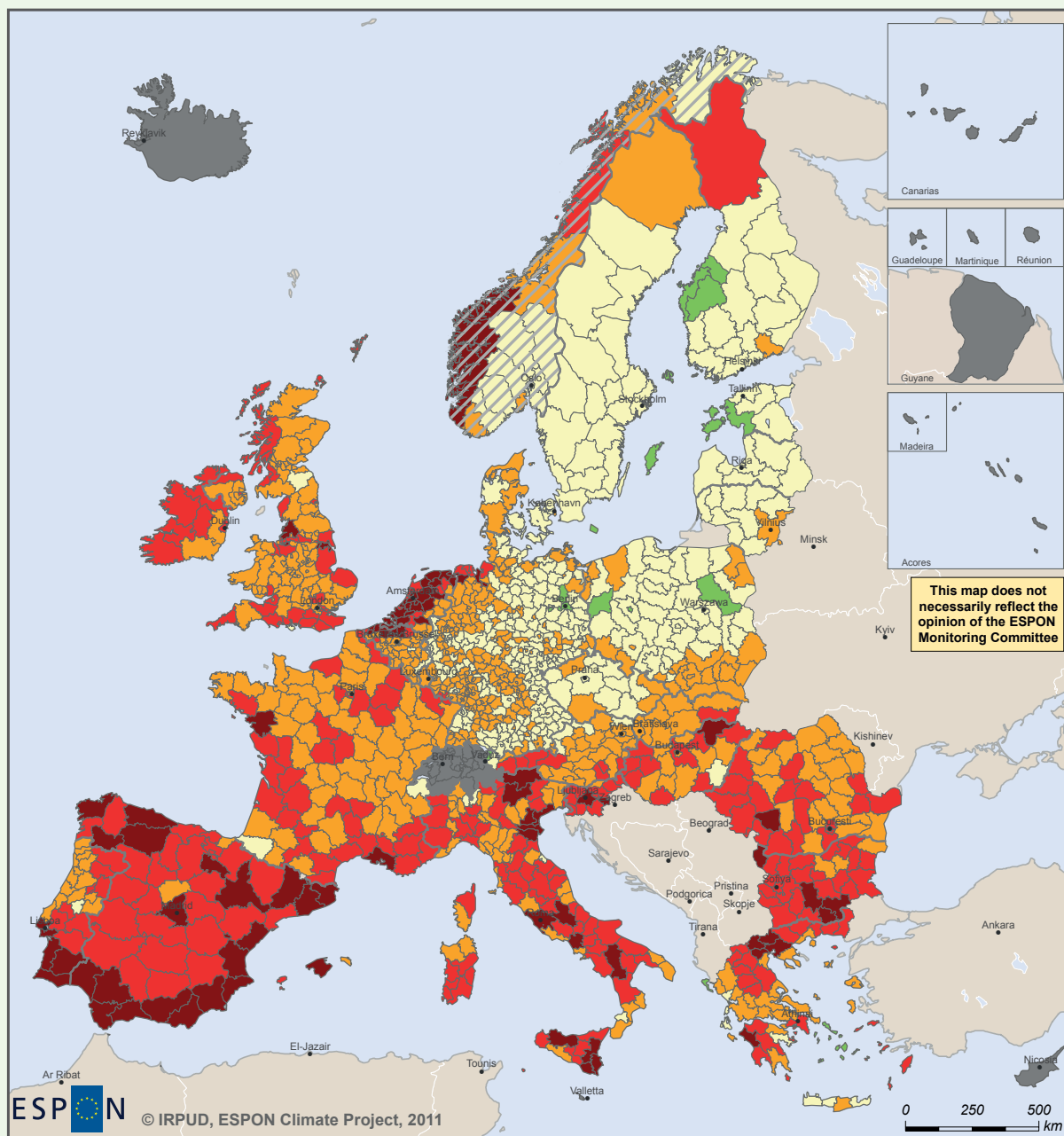
1. DER KLIMAWANDEL ALS WELTWEITES PHÄNOMEN MIT REGIONALEN AUSWIRKUNGEN

Der Klimawandel ist ein weltweites Phänomen. Seine Auswirkungen betreffen Städte und Regionen in sehr unterschiedlicher Art und Weise. Dies gilt nicht nur im globalen, sondern auch im nationalen Maßstab.

Eine Auswertung von Klimaprojektionen für die Periode von 2071 bis 2100 im Rahmen des EU-finanzierten Projektes *ESPON CLIMATE* macht die Unterschiede auf europäischer Ebene deutlich: Der Süden Europas und die Küstenregionen sind wesentlich stärker betroffen als

innereuropäische Regionen (s. Abb. 1.1). Dennoch stellt sich auch für Luxemburg die Frage, wie sich das Land und die Kommunen an die unausweichlichen Auswirkungen des Klimawandels anpassen können.

Abb. 1.1 Der Klimawandel und die europäischen Regionen – Mögliche Auswirkungen¹



Aggregate potential impact of climate change

- highest negative impact (0.5 - 1.0)
- medium negative impact (0.3 - <0.5)
- low negative impact (0.1 - <0.3)
- no/marginal impact (>0.1 - <0.1)
- low positive impact (-0.1 - >-0.27)
- no data*
- reduced data*

Weighted combination of physical (weight 0.19), environmental (0.31), social (0.16), economic (0.24) and cultural (0.1) potential impacts of climate change. Weights are based on a Delphi survey of the ESPON Monitoring Committee.

Impact calculated as combination of regional exposure to climatic changes and recent data on regional sensitivity. Climatic changes derived from comparison of 1961-1990 and 2071-2100 climate projections from the CCLM model for the IPCC SRES A1B scenario.

*For details on reduced or no data availability see Annex 9.

Für den europäischen Raum wurden im Rahmen des EU-finanzierten ESPON 2013 Programms, dem European Spatial Planning Observation Network, Untersuchungen zu den möglichen Auswirkungen des Klimawandels durchgeführt.

Die moderne Gesellschaft mit ihren dicht bebauten Städten, den hochsensiblen Infrastrukturen und intensiven Flächennutzungen ist besonders anfällig für mögliche Folgen des Klimawandels – wie beispielsweise die Zunahme von Schadensereignissen durch Hochwasser, Starkregen oder Stürme zeigt. Dies erfordert vorausschauendes Handeln, um die langlebigen, wenig flexiblen räumlichen und baulichen Strukturen an die neuen Herausforderungen anzupassen. Daher ist es wichtig, sich jetzt dieser Problematik bewusst zu werden und sich rechtzeitig Gedanken über Anpassungsstrategien und -maßnahmen zu machen.

Klimaanpassung ist ein neues Feld im politischen Handeln und in der Arbeit der fachlich betroffenen Ressorts. Daher legt die Broschüre den Schwerpunkt auf Anpassungsmaßnahmen, zumal sich diese in die zukünftige Entwicklung der luxemburgischen Agglomerationen und damit in umfassende Strategien zum Ausbau der Städte und Infrastrukturen einbetten müssen. Dabei können sie sehr wohl zur Steigerung der Lebensqualität beitragen, mögliche Konflikte im Hinblick auf andere planerische Belange müssen jedoch sorgfältig abgewogen werden. Hier kommt der Raumplanung die wichtige Rolle zu, Synergien auszuloten und zu nutzen und die unterschiedlichen Belange der Raumentwicklung zu koordinieren.

Die Broschüre wendet sich an alle Akteure, die sich mit der Umsetzung der Raumordnung sowie mit der räumlichen Planung auf Gemeindeebene befassen. Sie gibt einen Überblick zu den Grundlagen des Klimawandels und seinen erwarteten Auswirkungen in Luxemburg. Es werden die besonderen Herausforderungen für die räumliche Planung im Kontext des Klimawandels beleuchtet. Nach einem kurzen Blick auf raumrelevante Strategien im Klimaschutz werden Handlungsfelder und

Maßnahmen zur Klimaanpassung sowie mögliche Wege der Umsetzung aufgezeigt. Damit leistet die Broschüre auch einen Beitrag für die Weiterentwicklung der nationalen Anpassungsstrategie in Luxemburg.

Die hier dargestellten Untersuchungsergebnisse sind der luxemburgische Projektbeitrag zum transnationalen Kooperationsprojekt C-Change², das von der europäischen Kommission im Rahmen des INTERREG IV B-Programms gefördert wird. Neun Partner aus verschiedenen nordwesteuropäischen Regionen und von unterschiedlichen Planungsebenen arbeiten zusammen, um zu einem „Sinneswandel“ (*sea-change*) in Bezug auf Verständnis und Verhalten in Anbetracht des Klimawandels beizutragen und praktische Lösungen für die damit verbundenen Herausforderungen zu finden.

In der europäischen Politik ist der Klimawandel bereits seit längerem Thema: Im April 2009 legte die EU-Kommission das Weißbuch „Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen“ als eine wichtige Ergänzung zur Klimaschutzpolitik der EU vor³. In zahlreichen Programmen und Projekten unterstützt die EU die Mitgliedsstaaten bei der Suche nach innovativen Lösungen im Umgang mit dem Klimawandel und fördert entsprechende grenzüberschreitende und transnationale Kooperationen, so auch die strategische Cluster-Initiative *Adaptation to the Spatial Impacts of Climate Change (SIC adapt!)*⁴. Im Rahmen dieser Initiative kooperieren acht transnationale Projekte – darunter auch das C-Change-Projekt – mit insgesamt über 100 Projektpartnern, um ihre Anstrengungen zur Förderung effektiver Klimaanpassung in Nordwesteuropa zu bündeln. Die luxemburgische Landesplanung ist einer dieser Partner und kann auf Erfahrungen im Austausch mit anderen Regionen zurückgreifen. Diese haben auch Eingang in die vorliegende Broschüre gefunden.

Luxemburg hat sich bereits auf den Weg gemacht – mit der Partnerschaft für Umwelt und Klima, dem Klimaschutzplan und der Nationalen Anpassungsstrategie⁵

Die europäischen Klimaschutzziele sind langfristig nur durch einen Ausstieg aus den fossilen Energien, mittelfristig durch eine deutliche Reduktion der CO₂-Emissionen um 20 bis 30% zu erreichen. Seit der Präsentation des ersten Nationalen Aktionsplans zum Klimaschutz im Jahr 2006 ist deutlich geworden, dass eine erfolgreiche Umsetzung dieser Ziele nur auf der Basis eines breiten gesellschaftlichen Konsenses möglich ist. Im Frühjahr 2010 rief die Regierung daher eine „Partnerschaft für Umwelt und Klima“ (*Partenariat pour la protection de l'environnement et du climat*) ins Leben. Sie wollte damit eine Plattform für einen offenen und transparenten Dialog zwischen allen relevanten Akteuren schaffen. Hier arbeiten Vertreter der Politik und der staatlichen Verwaltung, der Unternehmer- bzw. Arbeitgeberorganisationen, der Gewerkschaften, der Gemeinden und von Nicht-Regierungsorganisationen zusammen.⁶

Ziel ist die Ausarbeitung zentraler Beschlüsse und Verpflichtungen zum Umwelt- und Klimaschutz sowie zur Anpassung an die unvermeidlichen Folgen des Klimawandels. Die hier entwickelten Maßnahmen und Programme zur nationalen Klimapolitik sollen in die Langfriststrategie der nationalen Nachhaltigkeitspolitik, die im *Plan National du Développement Durable* (PNDD) ihren Niederschlag findet, integriert werden und diesen konkretisieren. Der PNDD liefert dabei dem *Partenariat* wichtige Kriterien und eine Orientierungshilfe für seine Arbeit.

Erste Ergebnisse wurden der Regierung in Form eines *Paquet Climat* im Mai 2011 vorgelegt. Dieses *Paquet Climat* liefert die Ansätze zu einem neuen (2.) Nationalen Aktionsplan für den Klimaschutz, der inzwischen als Entwurf vorliegt, sowie die Grundlagen für einen „Klimapakt“ (*Pacte Climat*) zwischen den Gemeinden und

dem Staat. Für eine Nationale Klimaanpassungsstrategie werden grundlegende Zielsetzungen formuliert, die wichtigsten Themen benannt und ein Plan zur weiteren Ausarbeitung und Umsetzung der Strategie vorgelegt. Demnach zielt die Anpassungsstrategie darauf ab, (1) dem Klimawandel optimal zu begegnen, (2) die Verletzlichkeit der Gesellschaft und der Natur gegenüber den klimatischen Veränderungen zu begrenzen sowie (3) die Potenziale, die sich möglicherweise aus dem Klimawandel ergeben, sinnvoll und profitabel zu nutzen.

Die bisherigen Ansätze der nationalen Anpassungsstrategie beziehen sich in erster Linie auf die Wahrung und nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen Biodiversität, Wälder, Wasser sowie Landwirtschaft⁷. Die Maßnahmenvorschläge in Bezug auf die Biodiversität zielen auf eine Erhöhung der Resilienz der Ökosysteme gegenüber den klimatischen Veränderungen. Hier sind insbesondere die Festlegung, Gestaltung und Pflege eines grünen (terrestrischen) und blauen (aquatischen) Biotopnetzwerks sowie die Erhaltung und Wiederherstellung von Feuchtgebieten und Wasserläufen aus raumordnerischer Sicht relevant. In Bezug auf das Thema „Wasser“ steht der Schutz vor Hochwasser und Überschwemmungen im Mittelpunkt der Betrachtung.

Mit Beschluss des *Conseil de Gouvernement* vom 6. Mai 2011 werden die Minister aufgefordert, die nationale Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Bezug auf die bisher bearbeiteten Themenfelder anzuerkennen. Im Rahmen einer ersten Überarbeitung soll diese Strategie innerhalb der nächsten zwei Jahre durch weitere Themenfelder in den Bereichen Gesundheit, Boden, Industrie, Finanzen, Raumordnung, Sicherheit der Zivilbevölkerung und Tourismus ergänzt werden.⁸

¹ Website ESPON

² www.cchangeproject.org

³ Europäische Kommission 2009

⁴ www.sic-adapt.eu

⁵ www.developpement-durable-infrastructures.public.lu/fr/developpement-durable-infrastructures/partenariat/index.html

⁶ MDDI o.J.

⁷ MDDI 2011a: 58

⁸ MDDI 2011b

2. DER KLIMAWANDEL UND DIE FOLGEN FÜR LUXEMBURG

Wissenschaftler sind davon überzeugt, dass sich der Klimawandel bereits heute zeigt. Weltweit ist eine Erhöhung der Durchschnittstemperaturen feststellbar. Steigende Meeresspiegel, höhere Meerestemperaturen und eine Zunahme von extremen Wetterereignissen signalisieren die Veränderung des Klimas.

Daten des *National Climatic Data Center* der USA belegen, dass die weltweit zehn wärmsten Jahre seit 1880 in den Zeitraum zwischen 1998 und 2010 fallen. Die Temperaturabweichungen liegen hierbei zwischen 0,52°C und 0,69°C gegenüber dem globalen Mittelwert bezogen auf die Jahre zwischen 1961 und 1990.¹

Auch in Luxemburg verzeichnen die Klimaforscher einen Anstieg der Temperaturen und Änderungen im Niederschlagsverhalten². Eine zentrale Frage ist, ob und wie konkret sich die Auswirkungen des Klimawandels auf die luxemburgischen Städte und Regionen bestimmen lassen. Antworten darauf liefern regionale Klimaprojektionen, die auf der Grundlage von globalen Klimamodellen entwickelt werden.

2.1 Klimamodelle und -projektionen

Globale Klimamodelle zeigen die Bandbreite möglicher Änderungen auf

Wie wird sich das Klima in den nächsten hundert Jahren verändern, und mit welchen Folgen müssen wir rechnen? Diesen Fragen geht der *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) nach, der 1988 als wissenschaftlicher Beirat der Vereinten Nationen und Weltmeteorologenorganisation gegründet wurde. Er wertet die neuesten Forschungen zu diesem Thema aus und fasst sie in regelmäßig erscheinenden Berichten zusammen.³

Die globalen Klimaprojektionen im 4. Sachstandsbericht des IPCC von 2007 gehen von einem Anstieg der globalen Jahresmitteltemperatur zwischen 1,1°C und 6,4°C bis zum Ende des 21. Jahrhunderts aus. Als Gründe kommen natürliche, aber vor allem anthropogene Einflüsse in

Frage. Immerhin stiegen die Treibhausgasemissionen, die als ein wesentlicher Antriebsfaktor des Klimawandels gelten, zwischen 1970 und 2004 um 70% an.⁴

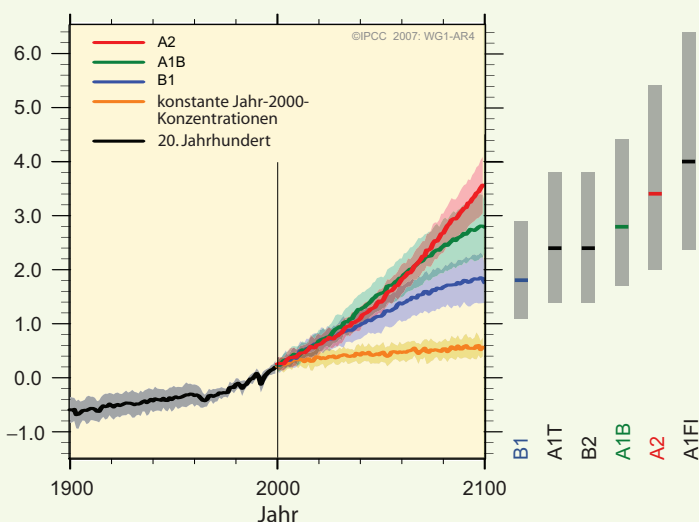
Klimaprojektionen werfen einen Blick auf die künftige Entwicklung des Klimas. Ihnen liegen Klimamodelle zugrunde, die das Klimasystem anhand bestimmter physikalischer, chemischer und biologischer Faktoren berechnen. Diese Klimamodelle werden mit Emissionsszenarien (SRES) gekoppelt, in denen Annahmen über den Ausstoß von Treibhausgasen bis zum Jahr 2100 getroffen werden.⁵

Der IPCC hat verschiedene Szenarien entworfen. Die Größenordnung, die der zukünftige Ausstoß von Treibhausgasen annehmen könnte, hängt von der weltweiten Entwicklung der Ökonomie, der Bevölkerungszahlen und der Nutzung fossiler Brennstoffe ab. Die Emissionsszenarien beschreiben unterschiedliche globale Entwicklungspfade, die wiederum eine Bandbreite von prognostizierten Klimaänderungen zur Folge haben⁶ (s. Abb. 2.1).

Regionalisierung der globalen Klimamodelle

Auf regionalem Maßstab spielen zusätzliche Besonderheiten des Klimas eine Rolle. Hier bestimmen typische Großwetterlagen die Ausprägung klimatischer Indikatoren wie Temperatur und Niederschlag. Daneben beeinflussen Topographie, Oberflächenstrukturen und Nutzungen das regionale Klima erheblich. Die globalen Klimaprojektionen bilden diese „Feinheiten“ nicht ab, da sie mit einem relativ grobmaschigen Gitter arbeiten, damit der Rechenaufwand handhabbar bleibt. Regionen werden jedoch so nicht repräsentativ erfasst. Daher kommen zusätzliche regionale Klimamodelle mit einer deutlich höheren Gitterauflösung zum Einsatz.⁷

Abb. 2.1 Emissionsszenarien und die geschätzten Bandbreiten der globalen Erwärmung⁸



Das Diagramm zeigt die Multimodell-Mittel der Erwärmung an der Erdoberfläche (relativ zu 1980-1999) für die SRES-Szenarien A2, A1B und B1, dargestellt als Verlängerung der Simulationen für das 20. Jahrhundert. Die grauen Balken auf der rechten Seite zeigen die beste Schätzung (durchgezogene Linie innerhalb des Balkens) und die Bandbreite für die sechs SRES-Musterszenarien.

Dabei geht die A1-Familie von einem starken Wirtschaftswachstum, der schnellen Entwicklung neuer Technologien und einer vorerst wachsenden Weltbevölkerung aus. Dem A1FI-Szenario liegt eine fossil-intensive Energienutzung zugrunde; A1T beruht auf der Nutzung überwiegend nichtfossiler und A1B einer ausgewogenen Nutzung aller Energiequellen. Während die A1-Familie eine homogene globale Entwicklung beschreibt, steht die A2-Familie für eine heterogene, regional unterschiedliche Wirtschaftsentwicklung. Die B-Familie ist von einer Orientierung auf sozialen Ausgleich, Nachhaltigkeit und Umweltschutz geprägt. Im Allgemeinen wird auf das ausgewogene Szenario A1B Bezug genommen. Im Sinne vorsorgender Planung sollten jedoch auch worst case-Szenarien betrachtet werden.

Um Unsicherheiten zu begegnen, werden meist mehrere Modelle parallel für die Simulationen verwendet – die sogenannten Ensembles. Zeigen mehrere Modelle hinsichtlich der Temperatur- und Niederschlagsdaten den gleichen Trend, ist deren Eintreten wahrscheinlicher als bei gegensätzlichen Ergebnissen. Für größere Städte reichen auch die regionalen Klimamodellierungen nicht aus. Hier kommen eigene Stadtklimamodelle zur Anwendung.

2.2 Klimaprojektionen für Luxemburg

Mit welchen klimatischen Änderungen Luxemburg in Zukunft rechnen muss und welche Folgen sich daraus für das Land ergeben, wird derzeit am *Centre de Recherche Public – Gabriel Lippmann* (CRP-GL) untersucht. Dieses Institut übernimmt eine zentrale Rolle bei der Klimabeobachtung und der Klimamodellierung in Luxemburg. Hier wird der überwiegende Teil klimabezogener Messungen im Großherzogtum akkumuliert. Die meteorologischen Basisdaten stammen von den Messstationen des *Service Météorologique de Luxembourg* am Flughafen Findel (MET), der *Administration des Services techniques de l'Agriculture* (ASTA) sowie des Weinbauinstituts *Institut viti-vinicole* (IVV).

Das CRP-GL ist zudem in mehrere Forschungsprojekte zum Thema Klimawandel involviert, wobei ein Schwerpunkt auf der Betrachtung der hydrologischen Auswirkungen liegt. Wichtige Ergebnisse hierzu lieferte die Studie „RheinBlick2050“ der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes⁹, die auf Daten des europäischen *FP6 ENSEMBLES*-Projekt¹⁰ zurückgreift. Sie gibt eine erste Übersicht zur künftigen klimatischen Entwicklung in Luxemburg, da sie auch Aussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels im Einzugsgebiet der Mosel einschließt.

Grundlage für die nachfolgende Betrachtung von wichtigen Klimaparametern und deren erwartete Veränderung im Zuge des Klimawandels sind aktuelle Analysen des CRP-GL, die im Rahmen verschiedener Interreg-Projekte in Nordwesteuropa durchgeführt werden*. Dazu gehört auch die Arbeit an einer höheren Auflösung (9x9 km) der regionalen Klimamodelle; bisher stehen die Prognosedaten nur in einer Auflösung von 25x25 km zur Verfügung. Daher wird im Folgenden für eine Betrachtung der Unterschiede

in den regionalen Betroffenheiten Luxemburgs auf Analysen der aktuellen Klimasituation Bezug genommen¹¹.

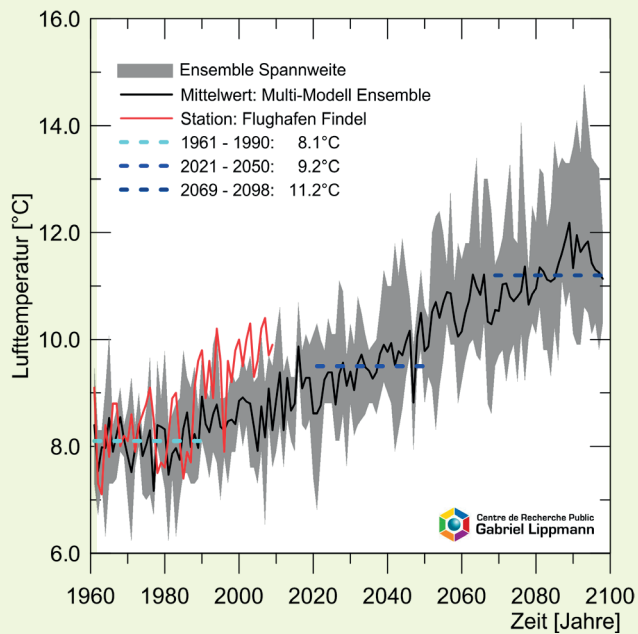
Heute herrscht in Luxemburg ein gemäßigtes Kontinental-klima, das durch atlantische Meereswinde beeinflusst wird: Es zeichnet sich durch milde Winter und warme, nicht zu heiße Sommer aus¹². Für die Zukunft werden die nachfolgend beschriebenen Veränderungen erwartet:

Es wird – dem allgemeinen Trend folgend – wärmer in Luxemburg

Das 30-jährige Lufttemperaturmittel soll um 1,1°C bis 2050 und um weitere 2°C bis 2098 ansteigen (s. Abb. 2.2). Dies klingt zunächst wenig, aber dahinter verbergen sich große Schwankungsbreiten im Witterungs- und Wettergeschehen, wie das folgende Beispiel zeigt: Für die Periode 1971–2000 gibt der *Atlas Climatique du Grand-Duché de Luxembourg*¹³ eine Jahresmitteltemperatur von 7,6°C an. Die Monatsmitteltemperaturen betragen dabei zwischen 4,5°C im Dezember und 10,0°C im August. Die mittleren Monatsmaxima der Temperaturen im August liegen bereits bei 22,5°C; das absolute Temperaturmaximum für Findel beläuft sich sogar auf 36,6°C. Die in den Klimaszenarien prognostizierten Temperaturverschiebungen von 3,1°C bis zum Ende des Jahrhunderts haben somit erhebliche Konsequenzen für das zukünftige Wetter.

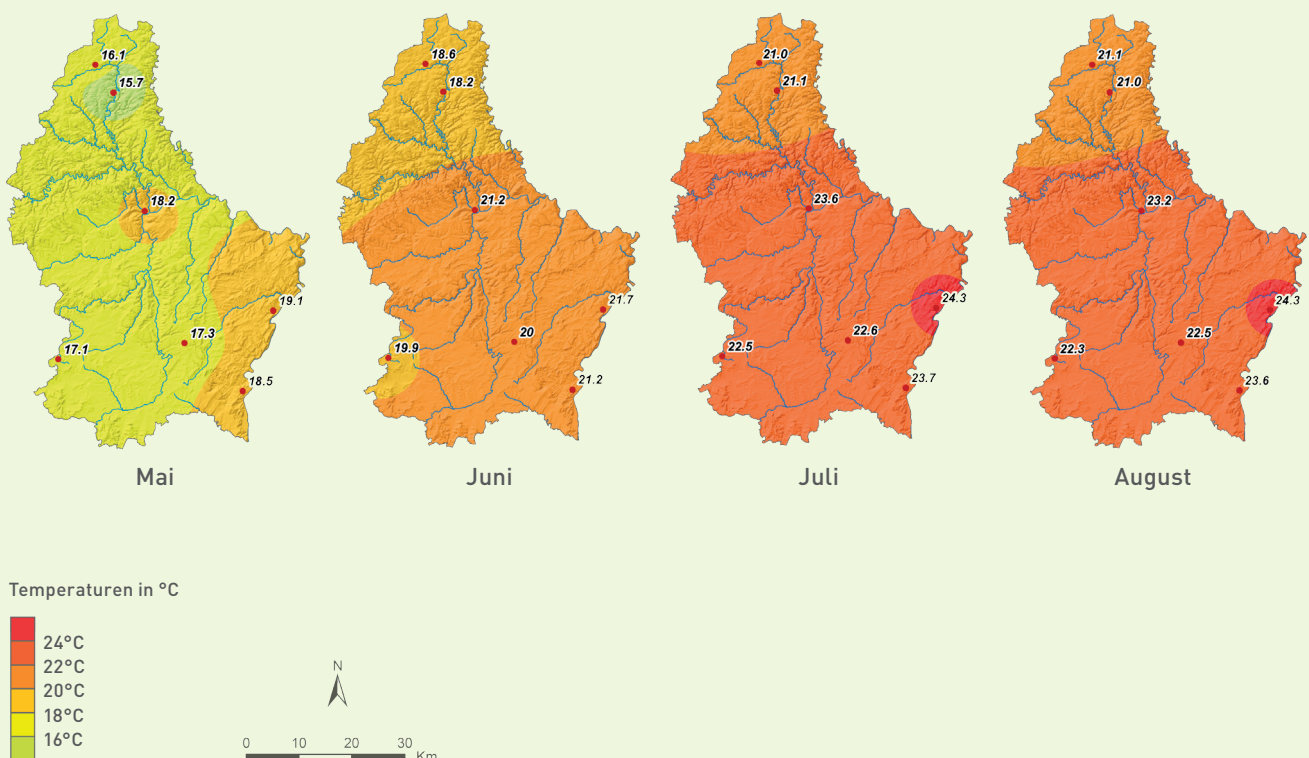
Aufgrund ihrer Größe beeinträchtigen sommerliche Hochdruckgebiete, die für austauscharme Wetterlagen mit hohen Temperaturen verantwortlich sind, ganz Luxemburg. Räumliche Differenzierungen ergeben sich aus den aktuellen, temperaturbeeinflussenden Faktoren, d.h. insbesondere der Topographie und der Ausprägung von Stadtklimaten. Der *Atlas Climatique du Grand-Duché de Luxembourg*¹⁴ zeigt die aktuellen räumlichen Unterschiede innerhalb des Landes auf (s. Abb. 2.3). Dargestellt sind die mittleren Monatsmaxima der Temperaturen im August in der Periode 1971–2000. Vor allem durch die Höhenlage bedingt ergeben sich deutliche räumliche Differenzierungen: Die mittleren Monatsmaxima variieren im August zwischen 21,1°C in Asselborn im Ösling und 24,3°C in Grevenmacher im Moseltal. Diese regionale Differenzierung lässt sich in Grundzügen auch für feinmaschigere Klimaprojektionen annehmen.

*Interreg IIIB NWE Projekt WaReLa (Laurent Pfister) (http://www.geoko-ekologie.de/download_forum/forum_2006_1_spo061d.pdf); Interreg IVB Projekt FORESTCLIM (Klaus Görden) (<http://www.forestclim.eu/>)

Abb. 2.2 Zeitreihen der Jahresmittel der Lufttemperatur in °C¹⁵

Die Abbildung zeigt die Veränderung des Jahres-mittels der Lufttemperatur vor dem Hintergrund des A1B-Szenarios. Der Mittelwert aus 6 verschiedenen Modellen des *ENSEMBLES*-Projektes ist als schwarze Linie dargestellt. Es bezieht sich auf die Jahresmittel von 1961 bis 2098. Für den Referenzzeitraum von 1961 bis 1990 wurde genau wie für die simulierten Zeiträume 2021-2050 und 2069-2098 ein Mittelwert über 30 Jahre hinweg bestimmt. Diese Betrachtungsweise ist notwendig, da einzelne Jahresmittelvergleiche das Klima als statistisch langfristiges Phänomen nicht ausreichend beschreiben.

Schwarz: Mittelwert des Multi-Model Ensembles (6 ausgewählte Modellläufe).
Grau schattiert: Ensemble Spannweite, definiert durch den jeweiligen Minimum- und Maximumwert.
Rot: Station Flughafen Findel, langjähriges Jahresmittel 1961 bis 1990 = 8.3°C.
Blau gestrichelt: Mittelwerte des Multi-Model Ensembles für die jeweiligen 30-jährige Analysezeiträume.
Mittlere Ensemble-Spannweiten: 1961 bis 1990 = 1.7°C, 2001 bis 2050 = 2.0°C, 2069 bis 2098 = 2.9°C.

Abb. 2.3 Mittlere Monatsmaxima der Temperaturen von Mai bis August in der Periode 1971-2000¹⁶

Erhebliche Zunahme der Niederschläge im Winter, deutliche Abnahme im Sommer

Neben der Veränderung der Temperatur stellt die des Niederschlags einen wichtigen Parameter zur Beschreibung der Klimaänderung dar. In Luxemburg bedeutet dies für die 30-jährlichen Mittel nur sehr geringe Unterschiede in den Niederschlagssummen. Erst ab 2069 nimmt der Niederschlag gegenüber dem Referenzszenario um fast 35 mm ab (s. Abb. 2.4).

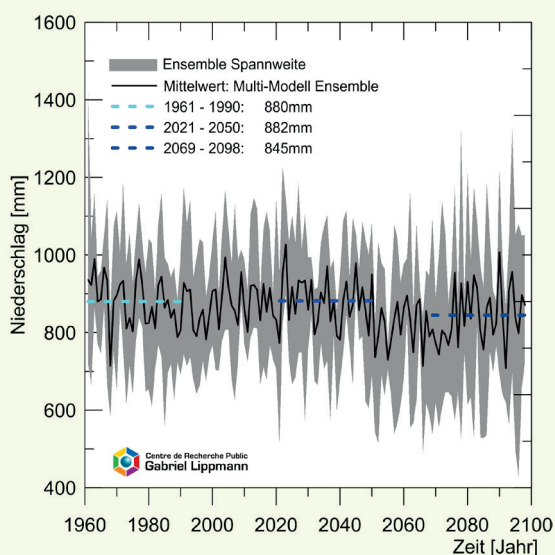
Ein anderes Bild ergibt sich jedoch für die saisonale Betrachtung s. Abb.2.6. Im Winter wird mit einer erheblichen Zunahme der Niederschläge gerechnet: Von 241 mm im Referenzzeitraum 1961-1990 steigt die Menge um 19 mm bis 2050 und um weitere 16 mm bis 2098. Im Sommer

mit derzeit 206 mm Niederschlag kommt es dagegen zu einer deutlichen Abnahme um 17 mm bis 2050 und um weitere 45 mm bis 2098.

Gemäß dem *Atlas Climatique du Grand-Duché de Luxembourg*¹⁷ (Periode 1971-2000) ergeben sich für die Niederschlagsverteilung innerhalb von Luxemburg starke räumliche Unterschiede (s. Abb. 2.5): Vor allem in West-Ost-Richtung nimmt die Niederschlagsmenge deutlich ab. Hierbei ist die Differenzierung im Bereich des Gutlandes zum Moseltal hin orographisch bedingt stärker als im Ösling, wo generell höhere Niederschlagsmengen zu erwarten sind.

Aus der Zusammenschau der saisonalen Temperatur- und Niederschlagsdaten wird deutlich, dass es im Sommer häufiger zu Trockenperioden kommen wird (s. Abb. 2.7).

Abb. 2.4 Zeitreihen der Jahressummen des Niederschlags in mm¹⁸



Schwarz: Mittelwert des Multi-Model Ensembles (6 ausgewählte Modellläufe).
Grau schattiert: Ensemble Spannweite, definiert durch den jeweiligen Minimum- und Maximumwert.
Blau gestrichelt: Mittelwerte des Multi-Model Ensembles für die jeweiligen 30-jährigen Analysezeiträume.
Mittlere Ensemble-Spannweiten: 1961 bis 1990 = 340 mm, 2021 bis 2050 = 328 mm, 2069 bis 2098 = 423 mm.

Abb. 2.5 Jahresniederschlag sowie Niederschlag im August und Dezember für die Periode 1971-2000¹⁹

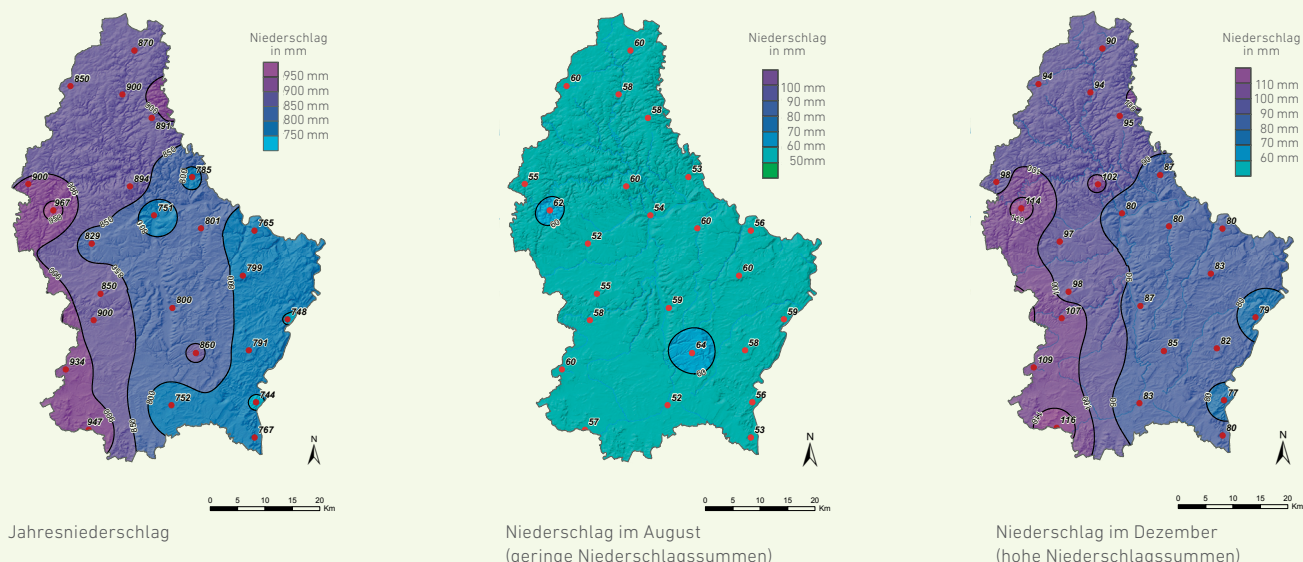


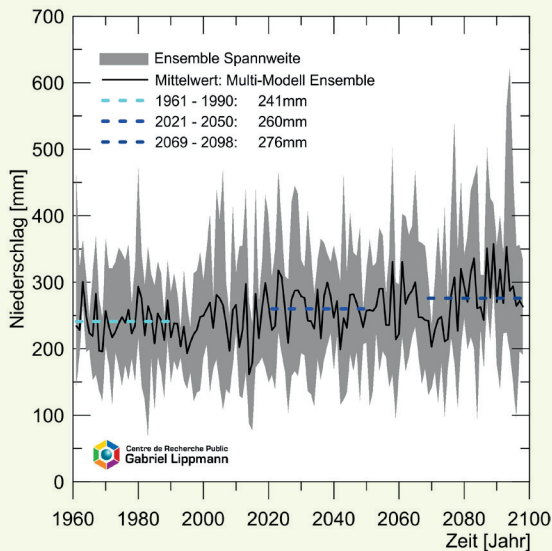
Abb. 2.6 Zeitreihen der Niederschlagssummen für die meteorologischen Jahreszeiten in mm²⁰

Schwarz: Mittelwert des Multi-Model Ensembles (6 ausgewählte Modellläufe).

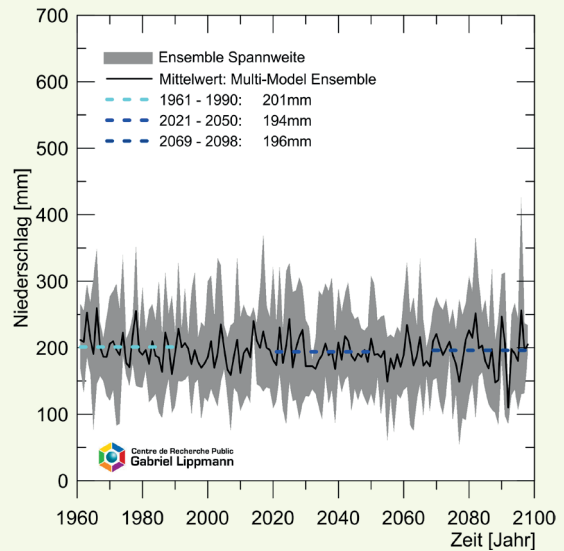
Grau schattiert: Ensembles Spannweite, definiert durch den jeweiligen Minimum- und Maximumwert.

Blau gestrichelt: Mittelwerte des Multi-Model Ensembles für die jeweiligen 30-jährige Analysezeiträume.

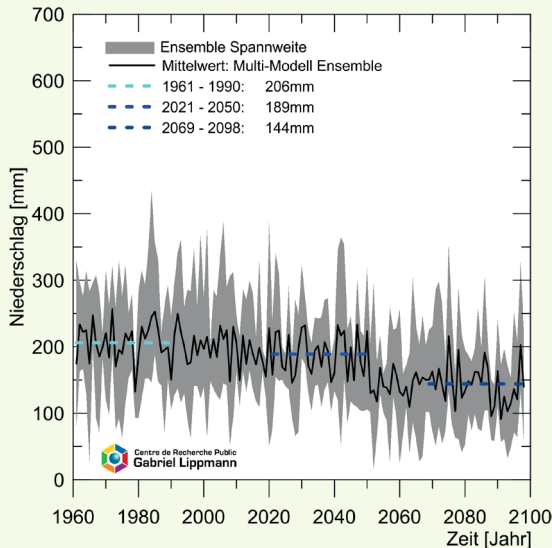
A) Winter (Dezember, Januar, Februar)



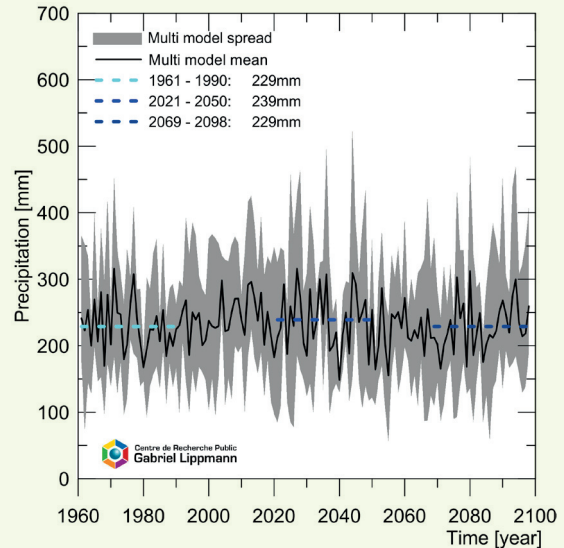
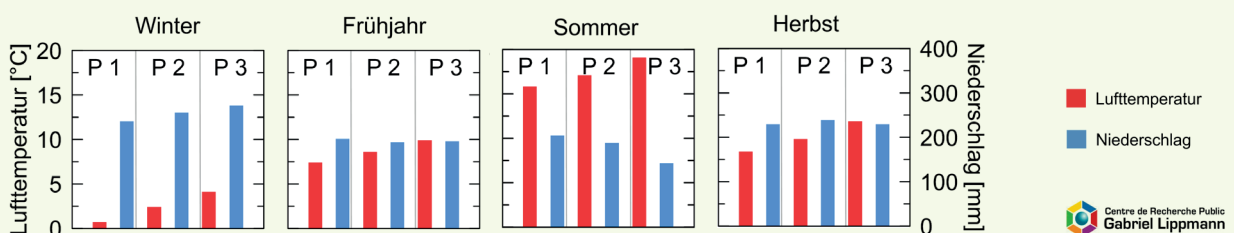
B) Frühjahr (März, April, Mai)



C) Sommer (Juni, Juli, August)



D) Herbst (September, Oktober, November)

**Abb. 2.7** Mittelwerte des Multi-Model Ensembles zu Lufttemperatur und Niederschlag²¹

Balkendiagramme der langjährig (30 Jahre) gemittelten Mittelwerte des Multi-Model Ensembles (6 ausgewählte Modellläufe) der Lufttemperatur (rot) und des Niederschlags (blau) für die Zeitspannen 1961 bis 1990 (P1), 2021 bis 2050 (P2) und 2069 bis 2098 (P3) für die meteorologischen Jahreszeiten Winter (Dezember, Januar, Februar), Frühjahr (März, April, Mai), Sommer (Juni, Juli, August) und Herbst (September, Oktober, November)

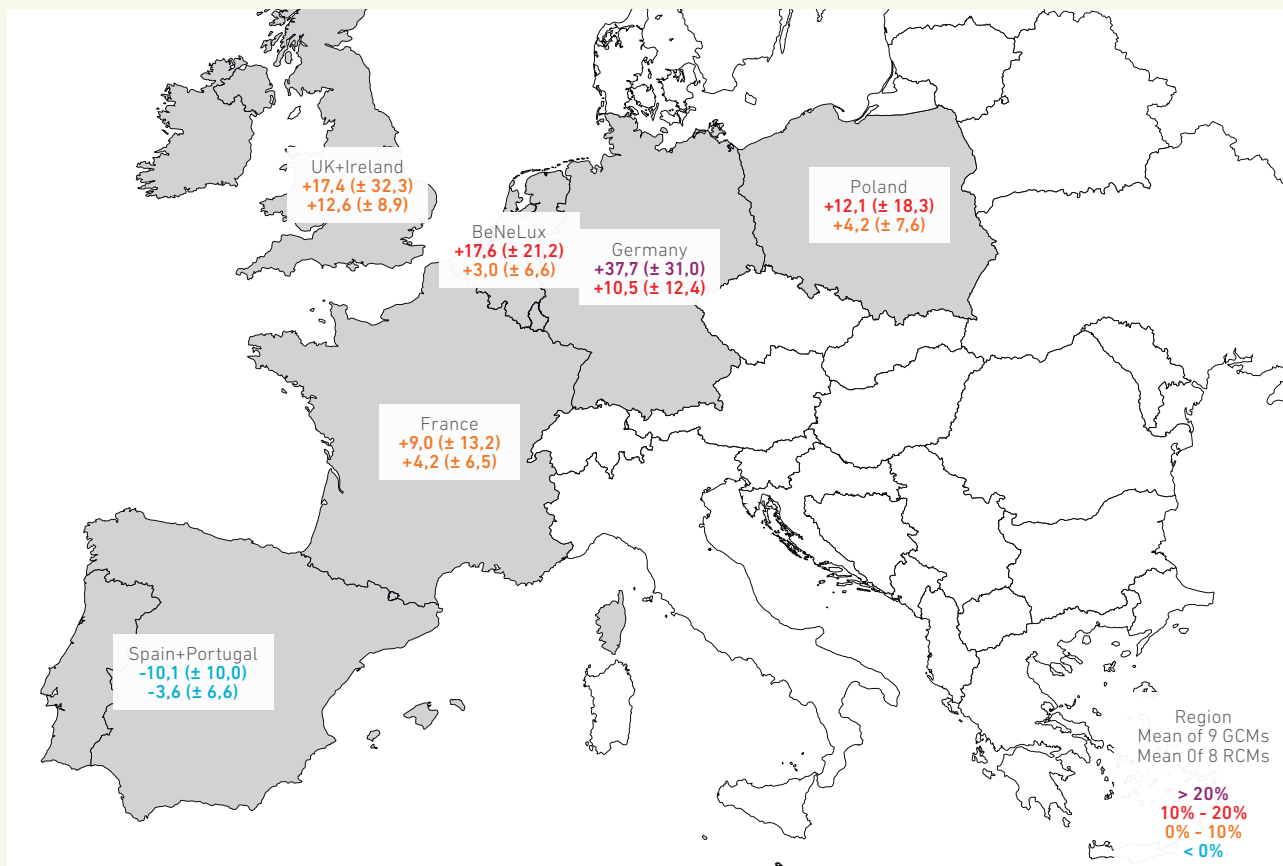
Extremwetterereignisse nehmen zu

Im Zuge des Klimawandels wird zudem von einer Zunahme der Extremwetterereignisse ausgegangen. Darunter fallen Dürre- und Starkregenereignisse, Kälte- und Hitzewellen sowie Stürme.

Eine generelle Zunahme des **Sturmschadenspotenzials** (s. Abb. 2.8) aufgrund häufigerer Stürme mit höheren Windgeschwindigkeiten zeigen die Ergebnisse des *ENSEMBLES*-Projektes 2009²². Auch wenn bis 2100 eine Zunahme der **Starkregenereignisse** erwartet wird (vgl. Simulationen *WETTREG* und *REMO*), lässt sich dies statistisch nur schwer fassen. Für Luxemburg liegen keine detaillierten Zahlenwerte aus Klimamodellen vor. Die aktuelle regionale Differenzierung zeigt Unterschiede zwischen dem westlichen Luxemburg mit durchschnittlich 8,2 Starkregentagen und den östlichen Regionen mit 4,0 Starkregentagen für die Periode von 1971-2000²³ (s. Abb. 2.9).

Änderungen der Eintrittshäufigkeit und Länge von **Kälte- und Hitzewellen** werden über meteorologische Ereignistage bestimmt. Im Hinblick auf Eis-, Frost- und kalte Tage wird für Luxemburg insgesamt von einer deutlichen Abnahme ausgegangen (s. Abb. 2.10). Bezüglich der Sommertage ergibt sich eine deutliche Zunahme von 15 auf 24 Tage für 2050 und auf 46 Tage für 2100. Die heißen Tage mit mehr als 30°C nehmen von 1 auf 3, in manchen Modellen um bis zu 12 Tage (Median) im Jahr zu.²⁴ Die Modellrechnungen zeigen, dass Luxemburg im Vergleich zu Deutschland nicht so stark mit lang andauernden Hitzewellen zu rechnen hat, was sich u.a. aus der Höhenlage erklärt. So wird beispielsweise im benachbarten Saarland mit einer Zunahme der heißen Tage bis 2050 um 5 bis 15 und bis 2100 um 19 bis 45 Tage gerechnet²⁵. Dennoch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer Zunahme der thermischen Belastung für Luxemburg beträchtlich.

Abb. 2.8 Potenzielle Entwicklung der Sturmschäden bis zum Ende des 21. Jahrhunderts²⁶



Relative changes (%) of mean annual storm loss potential based on nine GCM (upper row) and eight RCM (bottom row) simulations for the end of the 21st century (2071-2100) relative to recent climate conditions (1961-2000), assuming the SRES A1B emissions scenario. Values in parentheses are inter-model standard deviations.

Abb. 2.9 Anzahl der Ereignistage für Ereignisse mit Starkregen ($R > 20 \text{ mm}$) für die Periode 1971-2000²⁷

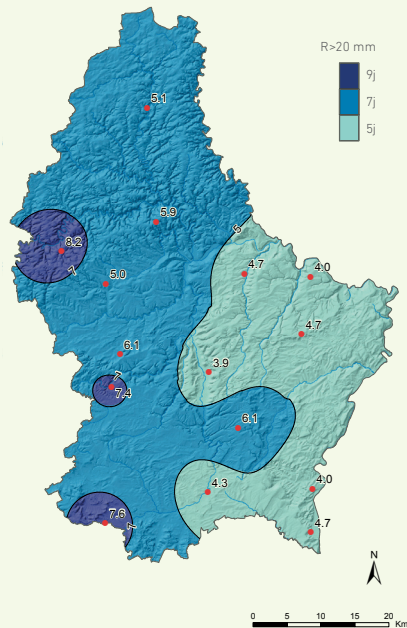
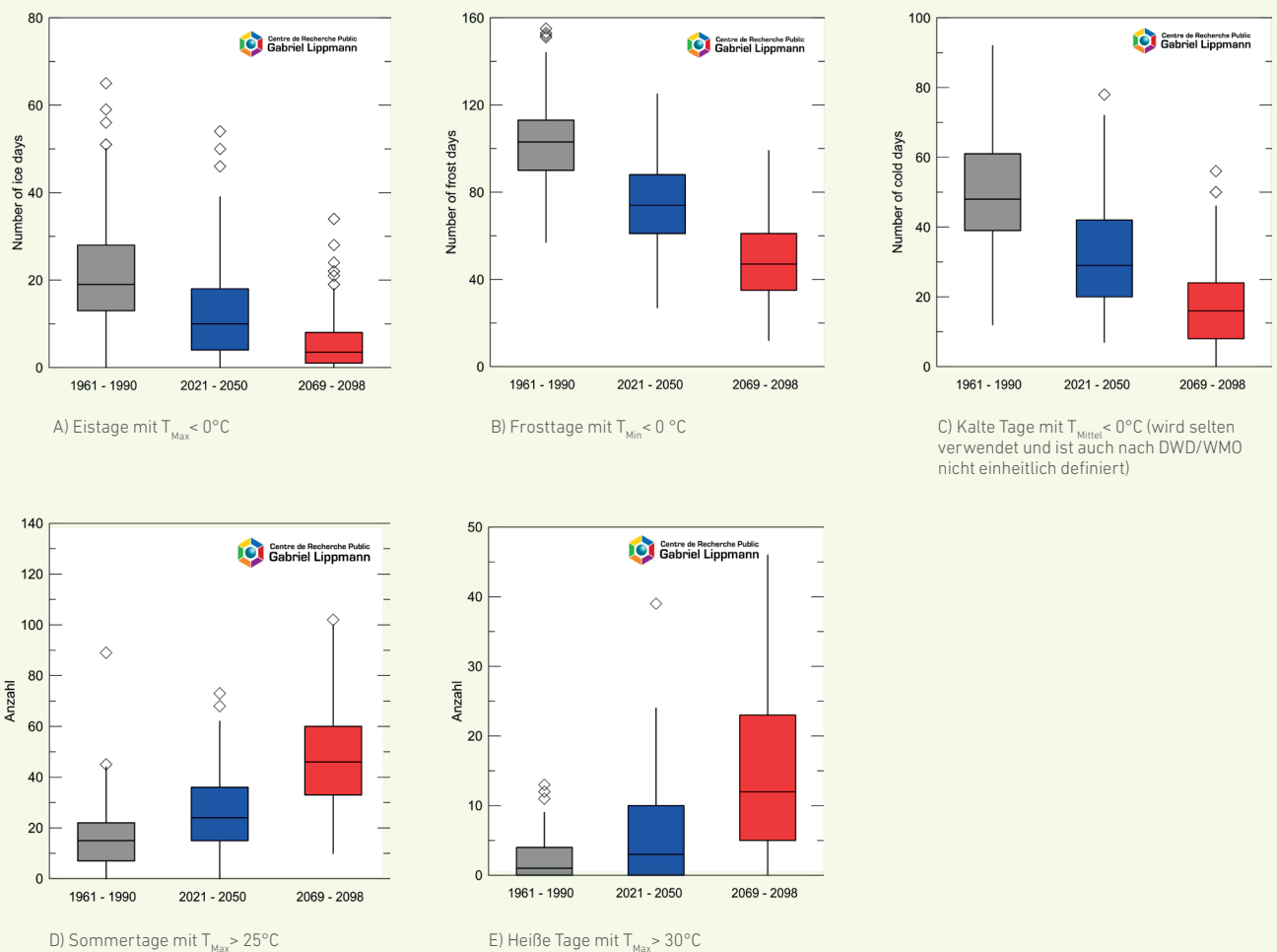


Abb. 2.10 Boxplots für verschiedene meteorologische Ereignistage für die jeweiligen 30-jährigen Analysezeiträume, berechnet aus sechs ausgewählten *ENSEMBLES*-Läufen²⁸



Zusammenfassend ist in Luxemburg nach vorliegenden Erkenntnissen in den nächsten einhundert Jahren mit folgenden Klimaveränderungen zu rechnen (Referenzzeitraum: 1961-1990):

- steigende Durchschnittstemperaturen von 8,1°C auf 11,2°C
- häufigere Hitzewellen oder Hitzeperioden mit deutlich mehr Sommertagen (Maximaltemperatur über 25°C): von 15 auf 46 Tage
- deutlich geringere Niederschläge im Sommer: Reduktion um 62 mm von 206 mm auf 144 mm
- vermehrter winterlicher Niederschlag: Anstieg um 35 mm von 241 mm auf 276 mm
- voraussichtlich häufigere Starkregenereignisse und steigende Gefahr von Stürmen

Klimaanalogien

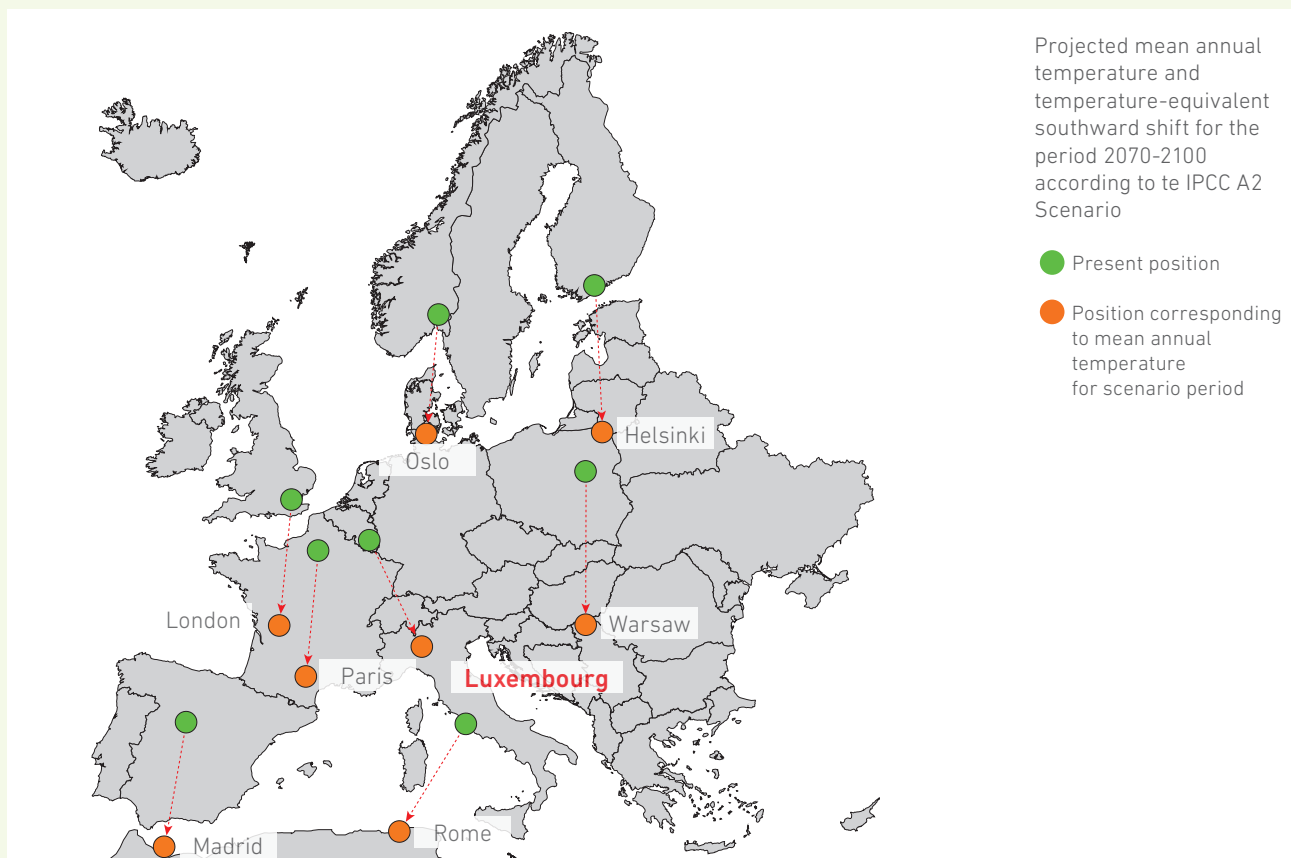
Ein Bild davon, wie sich die klimatischen Bedingungen für einzelne Städte in Europa ändern können, vermitteln Karten von Klimaanalogien²⁹. Sie veranschaulichen aus meteorologischer Sicht sehr plakativ, wie sich Städte infolge des Klimawandels nach Süden „verschieben“. Luxemburg würde mit seiner aktuellen Durchschnittstemperatur von 8,1°C und der zu erwartenden Erhöhung auf 11,2°C vermutlich auf der Höhe von Mailand oder Biarritz liegen (s. Abb. 2.11).

2.3 Veränderung des Stadtklimas

Städte und Agglomerationen stehen im Hinblick auf den Klimawandel vor besonderen Herausforderungen. Denn sie weisen bereits heute einige klimatische Besonderheiten gegenüber dem weniger oder nicht bebauten Umland auf, die die Folgen des Klimawandels möglicherweise noch verstärken. Durch die dichte Bebauung, hohe Versiegelung und die geringen Vegetationsanteile haben städtische Bereiche ein anderes Wärmespeicher- und Wärmeleitvermögen als natürliche Oberflächen: Sie heizen sich gegenüber dem Umland stärker auf und kühlen nachts weniger deutlich ab; im Jahresmittel liegen die Temperaturen im urbanen Raum etwa 1°C bis 3°C höher als im Umland. Tagestemperaturmaxima unterscheiden sich um bis zu 15°C zwischen überhitzten Stadtzentren und dem nicht bebauten Umland. Städte bilden demnach „Hitzeinseln“ aus (s. Abb. 2.12). In mitteleuropäischen Breiten führen insbesondere windschwache und strahlungsreiche Wetterlagen an rund 20% der Tage und 30% der Nächte im Jahr zu typischen Ausprägungen der Stadtklimate.³⁰

Steigende Temperaturen und häufiger auftretende Hitzewellen verstärken den Hitzeinseleffekt. Auch Starkregenereignisse und Hochwasser besitzen in den dicht besiedelten Gebieten ein höheres Schadenspotenzial

Abb. 2.11 Erwartete Südverschiebung europäischer Städte für Temperaturäquivalente zum Ende des 21. Jahrhunderts³¹



als außerhalb der Städte. Daher müssen gerade hier rechtzeitig Maßnahmen ergriffen werden, um die Anfälligkeit von Mensch und Umwelt gegenüber den Folgen des Klimawandels zu verringern.³²

In Luxemburg zeichnet sich insbesondere der Agglomerationsraum rund um die Hauptstadt durch stadtklimatische Besonderheiten aus³³. Angesichts der hohen Entwicklungsdynamik wird sich hier die Problematik weiter verschärfen. Durch die stark wachsende Agglomeration rückt der Stadtkern immer weiter von den Austauschzonen und klimaaktiven Flächen am Siedlungsrand ab. Eine entsprechende Steuerung dieser Entwicklung ist daher von besonderer Bedeutung.

¹ Website NCDC – indicators

² Görgen et al. 2011

³ Website IPCC – organization

⁴ Deutsche IPCC Koordinierungsstelle 2008: 5, 8, 14

⁵ Website IPCC – glossary

⁶ IPCC 2001

⁷ MUNLV 2009: 37

⁸ IPCC 2007: 14

⁹ IKHR 2010

¹⁰ Van der Linden/Mitchell 2009

¹¹ Pfister et al. 2005

¹² Website Wetter – Luxemburg

¹³ Pfister et al. 2005

¹⁴ Pfister et al. 2005

¹⁵ Junk et al. 2012

¹⁶ Pfister et al. 2005: 51

¹⁷ Pfister et al. 2005

¹⁸ Görgen et al. 2011

¹⁹ Pfister et al. 2005: 26, 34, 38

²⁰ Görgen et al. 2011

²¹ Görgen et al. 2011

²² Van der Linden/Mitchell 2009

²³ Pfister et al. 2005

²⁴ Görgen et al. 2011

²⁵ HHP/JRU 2011

²⁶ Van der Linden/Mitchell 2009: 117

²⁷ Pfister et al. 2005: 41

²⁸ Görgen et al. 2011

²⁹ Hiederer/Lavalle 2009

³⁰ Kuttler 2006: 52; BMVBS/BBSR 2009: 14f.; MUNLV 2010b: 28

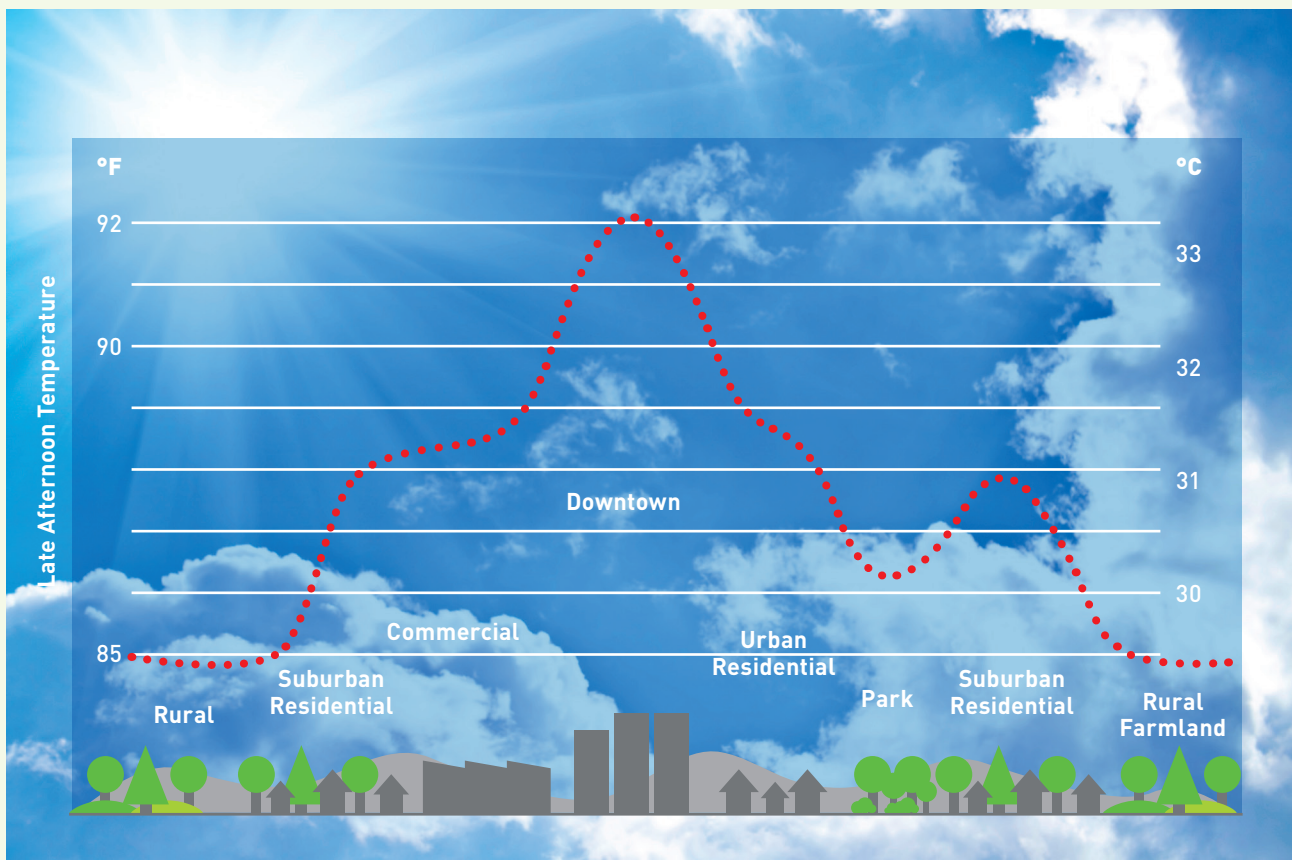
³¹ Hiederer/Lavalle 2009, ergänzt

³² MUNLV 2010a

³³ HHP 2009

³⁴ Website Berkeley Lab 2012

Abb. 2.12 Hitzeinseleffekt³⁴



3. ANFORDERUNGEN AN DIE RÄUMLICHE PLANUNG

Die beschriebenen klimatischen Änderungen betreffen nahezu alle Lebensbereiche. Sie machen sich in den Regionen und Städten bemerkbar und haben Auswirkungen auf die Raumnutzungen. Daher muss sich insbesondere die räumliche Planung verstärkt mit dem Klimawandel und seinen Folgen auseinandersetzen.

3.1 Strategien zum Klimawandel

Grundsätzlich lassen sich zwei Handlungsstränge in der Auseinandersetzung mit dem Klimawandel unterscheiden:

- Der Klimaschutz (Mitigation) zielt auf Maßnahmen zur Reduktion der klimarelevanten (Treibhaus-)Gasemissionen ab. Die Anstrengungen dienen dazu, dem Klimawandel entgegenzuwirken, und betreffen die globale, europäische, nationale, regionale und lokale Ebene. Sie sind in ihren Wirkungszusammenhängen vielfach verflochten.
- Klimaanpassung (Adaption) bedeutet, die Widerstandsfähigkeit (Resilienz) von gesellschaftlichen und ökologischen Systemen gegenüber den unvermeidbaren Auswirkungen des Klimawandels zu erhöhen. Die Verwundbarkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels soll minimiert und die Anpassungsfähigkeit der Systeme verbessert werden, um die Klimafolgen möglichst unbeschadet zu bewältigen. Dazu gehört jedoch auch, die sich eventuell ergebenden positiven Effekte zu nutzen.¹

Zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung kann es durchaus zu Zielkonflikten kommen. Das Vorantreiben der Siedlungsentwicklung im Sinne einer aufgelockerten dezentralen Stadtregion trägt beispielsweise dazu bei, dass gesundheitliche Beeinträchtigungen durch thermische Belastung in dicht bebauten Städten minimiert werden. Die Bevölkerung in hoch verdichteten, kompakten Stadtstrukturen, die sich wesentlich stärker aufheizen, ist hier deutlich gefährdeter. Allerdings eröffnen kompakte Stadtstrukturen bessere Möglichkeiten der Energieeinsparung mit effizienten Versorgungssystemen oder der Reduktion der CO₂-Emissionen durch kurze Wege und energieeffiziente Bauweisen. Hier kommt es auf die konkrete Situation in den Regionen und Städten an, um sinnvolle und angemessene Antworten auf die Anforderungen des Klimaschutzes und die Notwendigkeiten der Klimaanpassung zu finden.

3.2 Klimawandel als Querschnittsaufgabe

Aus diesem Zielkonflikt wird deutlich: Klimaschutz und Klimaanpassung sind Querschnittsaufgaben, die viele Politikbereiche berühren und Wechselwirkungen erwarten lassen. Die Reichweite der räumlichen Planung bei der Umsetzung von Mitigations- und Adaptionenmaßnahmen ist begrenzt; eine Zusammenarbeit mit anderen Ressorts, mit Partnern aus der Wirtschaft, dem sozialen Bereich und der Zivilgesellschaft wird notwendig. Dennoch darf die Rolle einer integrativen räumlichen Planung nicht unterschätzt werden, da es eine eigene Fachplanung, die Datengrundlagen zum Klimawandel bündelt und Zielkonflikte abwägt, nicht gibt. Formen effektiver Steuerung über viele Politikbereiche und Akteursebenen hinweg werden notwendig, damit Maßnahmen koordiniert und gemeinsam auf den Weg gebracht werden können.

In Luxemburg wird der Klimawandel bereits als Querschnittsthema gesehen. Die Landesplanung und unterschiedliche Fachplanungen greifen raumrelevante Themenfelder zu Klimaschutz und Klimaanpassung auf, so im Nationalen Aktionsplan Klimaschutz², dem *Partenariat* für Umwelt und Klima sowie dem Interreg IVB-Projekt C-Change.

Die Instrumente der räumlichen Planung entfalten ihre Wirkungen insbesondere bei Neubauvorhaben bzw. der Flächenvorsorge. Viele Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen müssen jedoch im Siedlungsbestand umgesetzt werden. Diesen entsprechend umzugestalten erfordert eine Neuorientierung der räumlichen Planung: Welche Instrumente werden im Bestand wirksam? Wie lassen sich Förderprogramme zur Anpassung des Siedlungsbestands sinnvoll einsetzen? Welche Kooperationspartner werden hierfür gebraucht?

Eine weitere Herausforderung liegt in der zeitlichen Dimension. Immerhin gehen die Projektionen klimatischer Veränderungen weit über die üblichen Planungshorizonte hinaus. Langfriststrategien sind jedoch im Vergleich zu Lösungserfordernissen aktuell sichtbarer Probleme schwer vermittelbar. Zudem sind viele Maßnahmen, insbesondere solche, die den Umbau von Infrastrukturen oder des Siedlungsbestandes erfordern, teilweise sehr kostenintensiv und benötigen Zeit. Vor diesem Hintergrund fällt es schwer, Betroffenen und Akteuren deutlich zu machen, dass bereits heute ein Handlungsbedarf besteht.

Anpassungsstrategien besitzen häufig nicht nur eine lokale, auf die Kommune beschränkte Dimension, sondern müssen auf einer übergeordneten Ebene bearbeitet werden. So lässt sich beispielsweise die Hochwasser- oder Überflutungsproblematik nur lösen, wenn Ober- und Unterlieger in einem Talsystem Maßnahmen koordinieren. Neben der landesweiten Raumordnung (*Programme Directeur, Plans Sectoriels*) und den Fachplanungen bieten interkommunale *Plans d'aménagement général* (PAG), interkommunale Zweckverbände oder informelle Planungen und Kooperationen die Möglichkeit, Maßnahmen auf regionaler Ebene zu entwickeln und zu realisieren.

Klimawandelstrategien müssen den jeweiligen räumlichen und sozioökonomischen Kontexten entsprechen. Die Fähigkeit einer Region, Stadt oder Gemeinde, diese umzusetzen, hängt von den Ressourcen und dem Know-how, aber maßgeblich auch vom politischen Willen ab³.

Der räumlichen Planung kommt hier eine zentrale Rolle zu. Ihre Aufgabe ist es, die grundlegenden Informationen für die unterschiedlichen Sektoren und Planungsebenen bereitzustellen. Sie kann den Austausch und die Kooperation der betroffenen Akteure sachkundig begleiten. Sie sollte Indikatoren entwickeln und ein Monitoringsystem einführen, das die Effektivität von Maßnahmen und Strategien überprüft. Insbesondere die Kommunen bedürfen einer

Unterstützung und entsprechenden „Zuarbeit“ beim Umgang mit dem Klimawandel.

3.3 Klimaschutz in der räumlichen Planung

Das Thema Klimaschutz ist in der räumlichen Planung in Luxemburg bereits verankert – wenn auch nicht immer so benannt. So dienen zum Beispiel die im *Programme Directeur* formulierten Leitlinien für eine nachhaltige Entwicklung vielfach auch dem Klimaschutz. Hierzu zählen in erster Linie Zielsetzungen, die sich auf energetisch günstige, städtebauliche Strukturen und energieeffiziente Bauweisen beziehen, den verstärkten Einsatz erneuerbarer Ressourcen und eine effiziente Nutzung von Energie fordern sowie eine Reduktion des motorisierten Individualverkehrs durch entsprechende räumliche Strukturen, wie die Stadt der kurzen Wege, und organisatorische Maßnahmen, wie die Förderung des öffentlichen Personenverkehrs oder des Rad- und Fußgängerverkehrs, anstreben⁴.

In der städtebaulichen Planung (*Plan d'aménagement général* – PAG / *Plan d'aménagement particulier* – PAP) sind die Gemeinden ausdrücklich dazu angehalten, einen rationellen und sparsamen Energieverbrauch sowie den Einsatz erneuerbarer Energien zu fördern⁵.

Umfassend und sektorübergreifend stellt der Nationale Aktionsplan Klimaschutz die Ziele und Strategien des Großherzogtums dar. Der Entwurf zum 2. Nationalen Aktionsplan Klimaschutz (NAK 2011) in Luxemburg sieht die Notwendigkeit erheblicher Anstrengungen beim Klimaschutz auf nationaler Ebene⁵. Anders lassen sich das Kyotoziel – eine Verringerung der Treibhausgasemissionen um 20% bezogen auf das Jahr 1990 – bzw. das 2-Grad-Ziel, zu dem sich Luxemburg 2009 verpflichtet hat, nicht erreichen.

Das 2-Grad-Ziel

Klimaschutzpolitik zielt darauf ab, den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern und damit den Klimawandel so zu bremsen, dass sich „die globale Erwärmung langfristig auf höchstens zwei Grad Celsius (2°C) über der globalen Mitteltemperatur vor der Industrialisierung beschränkt“.⁶

Die Anstrengungen zum Klimaschutz bedürfen umfassender Strategien in den zuständigen Sektoren, die über Gesetze und Verordnungen, die Beratung von Kommunen, Bevölkerung, Unternehmen und zivilgesellschaftlichen Akteuren oder auch durch das Wahrnehmen der Vorbildfunktion wirken. Der Entwurf des Maßnahmenprogramms des NAK 2011 sieht verschiedene Handlungsoptionen vor, die bewährte Strategien und Maßnahmen weiterentwickeln, aber auch neue Ansätze verfolgen wie neue Mobilitätskonzepte, den Umbau des Steuer- und Abgabensystems, die Entwicklung neuer Finanzinstrumente oder die Verbesserung der Informations- und Kommunikationsstrategien.⁷

Hierbei gibt es zahlreiche Bezüge zur räumlichen Planung:

1. die Förderung regenerativer Energien durch

- Ausweisung von oder Empfehlungen zu Standorten für die Erzeugung regenerativer Energien (Windkraft-, Solarfreianlagen, Biomasseproduktion, Wasserkraft, Geothermie) und deren Verteilung sowie zu den zugehörigen Abnehmer- und Verteilsystemen
- die Erarbeitung regionaler Energiekonzepte (Strom, Wärme)
- eine Erneuerung der energiebezogenen Infrastruktur (Anschluss- und Systemfähigkeit der dezentralen Energieeinspeisung für Strom und Wärme)

2. die Erhöhung von Gesamtenergieeffizienz und CO₂-Einsparung in der Siedlungs- und Infrastrukturplanung durch

- Vermeidung weiterer Zersiedlung
- kompakte Siedlungsstrukturen (kurze Wege) und höhere Siedlungsdichte bei Neuplanungen
- Formulierung von Mindestanforderungen für energetisch günstige Bauweisen und energiesparende Gebäudestandards
- Mobilitätskonzepte, die den Umweltverbund stärken und zu einer Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs beitragen. Hier müssen auch Lösungen im Hinblick auf die grenzüberschreitenden Pendlerströme durch eine entsprechende internationale Zusammenarbeit in der räumlichen Planung der Großregion gesucht werden

3. die gezielte Information zur Bewusstseinsbildung und zur Aktivierung der Bevölkerung, der kommunalen und sonstigen Akteure

4. das aktive Vorantreiben von Kooperationen

- mit Fachplanungen, insbesondere in den Bereichen Wasser, Verkehr und Energie
- mit anderen Akteuren bei der Entwicklung ökonomischer Instrumente und rechtlicher Vorgaben (z.B. Gebäudestandards hinsichtlich Energieeffizienz)

3.4 Klimaanpassung in der räumlichen Planung

Trotz aller Klimaschutzanstrengungen ist der Klimawandel nicht mehr aufzuhalten und viele seiner Auswirkungen sind bereits heute unvermeidbar, und eine Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist geboten.

* Loi modifiée du 19 juillet 2004 concernant l'aménagement communal et le développement urbain

Umgang mit Unsicherheiten

Das heutige Wissen über die klimatischen Entwicklungen in der Vergangenheit und die Analysen des Status quo bestätigen, dass Veränderungen des Klimas bereits eingetreten und die Folgen deutlich spürbar sind. Über die zukünftigen Entwicklungen liefern Klimaprojektionen dagegen eine große Bandbreite an möglichen Szenarien. Daraus ergeben sich Unsicherheiten darüber, mit welchen Folgen konkret zu rechnen ist bzw. wo und in welchem Umfang Anpassungsmaßnahmen notwendig werden. Vor diesem Hintergrund können folgende Strategien weiterhelfen⁸:

- *No-regret-Strategien* beziehen sich auf Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz und Erhöhung der Anpassungsfähigkeit, die unabhängig vom Eintreffen der projizierten Klimawandelfolgen sinnvoll sind und einen Mehrwert erbringen – etwa die Neuerschließung von Retentionsräumen entlang der Fließgewässer zur Reduktion von Hochwasserrisiken.
- *Reversible Strategien* sind Maßnahmen, die revidiert werden können oder Optionen einer Flexibilisierung bieten. Ein Beispiel ist die multifunktionale Nutzung von Überflutungsbereichen, die Retentionsflächen regulär etwa landwirtschaftlich oder für Erholungszwecke nutzt, jedoch auch die Retentionsfunktion zukünftig gewährleistet.
- *Safety margin Strategien* beziehen sich auf Maßnahmen mit „Sicherheitszuschlägen“, die ohne weitere oder mit geringen Kosten zu realisieren sind. Sicherheitszuschläge kommen beispielsweise bei der Berechnung von Überflutungsbereichen entlang der Flüsse oder auch für städtische Kanalsysteme zum Tragen. Hochwasserrisikokarten sollten daher nicht nur 100-jährliche Hochwasser, sondern auch Extremereignisse darstellen, damit geeignete Schutz- und Vorsorgemaßnahmen entwickelt werden können.

In diesem Zusammenhang wird dem Begriff „Resilienz“ eine große Bedeutung beigemessen. In Bezug auf Klimaanpassung versteht man darunter vor allem die Widerstandskraft eines Systems, d.h. sein Potenzial, auch unter Einfluss externer Störungen oder Veränderungen wichtige Funktionen zu bewahren.⁹ Um robuste Raumstrukturen zu entwickeln und die Anpassungs- und Lernfähigkeit städtischer und regionaler Systeme nachhaltig zu unterstützen und zu optimieren, muss Resilienz als tragfähiges Leitbild Eingang in die Stadt- und Regionalplanung finden.

Der Adaptionskompass

Der Klimawandel betrifft fast alle Sektoren und Ebenen der räumlichen Planung. Daher müssen Anpassungsstrategien sektoren- und ebenenübergreifend entwickelt werden. Zur Strukturierung eines solchen Prozesses hat das nordwesteuropäische Interreg IVB-Projekt *Future Cities* den *Adaptation Compass* entwickelt¹⁰ (s. Abb. 3.1). Dieser Kompass führt durch den Prozess der Datenerfassung, Abstimmung und Koordination, der notwendig ist, um klimawandelgerechte Raumstrukturen zu schaffen. Er dient als Leitlinie für die Verknüpfung unterschiedlicher Akteure und zur sektorübergreifenden Prüfung von Verwundbarkeit und Anpassungspotenzialen.

¹ Deutsche Bundesregierung 2008

² MENV 2006, Ewringmann 2011

³ BMVBS/ BBSR 2009b: 18

⁴ MIAT 2003

⁵ Ewringmann 2011

⁶ Jaeger/Jaeger 2010: 7f

⁷ Ewringmann 2011

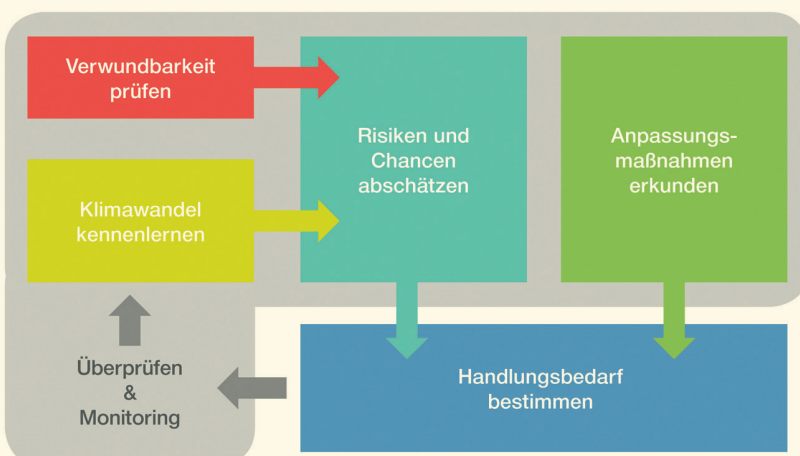
⁸ Hallegatte 2008: 244f

⁹ Website Stadtklimatse – Glossar

¹⁰ The future Cities project partnership 2010

¹¹ The future Cities project partnership 2010: 4

Abb. 3.1 The Future Cities Adaptation Compass¹¹



Die Entscheidungshilfe setzt sich aus fünf Modulen zusammen. Im Vulnerabilitätscheck wird die Verletzlichkeit einer Stadt oder Region gegenüber bestimmten Wetterereignissen anhand der physikalischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen untersucht. Aus dieser Vulnerabilitätsanalyse und den Klimaprojektionen ergeben sich die Risiken und Potenziale für die einzelnen Handlungsfelder. In einem weiteren Modul wird ein breites Spektrum an Maßnahmen aufgespannt, das nicht nur Einzelmaßnahmen aufzeigt, sondern auch Maßnahmenkombinationen. Im letzten Schritt werden auf der Grundlage der Risiken und Potenziale und den möglichen Maßnahmen die Handlungsbedarfe ermittelt, die in konkreten Aktionsplänen münden. Über Rückkopplungsmechanismen und Monitoring werden die Ausgangspunkte überprüft und das Handlungsprogramm bei Bedarf angepasst.

4. WIRKFOLGEN DES KLIMAWANDELS IN LUXEMBURG

Die Entwicklung von Anpassungsstrategien setzt voraus, dass man sich über die möglichen Auswirkungen der potenziellen klimatischen Veränderungen – über die Wirkfolgen – im Klaren ist.

Mögliche Wirkfolgen für Luxemburg ergeben sich aus den in Kapitel 2 beschriebenen Änderungen der Klimaparameter. Als Grundlage für Anpassungsstrategien spielen in erster Linie negative Wirkfolgen eine Rolle, gleichwohl auch positive Effekte, etwa für den Weinbau oder den Tourismus,

auftreten können. Die möglichen negativen Wirkfolgen des Klimawandels betreffen viele Sektoren, beispielsweise die menschliche Gesundheit, den Naturschutz oder die Raum- und Siedlungsentwicklung.

Mögliche Wirkfolgen des Klimawandels für wichtige Sektoren¹

Handlungsfeld/ Sektor	Beispiele für mögliche Wirkfolgen des Klimawandels
Gesundheit	v.a. durch Hitzestress in Städten verursachte Herz-Kreislauf-Probleme bis hin zu Todesfällen; veränderte Verbreitungsgebiete vektorübertragener Krankheiten; verändertes Auftreten von Luftallergenen
Landwirtschaft	Beeinträchtigung der Erträge, besonders in zukünftig trockeneren Gebieten; abnehmende Ertragssicherheit wegen erhöhter Klimavariabilität; zunehmender Verlust des Oberbodens durch erosive Prozesse; steigende Gefahr von meteorologischen Dürren; Verschiebung von Anbau- und Vegetationszonen; veränderte Anfälligkeit gegenüber Schadorganismen
Forstwirtschaft	erhöhte Anfälligkeit nicht standortgerechter Wälder; erhöhte Waldbrandgefahr und zunehmender Druck durch Schädlinge und Wetterextreme; veränderte Anfälligkeit gegenüber Schadorganismen
Wasserwirtschaft	häufigere Starkregenereignisse und Sturzfluten; steigende Hochwassergefahr im Winter und Frühjahr sowie häufigeres Niedrigwasser im Sommer und veränderte Grundwasserspiegel (zunehmende Schwankung des Grundwasserspiegels) mit möglichen Folgen für die Trinkwasserversorgung; Verminderung des Selbstreinigungsvermögens von Gewässern
Naturschutz und Biodiversität	Steigende Gefährdung der Artenvielfalt, besonders in Feuchtgebieten und Gebirgsregionen, mit Konsequenzen für die Naturschutzziele; Veränderung der Artenzusammensetzung; Veränderung des biotischen Ertragspotenzials
Tourismus	Abnahme der Schneesicherheit in den Gebirgsregionen; verbesserte wirtschaftliche Erfolgsaussichten für Touristenziele im Zuge der Erwärmung; zunehmender Hitzestress in südlichen Destinationen; mögliche Verbesserung
Verkehrsinfrastruktur	Beeinträchtigung der Binnenschifffahrt durch häufigere Hoch- und Niedrigwässer; Gefährdung der Infrastruktur durch Extremereignisse; Hitzeeinwirkungen auf Verkehrsinfrastrukturen (z.B. Beschädigung der Schwarzdecken)
Energiewirtschaft	Beeinträchtigung der Kühlleistung von Kraftwerken durch Hoch- und Niedrigwasser sowie der Stromnetze durch Eislasten, Starkwind und -regen
Hochwasserschutz	Erhöhtes Risiko von Hochwasserereignissen
Raum- und Siedlungsentwicklung/ Städtebau und Stadtplanung	Verstärkung des Wärmeinseleffekts in den Innenstädten; Überlastung der kommunalen Kanalnetze durch Starkregen; Gefährdung der Baugebiete und baulichen Anlagen durch zunehmende Hochwasserereignisse; Raumnutzungseinschränkungen und -optionen unter sich ändernden Rahmenbedingungen

Ausgehend von den betrachteten Wirkfolgen lassen sich die Raumrelevanz und damit die Bedeutung der Anpassungserfordernisse für die räumliche Planung beschreiben. Dadurch ist allerdings noch nicht identifiziert, wo welche Anpassungsmaßnahmen stattfinden und wie diese konkret ausgestaltet werden sollen. In diesem Sinne versteht sich die Broschüre als Impulsgeber und Beitrag zum hierzu notwendigen Diskurs.

Es liegen derzeit noch keine Untersuchungen vor, welche Auswirkungen für die einzelnen Sektoren speziell für Luxemburg zu erwarten sind. Im Rahmen des C-Change-Projektes erbrachten verschiedene Experteninterviews und Workshops (s. Kap. 8) eine erste qualitative Abschätzung der Wirkfolgen für das Großherzogtum. Darauf aufbauend wurden für die Raum- und Siedlungsentwicklung folgende Aspekte näher beleuchtet:

- Siedlungsklima und Hitzebelastung
- Trockenheit
- Starkregenereignisse
- Hochwassergefährdung
- Stürme

Siedlungsklima und Hitzebelastung

In Städten ist eine Zunahme der Hitzebelastung bei wind-schwachen und austauscharmen Wetterlagen eine der einschneidenden Wirkfolgen des Klimawandels. Gerade Hitzewellen mit einer hohen Wärmebelastung an mehreren aufeinander folgenden Tagen können die menschliche Gesundheit und den thermischen Komfort erheblich beeinträchtigen². Bei gesunden Menschen nimmt die Leistungsfähigkeit ab; bei sensiblen Bevölkerungsgruppen (Kinder, ältere oder kranke Menschen) ist mit starken gesundheitlichen Belastungen zu rechnen. Der Hitzesommer 2003 hat – davon geht man heute aus – europaweit zu etwa 70.000 Hitzetoten geführt³.

Untersuchungen zeigen, dass sich bereits bei mäßiger Hitze, d.h. einer gefühlten Temperatur zwischen 26°C und 32°C, die Mortalität erhöht. Die Sterblichkeit liegt dann bereits 6% höher als bei normaler Belastung, wobei diese Situationen in Luxemburg heute bereits 10 bis 20mal pro Jahr auftreten. Bei starker Wärmebelastung – gemeint ist damit eine gefühlte Temperatur zwischen 32°C und 38°C – steigt die Sterblichkeit um 13%⁴.

Neben der Hitze am Tage spielt insbesondere die Abkühlung in der Nacht eine besondere Rolle für den menschlichen Organismus, da sich dieser bei kühleren Temperaturen besser regeneriert. Hält sich die Wärme aufgrund mangelnder Luftaustauschprozesse auch in der Nacht, ist dies stark belastend für Herz und Kreislauf.

Trockenheit

Die Zunahme der Temperaturen und der Rückgang der Niederschläge im Sommerhalbjahr in Luxemburg bedingen eine stärkere Trockenheit. Im Fokus der Klimafolgen steht dabei der dann steigende Wasserbedarf für Trink- und Brauchwasserzwecke.

Die Zunahme des Trockenstresses für Pflanzen und Tiere gefährdet feuchteabhängige Lebensgemeinschaften. Auch bei wasser gebundenen Lebensgemeinschaften der Still- und Fließgewässer kann es durch Austrocknung oder Sauerstoffmangel zu Schäden kommen. In der Land- und Forstwirtschaft sowie für Freiräume und Grünflächen im urbanen Umfeld führt der Trockenstress zu einem höheren Bewässerungsbedarf und damit zu höheren Kosten.

Niedrigwasserstände, etwa im Bereich der Mosel, können bei Extremsituationen Transporteinschränkungen für die Schifffahrt mit sich bringen.

Schließlich führt die Trockenheit zu hygienischen Problemen bei der Stadtentwässerung, wenn Abwasserkanäle nicht mehr genügend Wasser führen und damit nicht mehr ausreichend durchspült werden.

Hochwasser und Extremniederschläge

Steigende Niederschläge, insbesondere im Winter, verschärfen die Hochwassersituation in den Flusstälern. Neben der Schifffahrt sind hiervon vor allem die Land- und Forstwirtschaft sowie die Erholungsnutzung, aber auch Infrastrukturen – Straßen, Schienen, Stromleitungen und Telekommunikationseinrichtungen – betroffen. Innerhalb der Siedlungen kann es zu Schäden an Gebäuden sowie zu Umweltverschmutzungen durch ungesicherte Lagerbestände wassergefährdender Stoffe wie Heizöl kommen.

Extremniederschläge wie Starkregen führen im Gegensatz zu Hochwasser zu plötzlichen Sturzfluten, die nicht nur die Flüsse über ihre Ufer treten lassen, sondern auch einen Rückstau im Kanalsystem bedingen können. Wasser wird aus den Kanälen in die Straßenräume und Gebäudekeller gedrückt, Freiflächen geflutet. Auch Bodenerosion und Hangabrutschungen mit Folgen für die Landwirtschaft, Infrastrukturen oder den Siedlungsbestand können auftreten. Die plötzlich anfallenden Wassermassen überlasten in der Regel zudem die Kläranlagen, so dass Abwässer ungereinigt in die Oberflächengewässer gelangen.

Für kritische Infrastrukturen, wie wichtige Straßen- und Bahnverbindungen, Elektrizitäts- oder Telekommunikationsleitungen, Alten- und Pflegeheime, Kindergärten und Schulen, kulturell bedeutsame Objekte u.ä., können sowohl Hochwasser als auch Starkregenereignisse gefährlich werden. So besteht die Möglichkeit, dass beispielsweise Krankenhäuser durch Überflutungen von ihren Zufahrten abgeschnitten, wertvolle Kulturgüter geschädigt werden oder die Stromversorgung infolge unterspülter Infrastruktur unterbrochen wird.

Starkwind und Stürme

Das vermehrte Auftreten und die erhöhte Intensität von Stürmen gelten ebenfalls als wahrscheinliche Folgen des Klimawandels. Unwetter können sowohl die menschliche Gesundheit schädigen als auch zu hohen Sachschäden führen. Eine steigende Zahl solcher schadensträchtiger Wetterereignisse lässt sich bereits seit einiger Zeit feststellen: So hat der Sturm „Kyrill“, der im Januar 2007 über Europa zog, rund 10 Mrd. USD gesamtwirtschaftlichen Schaden und die bislang größten Schäden eines Wintersturms in Deutschland verursacht (s. Abb. 4.1).⁵

Stärke und Grad der Wirkfolgen des Klimawandels sollten für Luxemburg durch weitergehende Forschungs- und Grundlagenarbeiten erörtert werden. Die Frage, welche Räume und welche Kommunen in welchem Umfang von den beschriebenen Klimafolgen betroffen sein können, lässt sich mit Hilfe von Betroffenheitsanalysen (vgl. Kapitel 5) abschätzen.

¹ Hartz 2011 in Henninger: 182; nach UBA 2008: 7, BMVBS/ BBR 2007: 14, BMVBS 2010: 1

² Matzarakis 2001, Huttner et al. 2008

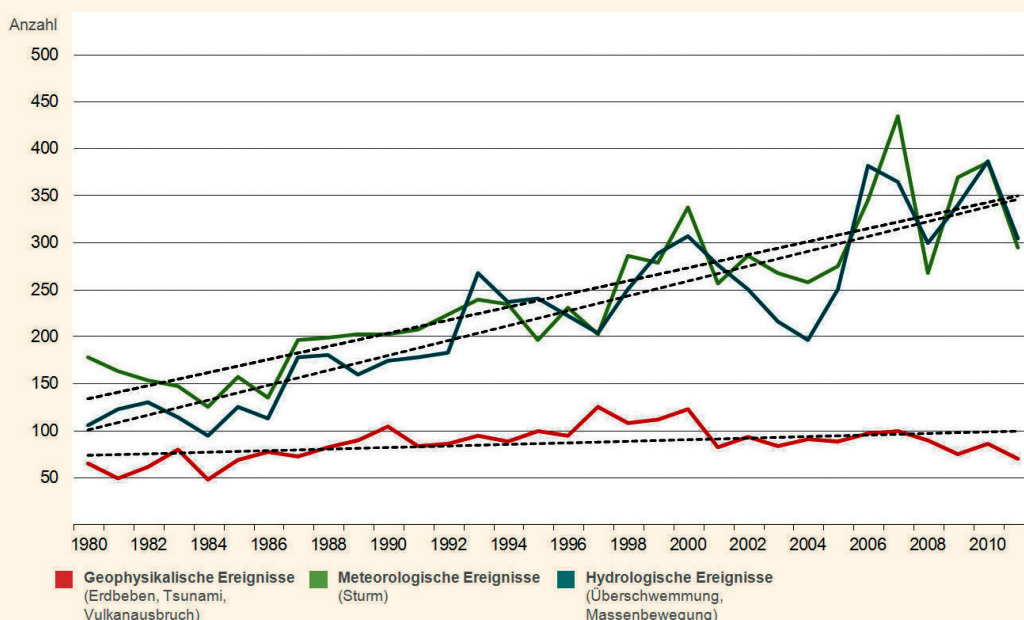
³ Website Spiegel online

⁴ Koppe 2009

⁵ Munich Re 2007

⁶ Munich Re 2012

Abb. 4.1 Naturkatastrophen weltweit 1980 - 2011⁶



5. DIE BETROFFENHEIT VON RÄUMEN

Um die Notwendigkeit von Klimaanpassungsmaßnahmen auf regionaler oder städtischer Ebene einschätzen und Prioritäten für den Handlungsbedarf ermitteln zu können, muss die Betroffenheit oder Verwundbarkeit (Vulnerabilität) von Räumen analysiert werden.

Eine Betroffenheits- oder Vulnerabilitätsanalyse basiert auf methodischen Ansätzen, die sich im Grundsatz mit der „Exposition“ und der „Empfindlichkeit“ (oder Sensitivität) von Räumen befassen¹ (s. Abb. 5.1). Die Exposition beschreibt, welchen Klimaparametern (und deren Veränderung) eine Region oder eine Stadt ausgesetzt ist. Die Empfindlichkeit gibt Auskunft darüber, wie sensitiv das exponierte System ist. So spielen für den Faktor Hitze beispielsweise die Bevölkerungsdichte oder auch die Konzentration sensibler Bevölkerungsgruppen eine zentrale Rolle. Exposition und Empfindlichkeit ergeben in der Überlagerung als „Produkt“ die Betroffenheit des Raumes. Wird auch noch die Anpassungskapazität des Systems berücksichtigt, lässt sich daraus die Vulnerabilität oder Verwundbarkeit ableiten.

Eine hohe Betroffenheit zeigt an, dass die räumlichen Strukturen aktuell oder in Zukunft hohen Belastungen ausgesetzt sind; eine hohe Vulnerabilität gibt an, dass die Verletzlichkeit gegenüber möglichen Auswirkungen des Klimawandels groß ist und/oder die Strukturen nicht angepasst sind. In diesen Gebieten besteht daher ein hoher Handlungsbedarf. Ziel muss es sein, auch schon im Vorgriff auf zukünftige Bedrohungen, durch entsprechende Adaptionsstrategien die Empfindlichkeit zu reduzieren bzw. die Anpassungsfähigkeit zu erhöhen.

Abb. 5.1 Das Konzept der Vulnerabilität als Grundlage für die Einschätzung des Anpassungsbedarfs²

Betroffenheits-/ Vulnerabilitätscheck

Eine erste Einschätzung von Betroffenheit bzw. Vulnerabilität lässt sich über folgende Schritte nachvollziehen:

Bestimmung der Exposition (qualitativ und quantitativ indikatorbasiert)

- Schritt 1: Welche Klimaparameter prägen das regionale Klima? Traten in der Vergangenheit Extremereignisse (Stürme, Starkregen, Hitze- oder Trockenperioden) auf?
- Schritt 2: Welche Klimaparameter ändern sich infolge des Klimawandels und führen potenziell zu Beeinträchtigungen von Raumnutzungen und -funktionen? Können neue Beeinträchtigungen entstehen?
- Schritt 3: Gibt es räumliche Unterschiede?

Bestimmung der Empfindlichkeit (qualitativ und quantitativ indikatorbasiert)

- Schritt 4: Welche Raumnutzungen und -funktionen sind empfindlich gegenüber klimainduzierten Wirkfolgen?
- Schritt 5: Welche Bevölkerungsgruppen/ welche Umweltgüter sind jeweils gegenüber den einzelnen Wirkfolgen besonders sensitiv?
- Schritt 6: Gibt es räumliche Unterschiede?
- Schritt 7: Gibt es erhöhte Empfindlichkeiten aufgrund von Wechselwirkungen aus mehreren Wirkfolgen?

Beurteilung der Betroffenheit

- Schritt 8: Gesamteinschätzung der Betroffenheit auf der Grundlage vorausgegangener Informationen: Wie stellt sich das Ergebnis einer „Überlagerung“ von Exposition und Sensitivität inhaltlich und räumlich dar?
- Schritt 9: Welche Strukturen/ welche Räume sind besonders betroffen?

Bestimmung der Anpassungskapazität

- Schritt 10: Welche geplanten Maßnahmen, Prozesse, Funktionen tragen zu einer Reduktion der Exposition oder der Sensitivität bei?
- Schritt 11: Welche organisatorischen, personellen oder finanziellen Ressourcen können zu einer Verbesserung des Umgangs mit den Wirkfolgen beitragen?

Beurteilung der Vulnerabilität

- Schritt 12: In welchem Maße wird die Betroffenheit durch die Anpassungskapazität reduziert?
- Schritt 13: Wie verletzlich sind letztendlich die betroffenen Raumstrukturen und -funktionen, Umweltgüter und Bevölkerungsgruppen?

Vereinbarung von Umsetzungswegen

- Schritt 14: Welche Empfehlungen zu Strategien/ Maßnahmen lassen sich ableiten?
- Schritt 15: Welche Schritte/ Kooperationen sind notwendig zur Umsetzung der Maßnahmen?
- Schritt 16: Wie lässt sich das Ergebnis kommunizieren?

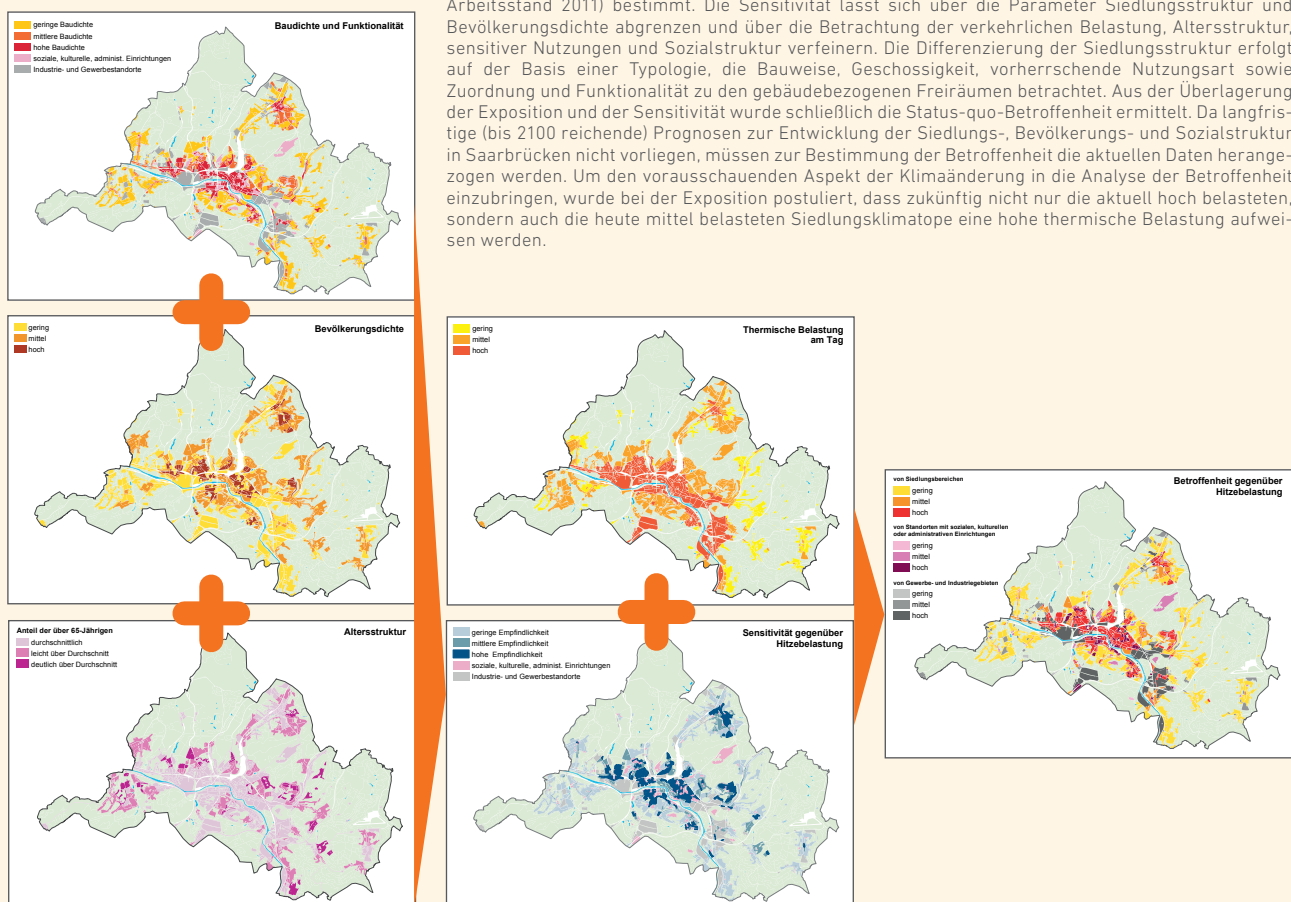
Die Aussagekraft einer Betroffenheits- oder Vulnerabilitätsanalyse hängt wesentlich von den zur Verfügung stehenden Datengrundlagen ab. Je nachdem, welche Informationen genutzt werden können, lassen sich erste Einschätzungen oder auch detaillierte geobasierte Analysen vorlegen, die eine notwendige Voraussetzung für die räumliche Planung darstellen. Da insbesondere Klimadaten und -projektionen höchstens auf regionaler oder sogar nur auf nationaler Ebene erstellt werden, ist beispielsweise die kommunale Planungsebene auf die Erhebung und Bereitstellung der entsprechenden Daten durch staatliche Institutionen angewiesen.

Das ExWoSt*-Modellvorhaben in Saarbrücken betrachtet „Freiraumplanung als Handlungsfeld für Adaptionsmaßnahmen“ und hat sich in diesem Kontext mit Betroffenheitsanalysen auf städtischer Ebene befasst.

Am Beispiel des Themenfeldes Hitze in der Stadt wird der methodische Ansatz in Grundzügen dargestellt (s. Abb. 5.2).

* „Experimenteller Wohnungs- und Städtebau – ExWoSt“ ist ein Forschungsprogramm des deutschen Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Damit fördert der Bund innovative Planungen und Maßnahmen zu wichtigen städtebau- und wohnungspolitischen Themen. Im ExWoSt-Forschungsfeld „Urbane Strategien zum Klimawandel“ arbeiten neun Modellstädte an ganzheitlichen Strategien und Konzepten zur Minderung des und zur Anpassung an den Klimawandel; s.a. www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_21686/BBSR/DE/FP/ExWoSt/Forschungsfelder/2010/UrbaneStrategienKlimawandel/Forschungsschwerpunkt1/01__Start.html

Abb. 5.2 Schema einer Betroffenheitsanalyse zur thermischen Belastung auf kommunaler Ebene am Beispiel des ExWoSt-Modellvorhabens in Saarbrücken³



¹ IPCC 2007

² eigene Darstellung nach BMVBS/ BBSR 2009: 18, Frommer 2009: 131, dort unter Bezugnahme auf Füßel/ Klein 2006: 319

³ agl 2012

6. HANDLUNGSFELDER UND MASSNAHMEN ZUR KLIMAANPASSUNG

Vor dem Hintergrund der Wirkfolgen des Klimawandels in Luxemburg liegt ein Schwerpunkt der Klimaanpassung auf den Handlungsfeldern Hitzebelastung, Trockenheit, Hochwasser und Extremniederschläge sowie Starkwind und Stürme. Vorgestellt werden mögliche Anpassungsmaßnahmen sowie Effektgrößen, d.h. die Wirksamkeit von Maßnahmen, wobei ein deutlicher Fokus auf Maßnahmen der kommunalen, städtischen bzw. stadtreionalen Ebene liegt.

6.1 Handlungsfeld „Anpassung an Hitzebelastung“

In Kommunen mit einem ausgeprägten Stadtklima und einer hohen Hitzebelastung bieten sich eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen an. Die hier dargestellten Beispiele dienen primär dem Ziel, negative Folgewirkungen für die menschliche Gesundheit zu vermeiden sowie das bioklimatisch bedingte Wohlbefinden der Bevölkerung zu verbessern. Letztendlich tragen sie zur Verbesserung der Lebensqualität im urbanen Bereich bei.

Im Hinblick auf die Beeinflussung des gesundheitlich relevanten Mikroklimas in den Siedlungsbereichen sind zum einen die stadtreionalen Luftaustauschprozesse zwischen Stadt und Umland, die insbesondere nachts ihre Wirksamkeit entfalten, und zum anderen die kleinräumige Wirksamkeit von Freiräumen im bebauten Umfeld, die den Klimakomfort am Tage steigern, von großer Bedeutung.

Die nächtliche Abkühlung über stadtreionale Austauschsysteme sicherstellen

Hitzewellen als Belastungssituation für Stadtbewohner treten bei austauscharmen Großwetterlagen auf. Nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus dem Stadtumland können in dieser Situation zur Durchlüftung und Kühlung der thermisch belasteten Siedlungsbereiche beitragen¹.

Auf offenen Flächen im Umland sinken die Temperaturen wegen des geringeren Wärmespeichervermögens nachts schneller als auf versiegelten und bebauten Flächen. Die so gebildete Kaltluft kann aufgrund ihrer größeren Dichte der Schwerkraft folgend in tiefer gelegene Siedlungsbereiche fließen und diese kühlen. Bei hohen, thermisch bedingten Luftdruckunterschieden zwischen kühlem Umland und

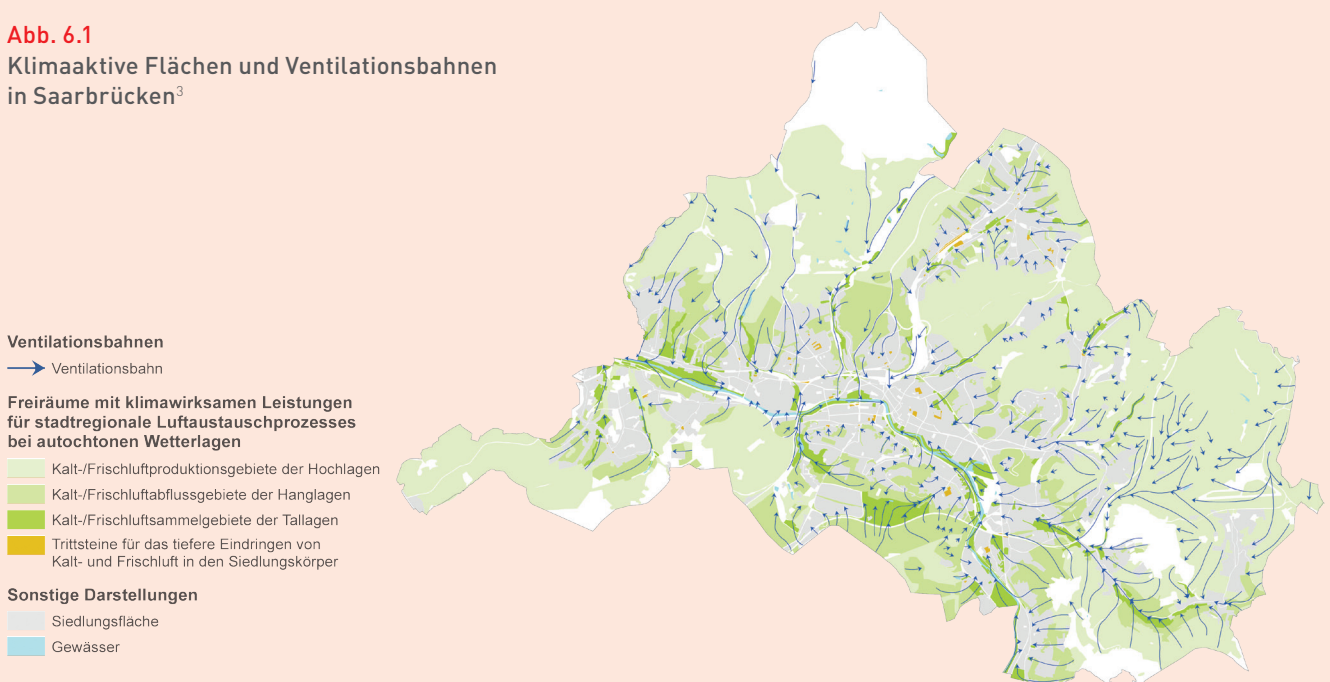
warmen urbanen Zentren kommt es auch ohne Gefälle zu einem Luftaustausch, von dem die Städte profitieren können².

Die Menge der Kaltluftproduktion hängt stark von der Flächennutzung ab: Acker und Grünlandbereiche weisen die höchste, strukturierte Flächen wie Brachen, Stadtparks oder Friedhöfe eher eine mittlere Produktionsrate auf. Wälder produzieren nachts keine Kaltluft, da das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung mindert und damit die Abkühlung der Fläche reduziert. Sie spielen jedoch als Produzenten sauerstoffreicher Frischluft eine wichtige Rolle bei der Durchlüftung der Städte mit unbelasteter und staubarmer Luft.

Klimarelevant für die Stadt sind Flächen dann, wenn sie Teil eines stadtwweiten Durchlüftungssystems sind, bei dem Kalt- und Frischluftentstehung sowie der Transport in den Siedlungskörper in engem Zusammenhang stehen. Die Kühlung funktioniert am besten bei ausreichend großen Kalt- und Frischluftentstehungsgebieten mit entsprechendem Kaltluftvolumenstrom, einem ausreichenden Gefälle und freien, nicht durch Hindernisse blockierten Luftleitbahnen mit direktem Siedlungsbezug. Je größer die Produktionsfläche und je ungehinderter der Abfluss, umso größer ist der Effekt. Im Siedlungsbereich sind die Durchlässigkeit und die vorhandene Überwärmung für die Größe des Einwirkungsbereichs relevant und damit für die Reichweite der kühlenden Strömung.

Deshalb ist es gerade für Städte mit Hitzeinseleffekt besonders wichtig, die stadtreionalen Luftaustauschprozesse zu analysieren – als Grundlage zur Sicherung und Optimierung des Luftmassenaustauschs (s. Abb. 6.1). Zur Ermittlung der klimaaktiven Flächen und deren Bedeutung für den Luftaustausch in der Stadt

Abb. 6.1
Klimaaktive Flächen und Ventilationsbahnen
in Saarbrücken³



können Klimamodellierungen herangezogen werden (s. Abb. 6.2). Da das stadtrregionale Klimasystem sich meist über Gemeindegrenzen hinweg erstreckt, ist eine enge Zusammenarbeit auf interkommunaler oder regionaler Ebene – beispielsweise für gemeinsame Klimaanalysen – von besonderer Bedeutung.

Für eine Anpassung an künftig höhere und häufiger auftretende thermische Belastungssituationen ist die Sicherung und Optimierung dieser klimaaktiven Flächen daher von großer Bedeutung. Dies kann über folgende Maßnahmen geschehen:

1. Sicherung von ausreichend großen Kalt- und Frischluftproduktionsflächen mit Siedlungsbezug sowie von Luftleit- und Ventilationsbahnen, die für eine gute und lufthygienisch unbelastete Durchlüftung im Siedlungsbereich sorgen – beispielsweise indem
 - klimaaktive Flächen offen gehalten werden, d.h. eine Bestockung mit Gehölzen verhindert wird
 - eine Bebauung oder Versiegelung von Kaltluftproduktionsflächen und Kaltluftabflussbahnen vermieden wird
 - eine Barrierebildung in Lufttransportbahnen oder deren Einengung durch Randbebauungen vermieden wird
2. Optimierung der Wirksamkeit von Kalt- und Frischluftproduktionsflächen sowie von Luftleit- und Ventilationsbahnen durch
 - Verringerung der Oberflächenrauigkeit
 - Erhöhung der Durchlässigkeit, beispielsweise über

eine Reduzierung vorhandener Barrieren oder die Aktivierung potenziell klimaaktiver Flächen

- Einhaltung niedrigerer Bauhöhen im Einwirkungsbereich
- Gewährleistung der Durchlässigkeit für Luftströmungen bei kritischen Neuplanungen durch parallel zur Strömungsrichtung ausgerichtete Bebauung, d.h. beispielsweise eine geschlossene, hangparallele Bebauung vermeiden (s. Abb. 6.3)
- Entwicklung von Freiräumen als Trittsteine zur Erhöhung der Reichweite des Kaltluftvolumenstroms im Siedlungskörper
- „Erschließung“ potenziell klimaaktiver Flächen, z.B. indem von bestehenden Kalt- und Frischluftentstehungsgebieten über neue Transportbahnen, etwa eine neu geschaffene Waldschneise, Verbindungen zum Siedlungsbereich hergestellt werden, so dass hieraus klimaaktive Flächen entstehen

Die Bedeutung großer Parkanlagen

Parkanlagen können sowohl für die nächtliche Abkühlung als auch für den Klimakomfort am Tage von Bedeutung sein. Als Teil stadtrregionaler Luftaustauschsysteme wirken sie in Ventilationsbahnen als Trittsteine, über die kühle Luftmassen in die bebaute Siedlung eindringen. Jedoch auch vom stadtrregionalen Netz weitgehend isolierte Parkanlagen leisten einen Beitrag zur nächtlichen Abkühlung der Umgebung. So sind Kühlungseffekte im Umfeld ab einer Parkgröße von 2,5 ha messbar. Hier reicht die Kaltluftproduktionsmenge aus, um bei optimaler Gestaltung des Parks und bei einer hohen Durchlässigkeit der Randbebauung eine relevante Außenwirkung zu

Abb. 6.2 Modellberechnung des Strömungsfeldes um 4 Uhr
Ausschnitt des Luftleitbahnsystems Deutschmühlental – Saartal⁴

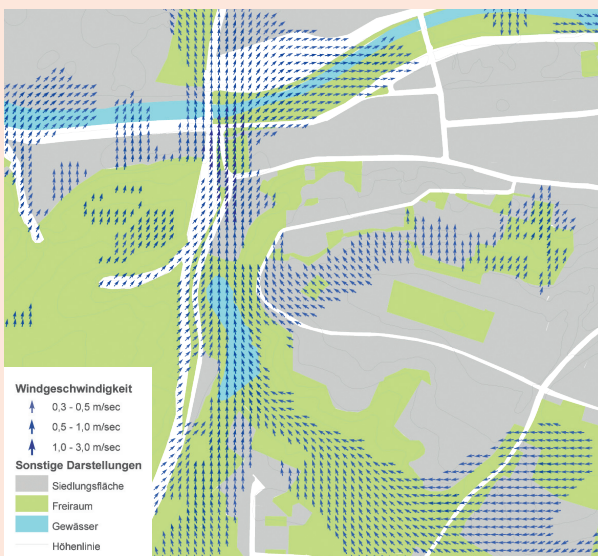


Abb. 6.3 Optimierung der Durchlüftung durch Gebäudestellung – Beispiel aus Karlsruhe⁵



Der Kaltluftvolumenstrom aus den Hangbereichen kann aufgrund der optimierten Gebäudestellung weit in den Siedlungskörper eindringen und so über das Neubaugebiet hinaus auch den Siedlungsbestand versorgen. Hangparallele Bebauungen dagegen würden den Kaltluftstrom behindern.

erzielen. Die Reichweite entspricht dabei etwa dem Durchmesser der Parkanlage. Kleinere Parks, jedoch mit einer Größe von mindestens 1 ha, tragen lediglich zu einer geringen Abkühlung von 0,5°C in einem Randbereich von ca. 50 m Tiefe bei. Dagegen erzielen ausgedehnte Parkanlagen mit einer Fläche von mehr als 50 ha durch Kaltluftproduktion und Luftaustausch sogar eine klimatische Fernwirkung (s. Abb. 6.4).⁶

Um ihrer Funktion optimal gerecht zu werden, sollten innerstädtische Grünflächen morphologisch wie eine „Savanne“ ausgestaltet werden: Über einer Rasenfläche stehen vereinzelt großkronige Bäume bzw. Baumgruppen⁷ (s. Abb. 6.5). Diese sorgen am Tage für eine Verschattung, nachts kann die (feuchte) Rasenfläche jedoch zur Kaltluftproduktion auf den offenen Rasenflächen und damit zur Abkühlung der umgebenden Siedlung beitragen. Damit die Kaltluft abfließen kann, sollten die Flächen zu den Siedlungsbereichen hin geneigt sein.

Den Klimakomfort am Tage gewährleisten

Luft- und Strahlungstemperatur, Luftfeuchte und Windverhältnisse am Tag beeinflussen den Wärmehaushalt der Menschen. Schwül-warme Situationen belasten dabei am stärksten. Gefühlte Temperaturen über 26°C, PMV*-Werte größer 2,5 oder ein PET**-Wert von 35°C können bei vorbelasteten Bevölkerungsgruppen, beispielsweise alten Menschen, Kindern oder Menschen mit Herz-Kreislaufproblemen, zu erhöhten Sterberaten führen⁸.

Es gilt daher, der thermischen Belastung durch eine Minimierung der Aufheizung von bebauten Flächen sowie durch ein ganzjähriges Angebot an kühlen und schattigen Aufenthaltsbereichen im Freien entgegenzuwirken. Folgende Strategien haben sich hinsichtlich der

Verbesserung des bioklimatischen Komforts bewährt:

- Erhöhung der Albedo zur Verminderung der Absorption von Strahlung und damit einer Aufheizung der Oberflächen
- Entsiegelung und Erhöhung des Grünvolumens auf privaten und öffentlichen Flächen zur Steigerung der Verdunstung sowie der Evapotranspiration
- Verschattung von Freiräumen
- Schaffung bewegter Wasserflächen zur kühlenden Verdunstung in der bebauten Stadt

* PMV – Predicted Mean Vote (s. folgende Fußnote)

** PET – Physiologische Äquivalente Temperatur. PMV und PET sind Indikatoren, die das thermische Empfinden von Menschen unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie Lufttemperatur, Strahlungswärme, Wind und Luftfeuchte wiedergeben.

Abb. 6.4 Klimawirksame Parkanlagen für die nächtliche Abkühlung⁹

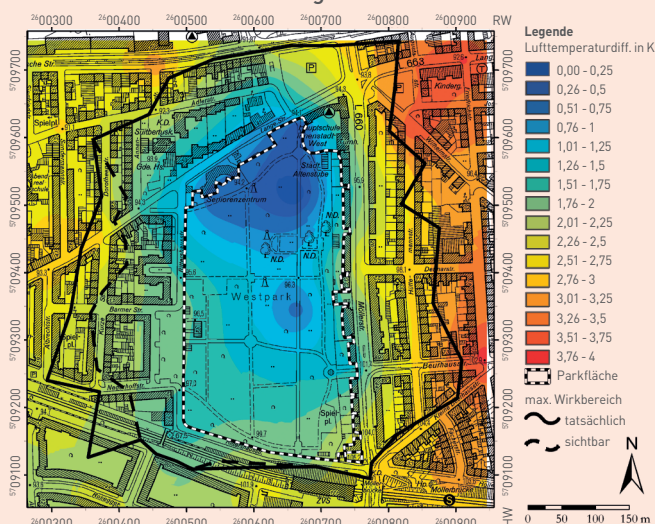


Abb. 6.5 Optimierte Ausgestaltung von innerstädtischen Grünflächen hinsichtlich thermischer Belastung – Savannenprinzip¹⁰



Große Baumkronen bieten Schattenplätze am Tage, offene Rasenflächen fördern Kaltluftbildung in der Nacht

Die Erhöhung der Albedo

Die Albedo ist ein Maß für das Rückstrahlvermögen reflektierender, nicht spiegelnder Oberflächen: Helle, weiße Flächen (hohe Albedo = 1) reflektieren, schwarze Flächen (niedrige Albedo = 0) absorbieren die gesamte Strahlung. Je höher die Reflexion, desto weniger heizt sich der Körper auf. Eine weiße Fassade mit einer Albedo von 0,9 reflektiert demnach 90% der einfallenden kurzwelligigen Strahlung; nur 10% werden absorbiert und können die Wand aufheizen (s. Abb. 6.6).

Simulationen zeigen, dass Temperaturabsenkungen von Böden und Fassaden mit heller Oberfläche im Vergleich zu dunklen Materialien von bis zu 10°C möglich sind; die Lufttemperatur in 2m Höhe konnte bis zu 6°C gesenkt werden¹¹. Auch Oberflächenbeschichtungen und -anstriche mit „cool colours“ können für eine erhöhte Reflexion langwelliger Strahlung sorgen und Oberflächentemperaturen um bis zu 6°C senken¹². Die Erhöhung der Albedowerte durch Gestaltung heller oder „cooler“ Oberflächen in der Stadt birgt daher ein großes Potenzial zur wirksamen Temperaturabsenkung im Aufenthaltsbereich der Menschen.

Entsiegelung und Erhöhung des Grünvolumens

Vegetation trägt über Verdunstungs- und Evapotranspirationsprozesse in erheblichem Maße zur Abkühlung der Luft bei. Werden Flächen entsiegelt und begrünt, verringert sich die Aufheizung. Die Lufttemperatur wird aufgrund von Verdunstungsprozessen gesenkt. Der Abkühlungseffekt steigt mit der Größe des Grünvolumens*. Der Einfluss von Begrünung auf die Oberflächentemperaturen unterschiedlich genutzter Flächen lässt sich in Temperatursimulationen gut nachvollziehen (s. Abb. 6.7).

Über den Tagesgang hinweg nimmt die Lufttemperatur infolge der Sonnenstrahlung und der Energieumsätze der verschiedenen Oberflächen zu, erreicht gegen 14 Uhr den Höhepunkt, um dann anschließend kontinuierlich zum Abend hin zu sinken.

Zum Zeitpunkt der Lufttemperaturmaxima ergeben sich die größten Unterschiede zwischen den Oberflächen. Auffallend ist insbesondere der Einfluss der Feuchtigkeit auf die Lufttemperatur. Asphalt besitzt erwartungsgemäß das höchste Temperaturmaximum. Ein ausgetrockneter unversiegelter Boden erreicht jedoch schon das zweithöchste Maximum, gefolgt von Mauerwerk und trockenem Gras. Die Lufttemperaturdifferenz zum besonnenen Asphalt beträgt hier zwar immerhin 4°C, die Unterschiede zu feuchtem Gras (6°C) bzw. der Lufttemperatur unter einem Baumbestand (16°C) sind jedoch erheblich. Zu beachten ist hierbei, dass die modellhafte Simulation den horizontalen, Temperatur ausgleichenden Luftaustausch außer Acht lässt, um den Einfluss der Nutzungen besser zu charakterisieren.

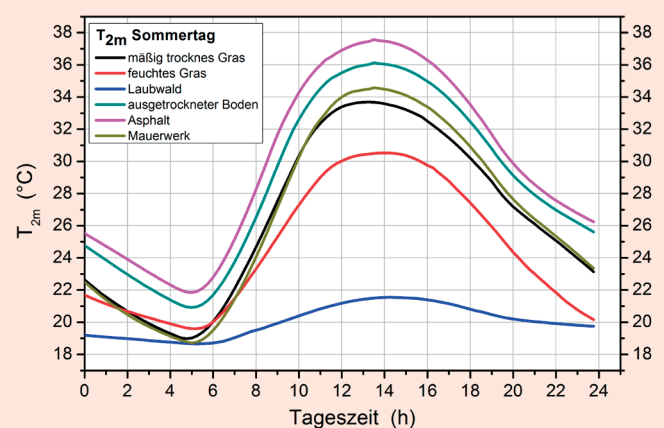
Es wird deutlich, dass eine Entsiegelung bereits einen messbaren Abkühlungseffekt durch die Veränderung der Bodenoberfläche bringt, eine Begrünung aufgrund von Verdunstung hingegen einen weit höheren Effekt bedingt. Rasen spielt dabei eine untergeordnete Rolle, da dieser nur wenig Grünvolumen im Vergleich zu strukturierten Beständen aufweist. In jedem Falle sollten Boden und Vegetationsbestände feucht bleiben, damit sie eine Kühlfunktion im Sommer übernehmen können. In thermisch belasteten Bereichen sollten daher Grünflächen mit herausgehobener Funktion für die Klimaanpassung zumindest temporär bewässert werden.

* Das Grünvolumen ist die oberirdische grüne Biomasse, die durch Bäume, Gehölze, Sträucher und andere Vegetationsformen gebildet wird.

Abb. 6.6 Albedowerte ausgewählter Oberflächen¹³



Abb. 6.7 HIRVAC-Simulation der 2m-Temperatur für unterschiedliche städtische Nutzungen mit „sehr großer Ausdehnung“¹⁴



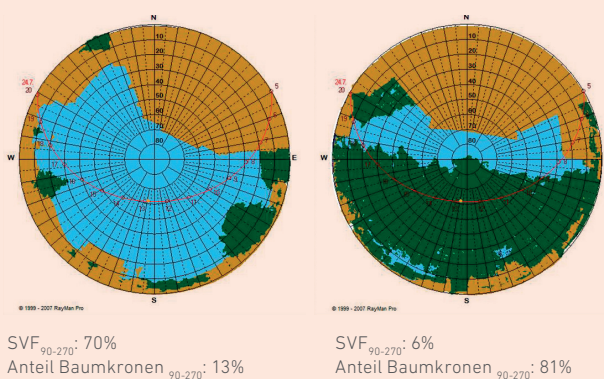
Dach- und Fassadenbegrünung besitzen demgegenüber nur eine geringe Reichweite des Kühleffektes der Lufttemperatur. Bei Fassaden bleibt dieser auf den Bereich unmittelbar an der Fassade beschränkt und beträgt weniger als 1°C ¹⁵. Die Oberflächentemperatur der Fassaden wird durch eine Begrünung jedoch mit etwa 20°C deutlich verringert¹⁶. Auch resultieren daraus energetische Vorteile für das Gebäude¹⁷. Dachbegrünung kann je nach Bepflanzung einen ähnlichen Effekt hinsichtlich der Kühlwirkung erzielen wie eine Bepflanzung am Boden. Der Wirkungsbereich ist jedoch im Wesentlichen auf das Dachniveau beschränkt¹⁸. Die Dachbegrünung begünstigt auch die Wasserrückhaltung von Niederschlagswasser und damit die Entlastung des Abwassersystems bei Starkniederschlag. Zudem kann eine Dachbegrünung erheblich zur Energieeinsparung bei der Gebäudenutzung beitragen.

Verschattung von Freiräumen

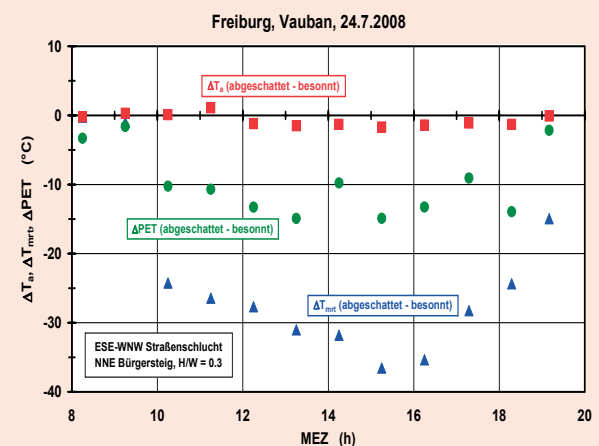
Der Effekt der Verschattung trägt kleinräumig mit am stärksten zur Temperaturreduktion und damit zur Senkung der thermischen Belastung bei. Ein Vergleich humanbiologischer Parameter (PET-Wert) verdeutlicht den positiven Effekt der Beschattung durch Bäume in einer Straßenschlucht in Freiburg (s. Abb. 6.8). Während die Lufttemperatur nur um ca. 2°C abgesenkt werden kann, unterscheiden sich die Strahlungstemperaturen an der Straßenoberfläche (Asphalt) um mehr als 30°C . Neben den Temperaturen wird auch die Luftfeuchte durch die Verschattung verändert, was zu einer weiteren Verbesserung des thermischen Komforts führt. Räumlich ist der Effekt auf den Bereich des Schattenwurfes begrenzt. 80% des Kühleffektes beruhen auf dem Schattenwurf und 20% auf der Evapotranspiration¹⁹.

Verschattung kann durch bauliche Maßnahmen wie Markisen, Sonnensegel, Arkaden oder aber – sehr effektiv – durch Baumpflanzungen erreicht werden. In Straßenschluchten besitzen Laubbäume mit großen Baumkronen den größten Effekt; diese müssen aber nicht unbedingt dicht sein. Dabei sollten möglichst die Fußgängerbereiche beschattet werden. Allerdings kann ein Kronenschluss zweiseitiger Alleen an Hauptverkehrsstraßen die Durchlüftung der Straße behindern und zum Anstieg der Luftbelastung führen²⁰. Aufgrund des Laubfalls im Winter kann die Sonnenstrahlung zur dann erwünschten Erwärmung des Straßenraums beitragen. Bei der Baumartenwahl sollten trockenheitsresistente und winterharte Arten bevorzugt werden, beispielsweise Grau-Erle oder Feld-Ahorn. Darüber hinaus emittieren manche Baumarten flüchtige organische Stoffe, die in Verbindung mit Verkehrsemissionen verstärkt zur Ozonbelastung in der Straßenschlucht beitragen. Daher ist es sinnvoll, bei der Artenauswahl von Straßenbäumen auch das Ozonbildungspotenzial der Baumarten mitzuberücksichtigen, beispielsweise Feld-Ahorn oder Eschen-Ahorn.²¹

Abb. 6.8 Der Abkühlungseffekt durch Verschattung²²



Die „Fischaugenbilder“ geben den Blick von der Straße in den Himmel wieder. Sie veranschaulichen über den Sky-View-Factor – ein Maß für die freie Sichtbarkeit des Himmels – die unterschiedliche Verschattung der Messstandorte. Gelb zeigt dabei die Verschattung durch Bebauung, blau den sichtbaren Himmel und grün die Bäume. Der hohe Skyviewfaktor (SVF) links zeigt eine besonnte, der kleine SVF rechts eine beschattete Situation.



Das Diagramm zeigt die Temperaturdifferenz zwischen besonnten und beschatteten Standorten, wie sie in den beiden Fischaugenbildern veranschaulicht werden. Als Fazit ergibt sich:

- leichte Erniedrigung der Lufttemperatur T_a (max.: -1.7°C)
- deutliche Reduzierung von PET von „heiß“ zu „leicht warm“ (max.: -14.9°C)
- deutliche Reduzierung der Strahlungstemperatur als einer „Schlüsselvariablen“ für thermischen Komfort T_{mrt} (max.: -36.6°C)

Schaffung bewegter Wasserflächen

Die Verdunstung von Wasser führt zu einer Abkühlung der Umgebungsluft, da dieser Wärme entzogen wird. Gleichzeitig speichert ein Wasserkörper jedoch Wärmeenergie. Stehende Gewässer sind deshalb aufgrund des großen Wärmespeichervermögens nicht geeignet, die Umgebungstemperatur wirksam abzusenken. Bewegtes Wasser mit geringer Wärmespeicherung, wie beispielsweise Fließgewässer oder technische Systeme wie Brunnen bzw. Sprühnebel (s. Abb. 6.9), besitzt dagegen ein großes Potenzial, da die Zerstäubung der Wassertropfen deren Oberfläche vergrößert und das Wasser in der Luft verteilt; die Verdunstung wird so erheblich begünstigt. Die dabei entstehende Verdunstungskälte ist das effektivste Mittel, die Lufttemperatur abzukühlen: Ein feiner Sprühnebel kann die Lufttemperatur um 10°C bis 15°C senken.



Abb. 6.9 Bewegtes Wasser, Beispiele urbaner Wasserplätze aus Chicago und New York²³



Die Maßnahmen zur Erhöhung des Klimakomforts in der Zusammenschau

Den größten Effekt im Hinblick auf eine Verringerung der Temperatur weisen Stadtbäume und die Erhöhung des Albedowertes durch den Einsatz heller Oberflächen auf. Vergleichsweise geringe Auswirkungen auf die mittlere Lufttemperatur haben die Begrünung von Fassaden und Dächern. Sprühnebsysteme sind hierbei nicht berücksichtigt. Diese haben zwar mit Abstand den größten Abkühlungseffekt, sind aber nur für einen punktuellen Einsatz geeignet (s. Abb. 6.10).

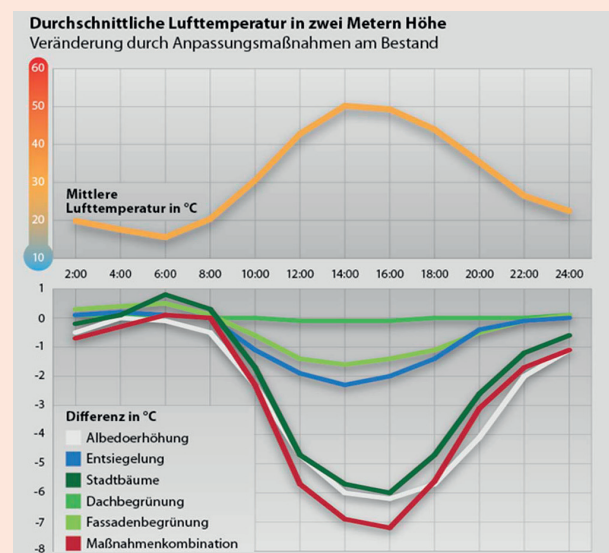
Kontext von Klimaanpassungsmaßnahmen

Die beschriebenen Maßnahmen zur Reduktion der thermischen Belastung können nicht isoliert, sondern müssen immer im Kontext mit anderen Planungserfordernissen im Sinne einer nachhaltigen und integrierten Stadtentwicklung betrachtet werden.

Bei der Neuplanung von Siedlungsquartieren muss insbesondere bei der Standortwahl der Schutz klimaaktiver Flächen im stadtreionalen Zusammenhang Berücksichtigung finden. Im Rahmen der konkreten Ausgestaltung steht der bioklimatische Komfort über eine adäquate Freiflächenversorgung und Begrünung des neuen Quartiers im Vordergrund. Im Siedlungsbestand dagegen ist oftmals der Platz für flächenhafte Entsiegelungen und umfangreiche Begrünungsmaßnahmen nicht vorhanden. Daher sind hier kleinteilige Bepflanzungen und verstärkt auch gebäudebezogene Maßnahmen zu berücksichtigen.

Die Notwendigkeit einer integrierten Planung wird auch deutlich, wenn es zu Konflikten zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung kommt. So muss bei der Neuplanung im Einzelfall abgewogen werden, ob eine energieeffiziente

Abb. 6.10 Effektstärken verschiedener Maßnahmen zur Verringerung der Lufttemperatur²⁴



kompakte Siedlungsstruktur, die durch Vermeidung von Treibhausgasemissionen klimaschützend wirkt, möglichen Anpassungserfordernissen, z.B. der Gesundheitsbelastung durch Hitze in der Stadt, entgegensteht.

6.2 Handlungsfeld „Anpassung an Trockenheit“

Zunehmende Trockenheit im Sommer kann zu negativen Folgewirkungen für die Brauch- und Trinkwasserversorgung der Bevölkerung, für die Infrastruktur der Siedlungswasserwirtschaft, für Natur und Landschaft oder die städtischen Freiräume führen. Niedrigwasser in Flüssen mit Beeinträchtigung der Nutzung als Wasserstraße ist in Luxemburg, mit Ausnahme der Mosel, von untergeordneter Bedeutung. Negative Folgewirkungen für Natur und Landschaft und mögliche Strategien der Biotopvernetzung, der Pufferbildung oder des Wasserhaushaltsmanagements von Biotopen werden bereits in der nationalen Anpassungsstrategie aufgegriffen. Schäden an der Stadtvegetation können durch die Auswahl angepasster Baum- und Pflanzenarten sowie durch Bewässerungsmaßnahmen minimiert werden.

Die Sicherung der Trink- und Brauchwasserversorgung

Die Sicherstellung des Trink- und Brauchwasserdargebotes sowie der Wasserqualität steht im Vordergrund der Anpassungsstrategien in Bezug auf mögliche Dürreperioden. Verschiedene Strategien können hierzu genutzt werden: Der Einsatz angepasster Versorgungsinfrastrukturen, die Reduzierung des Wasserverbrauchs durch wassersparende Verhaltensweisen sowie die Nutzung effizienter Technologien dienen der Vermeidung von Engpässen.

Die Anreicherung des Grundwassers ist durch eine dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser und die Wasserbereitstellung aus Verbundnetzen zu erreichen. Die Sicherung einer guten Wasserqualität kann über den Schutz der Quellbereiche, Oberflächengewässer und Grundwasservorkommen vor Schadstoffeintrag erzielt werden.

Die Anpassung der Wasserversorgungsstruktur betrifft sowohl hygienische als auch effizienzbezogene Aspekte. Die mit dem Klimawandel verbundene Temperaturerhöhung kann bei oberflächennahen Wasserversorgungsstrukturen zur Erwärmung des Wassers und damit zu einer mikrobiologischen Verkeimung führen.²⁵ Der Abbau von Sticheleitungen (mit stehendem Wasser), das häufigere Spülen von Leitungen sowie die Tieferlegung der Rohrleitungen im Boden sind mögliche Maßnahmen zur Vermeidung von hygienischen Problemen. Die Wirksamkeit der Kanalnetze bei Niedrigwasser kann durch Nutzung hydraulisch effizienter Rohrprofile bei Neubaumaßnahmen sowie durch die häufigere Wartung und Reparatur von Leckagen im System optimiert werden.²⁶

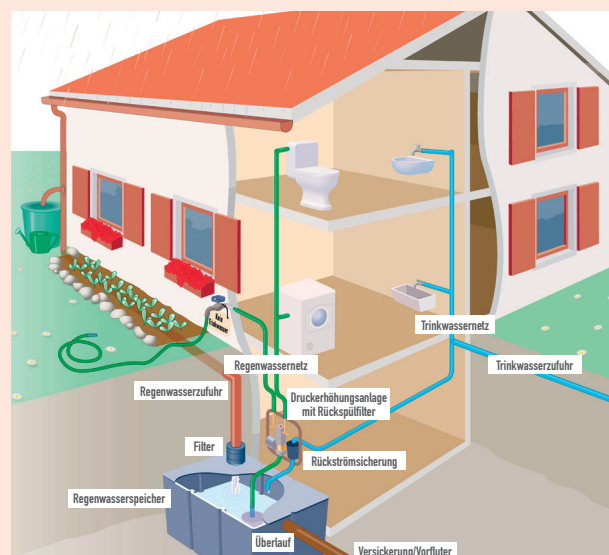
Das Kaleidoskop der Wassersparmaßnahmen soll hier nur im Überblick dargestellt werden: Sowohl hinsichtlich der Wasserversorger als auch auf Seiten der Großverbraucher macht die Erstellung von Bewirtschaftungsplänen zur Einsparung Sinn. Wassersparmaßnahmen in Haushalten betreffen den Einsatz effizienter Haushaltsgeräte oder eine vermehrte Regen- und Brauchwassernutzung (s. Abb. 6.11). Hierdurch können zumindest saisonal Trinkwasserressourcen eingespart werden. Informationskampagnen zur Wassereinsparung sind hier sinnvoll. In Zeiten von Wasserknappheit greifen zudem ordnungsrechtliche und ökonomische Instrumente wie Verbote, beispielsweise der Gartenbewässerung, oder die saisonale Regulierung der Wassernutzung über den Wasserpreis.

Bewässerung von Freiflächen

Die Bewässerung öffentlicher Grünflächen ist in warmen oder heißen Trockenperioden nicht nur zur Erhaltung der Vegetation, sondern auch für das Wohlbefinden der Stadtbewohner von besonderer Bedeutung. Während trockene Grünflächen hinsichtlich der Aufheizung der Städte ein ähnliches Verhalten wie versiegelte Flächen zeigen, können feuchte, wassergesättigte Grünflächen einen erheblichen Beitrag zur Abkühlung der Lufttemperatur am Tage leisten (s. Kap. 6.1).

Doch in Trockenperioden steht gleichzeitig das Wassersparen im Vordergrund. Daher sollte auf öffentlichen Grünflächen eine möglichst natürliche Versorgung der Vegetation mit Wasser erfolgen. So sind beispielsweise Baumscheiben groß genug zu bemessen, damit den Pflanzen möglichst viel Oberflächenwasser zugute kommt. Die Auswahl trockenheitsresistenter (und winterharter) Baum- und Straucharten zur Stadtbegrünung hilft zudem, den sommerlichen Wasserbedarf der Stadtvegetation zu senken.

Abb. 6.11 Schema einer Regenwassernutzungsanlage²⁷



Zur Bewässerung in Trockenzeiten sollte vermehrt Regen- und Brauchwasser zum Einsatz kommen. Dies setzt eine gezielte (Regen-)Wasserbewirtschaftung voraus. Zudem können Wasserretention und -verteilung auch mit der Gestaltung von Freiräumen verknüpft werden. Eine Bewässerung in den Tagesrandzeiten reduziert Verdunstungsverluste, sollte jedoch gleichzeitig eine gute Durchfeuchtung während des Tages sicherstellen, um von den Abkühlungseffekten zu profitieren.

6.3 Handlungsfeld „Anpassung an Hochwasser und Extremniederschläge“

Das luxemburgische Wasserwirtschaftsamt erstellt Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten im Rahmen der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (EU HWRM-RL 2007/60/EG). Hochwassergefahrenkarten zeigen, an welchen Fließgewässern bei bestimmten Extremereignissen Hochwasser auftritt und welche Bereiche überflutet werden. Hochwasserrisikokarten geben darüber hinaus Auskunft, welche Nutzungen und kritischen Infrastrukturen in den potenziell überfluteten Bereichen liegen. Die Kartenwerke sind für jedermann im Internet einsehbar* (s. Abb. 6.12 + 6.13).

Neben dem Überflutungsbereich für ein 100-jährliches Hochwasser (HQ 100) können weitere Gefahrenbereiche für unterschiedliche Hochwassersituationen dargestellt werden. In der Regel sind dies 10-jährliche Hochwasser (HQ10) und Extremhochwasser (HQextrem). So können die Gemeinden und die Bevölkerung feststellen, ob und inwieweit sie von Hochwasser betroffen sein könnten. Die Hochwasserrisikomanagementrichtlinie der EU schreibt vor, dass zukünftig auch Managementpläne zu erstellen sind, die den Umgang

mit den Hochwassergefahren darstellen und aufzeigen, welche Schutzmaßnahmen umgesetzt werden sollen.

Zudem sind die Kommunen gut beraten, auch die Rückstaubereiche im Kanalsystem in ihre Vorsorgestrategien einzubeziehen. Im Zusammenspiel mit Hochwassergefahren können diese Rückstau gefährdeten Bereiche deutlich über die Zone beispielsweise des 100-jährlichen Hochwassers hinausgehen und Hinweise zu einer erforderlichen Gebäudesicherung liefern (s. Abb. 6.14). Zudem sollten sturzflutgefährdete Bereiche im Siedlungsbestand gekennzeichnet und Schutzmaßnahmen geplant werden.

In Luxemburg dürfen in den überschwemmungsgefährdeten Bereichen keine neuen Baugebiete oder Standorte für Campingplätze, Abfallbeseitigungsanlagen oder das Retentionsvolumen beeinträchtigende Vorhaben ausgewiesen werden. Bei baulichen Änderungen oder Ergänzungen im Bestand ist das hierdurch verringerte Retentionsvolumen an anderer Stelle zu kompensieren. In Ausnahmefällen sind neue Siedlungen in Überschwemmungsbereichen zulässig, wenn sichergestellt ist, dass das verloren gehende Retentionsvolumen vor Realisierung des Vorhabens kompensiert wird. Grundsätzlich ist in diesen Fällen nachzuweisen, dass weder Personen noch Sachgüter durch die Umsetzung des Vorhabens Schaden erleiden. In Gebieten mit einer geringeren Gefährdung wird eine hochwasserangepasste Bebauung gefordert**.

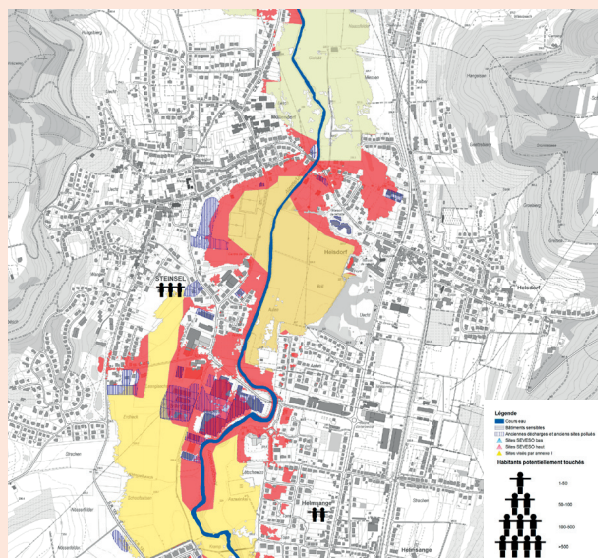
* www.timisflood.net

** Art. 39 Loi su 19 décembre 2008 relative à l'eau

Abb. 6.12 Ausschnitt aus einer Hochwassergefahrenkarte
Bereich Steinsel nördlich Luxemburg für das HQ 100²⁸



Abb. 6.13 Ausschnitt aus einer Hochwasserrisikokarte
Bereich Steinsel nördlich Luxemburg für das HQ 100²⁹



Hochwassersensible Nutzungen wie kritische Infrastrukturen sollten im Bereich von hochwassergefährdeten Flächen nicht bzw. nur mit besonderen Auflagen zum Objektschutz genehmigt werden, um deren Funktionsfähigkeit und Erreichbarkeit zu sichern. In Luxemburg müssen private Eigentümer Schäden durch Hochwasserereignisse selbst tragen. Versicherungen gegen Hochwassergefährdungen sind nach Angaben des Wasserwirtschaftsamtes (2005) die Ausnahme. Die Strategien zum Schutz gegen Hochwasser und Starkregenereignisse richten sich daher primär auf die Verhaltensvorsorge der Bevölkerung. Im Rahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes stellen Staat und Gemeinden Informationsangebote (Hochwasserfibel 2005, Frühwarnsysteme) zur Verfügung (s. Abb. 6.15).

Zentrale Elemente beim Schutz gegen Hochwassergefahren und Sturzflutereignisse sind der Rückhalt des Niederschlagswassers in der Fläche des gesamten Flusseinzugsgebietes sowie die Abflussverzögerung der Hochwasserwellen. Hierzu zählt eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen wie:

- die Begrenzung der Versiegelung
- die Entsiegelung von Flächen und Dachbegrünung
- der Rückbau von Drainagen in der Land- und Forstwirtschaft
- der Abbau von Abflusshindernissen (z.B. Brückenpfeiler) in hochwassergefährdeten Bereichen
- der Einbau von Abflusshindernissen in gegenüber Hochwasser unkritischen Bereichen
- die Sicherung und Rückgewinnung von natürlichen Überschwemmungsflächen durch Deichrückverlegungen
- die Schaffung von neuen Retentionsräumen für Hochwasser

Eine ausführliche Maßnahmenübersicht gibt der Leitfaden zum Umgang mit Regenwasser in Siedlungsgebieten Luxemburgs³⁰. In Neubaugebieten wird zunehmend auf die Rückhaltung von Niederschlagswasser in der Fläche gesetzt. Dies kann über Versickerung geschehen oder über eine Rückhaltung und gepufferte Ableitung. Die Errichtung von Trennsystemen in Neubaugebieten wird finanziell gefördert³¹. Um das Kanalsystem weiter zu entlasten, sollten Oberflächengewässer aus der Umgebung der Siedlungsgebiete vom Kanalsystem abgekoppelt und oberflächlich abgeleitet bzw. versickert werden.

Die Schaffung neuer Retentionsräume im öffentlichen und privaten Raum durch multifunktionale Frei- und Grünflächen, die spezifisch für die Wasserrückhaltung ausgestaltet und somit zeitweise überflutet werden können, dient der Entlastung des Abwassersystems (s. Abb. 6.16 + 6.17). Auch Dachbegrünung leistet hierzu einen Beitrag, zumal viele Beispiele zeigen, dass sich die Installation von Photovoltaikanlagen als Klimaschutzmaßnahme gut mit einem begrünten Dach in Einklang bringen lässt (s. Abb. 6.18 + 6.19).

Die Planung von Notwasserwegen, beispielsweise in Straßen oder Freiräumen, sowie die Nutzung von Niederschlagszwischen Speichern in sturzflutgefährdeten Siedlungsbereichen dienen der Schadensminimierung. Abfluss- und erosionsmindernde Maßnahmen wie hangparallele Bepflanzung und Wasserableitungen tragen gleichfalls zur Vorbeugung im Bereich gefährdeter Siedlungen bei (s. Abb. 6.19).

Abb. 6.14 Hochwasser und Rückstau gefährdete Siedlungsflächen in Saarbrücken³²

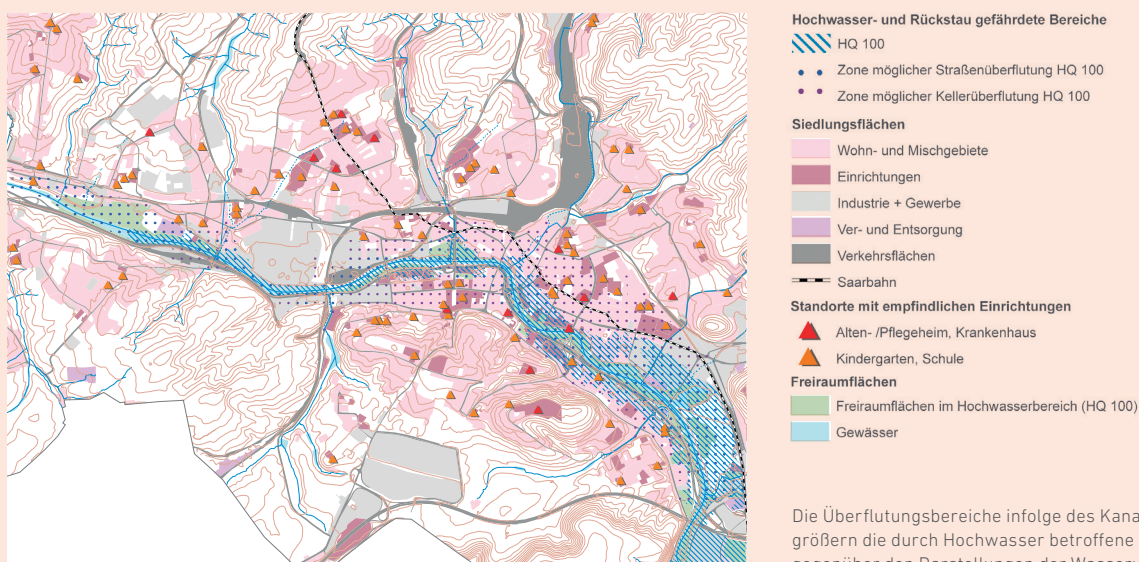


Abb. 6.15 Checkliste für den Hochwasserschutz³³

Massnahmen und bautechnische Voraussetzungen für vorhandene und geplante Gebäude				
Zu erwartende Wassertiefe am Gebäude				
anstehendes Grundwasser	0 bis 1 m	1 bis 2 m	2 bis 3 m	grösser 3 m
Standsicherheit bis zum maximalen Hochwasserstand gewährleisten				
Kellerabdichtung (Kellerwanne) als Innendichtung				
tieferliegende Öffnungen druckwasserdicht ausbilden (Gas-, Strom- und Wasseranschlüsse)				
Kanalisationsrückstau verhindern, Rückstauklappen vorsehen				
	Sandsäcke vor Öffnungen			
	Dambalken vor Öffnungen			
	passgenaue Abdichtungen (Spezialanfertigungen)			
	Aussenmauer druckwasserdicht ausbilden			
	stationäre Wassersperren: Damm, Mauer, HW-Schutzwand (Voraus.: kein GW-Zulauf zum Gebäude)			
	mobile HW-Schutzwand um Gebäude (Voraussetzung: kein Grundwasserzulauf zum Gebäude)			
	kontrolliertes Fluten, Sauberwasserflutung			
Höherlegen der Steckdosen und Lichtschalter				
Installationseinrichtungen wie Elektroverteilerkasten und Heizung oberhalb maximalem Hochwasserstand vorsehen (Ober- bzw. Dachgeschoss)				
abschaltbare Strom- und Heizungskreisläufe				
Pumpensumpf vorsehen				
Sichern der Öltanks im Keller				
wasserwiderstandsfähige und leicht erneuerbare Bau- und Ausbaumaterialien vorsehen (siehe Liste)				
geringerwertige Nutzung bis zur maximalen Hochwasserebene (Wohnbereiche höher legen, ca. 50cm oberhalb maximalem Hochwasserstand)				
bewegliche Einrichtung bis zum maximalen Hochwasserstand vorsehen, auf ausreichende Türgrößen achten				
Hochwassersichere Planung der Aussenanlagen (Garage, Gärten, Einbauten), auftriebs-, erosions- und strömungssicher				
Sichern der Öltanks, Zisternen und Eigenkläranlagen im Aussenbereich				
Zusätzliche Planungsgrundsätze für Neubauten				
anstehendes Grundwasser	0 bis 1 m	1 bis 2 m	2 bis 3 m	grösser 3 m
Standsicherheit während der Bauphase bis zum maximalen Hochwasserstand gewährleisten				
u. U. Eigengewicht des Gebäudes erhöhen (Schwergewichtsbeton, Verankern, Wasserhaltung)				
möglichen Erosionen im Baugrund vorbeugen				
	tiefere Gründung bei zu erwartendem hohen Strömungsdruck			
Bau ausserhalb des potenziellen Überschwemmungsgebietes				
Aufständern des Gebäudes				
Bau ohne Keller				
Kellerabdichtung – „Schwarze Wanne“ (Bitumenabdichtung) oder „Weiße Wanne“ (Betonkeller)				
höhere Oberkanten bei Kellerschächten				
Höherlegen der Anschlüsse der Haustechnik (Gas, Strom, Wasser)				
Türen und Fenster abdichtbar vorsehen				
	Höherlegen der Einlauföffnungen (Türen und Fenster)			
	höheres Erdgeschoss vorsehen			
gegen ansteigende Feuchtigkeit sichern				
	Aussenfassade: Wärmeschutzanforderungen, Abtrocknungsgeschwindigkeit berücksichtigen			
	Bauliche Vorkehrungen für kontrolliertes Fluten vorsehen (teilweise oder vollständig fluten), Sauberwasserflutung			
Wasserbeständige Bau- und Ausbaumaterialien verwenden				
Verzicht auf Öltanks (Gas oder Fernwärme bevorzugen)				
u. U. Erdüberdeckung bei Tanks und Tiefgaragen				

Abb. 6.16 Regenrückhaltung im Quartier Versickerungsanlage Beispiel Bad Dürkheim³⁴
rechts: Versickerungsmulde in einem Spielplatz³⁵

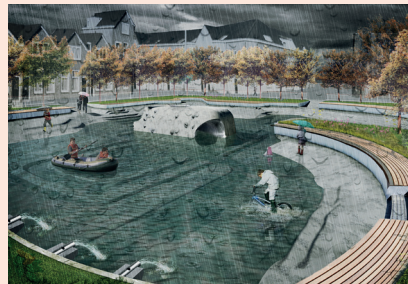


Abb. 6.17 Multifunktionale Nutzung von Freiflächen für den Hochwasserschutz³⁶

Wasserplätze kombinieren Wasserrückhalt mit einer Qualitätssteigerung für den öffentlichen Raum



Normal-Situation



Situation, die höchstens einmal im Jahr vorkommt



Situation, die ca. 30x im Jahr vorkommt

Abb. 6.18 Ansatzwerte für die prozentuale jährliche Wasserrückhaltung bei Dachbegrünungen
in Abhängigkeit von der Aufbaudicke³⁷

Begrünungsart	Aufbaudicke (cm)	Vegetationsform	Wasserrückhaltung im Jahresmittel (%)	Jahres abflussbeiwert ψ_a
Extensivbegrünung	2-4	Moos-Sedum-Begrünung	40	0,60
	> 4-6	Sedum-Moos-Kraut-Begrünung	45	0,55
	> 6-10	Sedum-Moos-Gras-Begrünung	55	0,45
	> 15-20	Gras-Kraut-Begrünung	60	0,40
Intensivbegrünung	15-25	Rasen, Stauden, Kleingehölz	60	0,40
	> 25-50	Rasen, Stauden, Sträucher	70	0,30
	> 50	Rasen, Stauden, Sträucher, Bäume	> 90	0,10

Abb. 6.19 Dachbegrünung und Klimaschutzmaßnahmen³⁸



Abb. 6.20 Beispiel für Notwasserwegeplanung³⁹

vorher



nachher



6.4 Handlungsfeld „Anpassung an Starkwind und Stürme“

Sturmereignisse führen häufig zu gravierenden Schäden, die mit Gefahren für die Bevölkerung, ökonomischen Verlusten oder Zerstörungen kritischer Infrastrukturen einhergehen können.

Strategien der Anpassung bestehen vor allem im Bereich der Bereitstellung von Informationen für die Verhaltensvorsorge. Welche Infrastrukturen und welche Siedlungen liegen im Bereich häufig wiederkehrender Sturmbahnen und sind daher besonders betroffen? Welche Schäden können durch Versicherungen abgedeckt werden und welche kritischen Infrastrukturen wie beispielsweise Stromversorgung oder Telekommunikationsstrukturen sollten baulich besonders gut gegenüber Extremereignissen geschützt werden?

Bisher ist es nicht möglich, Aussagen über potenzielle Verlagerungen der Zugbahnen von Sturmtiefs zu treffen. Aufgrund dieser mangelnden Regionalisierung ist grundsätzlich eine entsprechende Verhaltensvorsorge anzuraten, insbesondere in windexponierten Lagen. Dazu gehören Sturmsicherungsmaßnahmen an Dächern und anderen Bauteilen. Beim Neubau und der Sanierung von Gebäuden sollte zudem darauf geachtet werden, dass auch Fassaden gedämmter Häuser möglichst robust gegenüber Hagel-schäden ausgestaltet werden.

Die regelmäßige Überprüfung der baulichen Anlagen und Dachkonstruktionen sowie von Bäumen durch die zuständigen Behörden bzw. Eigentümer auf Schäden und Standsicherheit dient ebenfalls als vorsorgende Maßnahme zur Vermeidung negativer Folgen.

¹ vgl. VDI 3787, Bl. 2

² vgl. VDI 3787, Bl. 2

³ agl 2012, Grundlagendaten zu Klimamodellierung: GEO-NET 2011

⁴ agl 2012, Grundlagendaten zu Klimamodellierung: GEO-NET 2011

⁵ Nachbarschaftsverband Karlsruhe, Planungsstelle 2011

⁶ MUNLV 2010a: 34

⁷ Kuttler 2011: 11

⁸ vgl. VDI 3787, Blatt 2 und 5

⁹ Bongardt 2006)

¹⁰ Bild: agl

¹¹ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin 2011: 38ff

¹² Kuttler 2011

¹³ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin 2011

¹⁴ Goldberg/Bernhofer 2007

¹⁵ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin 2011

¹⁶ EPA 2008

¹⁷ Kuttler 2011

¹⁸ Edward et al. 2012

¹⁹ Kuttler 2011: 7

²⁰ Kuttler 2011: 11

²¹ MUNLV 2010b: 171f.

²² Holst/Mayer 2011

²³ Bilder: agl

²⁴ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin 2011: 40

²⁵ MUNLV 2010b

²⁶ Stöhr, ZKE 2011

²⁷ BUWAL 2003 in MIAT 2010: 39

²⁸ Website Administration du cadastre et de la topographie, verändert

²⁹ Website Administration du cadastre et de la topographie, verändert

³⁰ MIAT 2010: 8

³¹ Weidenhaupt 2011b

³² agl 2012 auf Basis von Daten ZKE und der Landeshauptstadt Saarbrücken

³³ MIAT 2005: 12

³⁴ Bild: agl

³⁵ Bild: Lehrstuhl für Landschaftsarchitektur und industrielle Landschaft, Technische Universität München, 1998

³⁶ De Urbanisten 2010

³⁷ MIAT 2010: 44 nach FLL 2002

³⁸ Bild: ZinCo GmbH

³⁹ Siekmann 2010

7. WEGE DER UMSETZUNG

Luxemburg verfügt über ein differenziertes Planungssystem, das viele Optionen für eine Integration von Klimaanpassungsstrategien bietet.

Auf Landesebene stehen der Raumordnungspolitik drei Instrumente zur Verfügung, die unterschiedliche Rechtswirksamkeit besitzen: (1) das *Programme Directeur* (PD), (2) die sektoriellen Pläne (*Plans Directeurs Sectoriels*, PS) und (3) die *Plans d'Occupation du Sol* (POS) für spezielle Raumordnungsvorhaben¹. Auf der kommunalen Ebene bilden der Plan d'aménagement général (PAG) sowie der *Plan d'aménagement particulier nouveaux quartiers* (PAP NQ) und *quartier existant* (PAP QE) die Instrumente der städtebaulichen Planung, die rechtsverbindlichen Charakter entfalten. Darüber hinaus leisten die Fachplanungen, z.B. die Wasserwirtschaft oder die Forstwirtschaft, aber auch informelle Planungen und Prozesse einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen.

7.1 Formale Instrumente der Landesplanung am Beispiel des Programme Directeur

Das *Programme Directeur*, das 2003 verabschiedet wurde, dient als Orientierungsrahmen für die Sektorplanungen auf Landesebene sowie für die kommunale Planungspraxis. Das PD definiert die grundlegenden Strategien für eine nachhaltige Raumordnung in Luxemburg. Es formuliert politische Zielsetzungen und schlägt Maßnahmen in Form eines integrativen Aktionsprogramms vor, das drei Handlungsfelder umfasst: (1) städtische und ländliche Entwicklung, (2) Verkehr und Telekommunikation sowie (3) Umwelt und natürliche Ressourcen². Als Orientierungs- und Koordinationsinstrument auf nationaler Ebene hat es eine wichtige Bedeutung für die Gestaltung des gesamten Planungssystems und somit auch zur Integration von Klimaschutz und Klimaanpassung in die Raumplanung.

Die *Plans Sectoriels* präzisieren das *Programme Directeur* für spezifische Handlungsfelder auf nationaler Ebene. Sie sind verbindlich für die nachfolgenden Planungsebenen. Aufbauend auf dem *Programme Directeur* sind vier *Plans Sectoriels* in Bearbeitung: Transport, Wohnen, Gewerbe und Landschaft. Sie sind momentan als Vorentwürfe (*avant-projets*) veröffentlicht*.

Die Wirkfolgen des Klimawandels sind vielfach nur auf regionaler oder nationaler Ebene zu bewältigen. So ist eine größere Agglomeration, wie beispielsweise die Stadt Luxemburg und die umliegenden Gemeinden, auf die Freihaltung klimaaktiver Flächen angewiesen, die möglicherweise in der Nachbargemeinde liegen. Auch die Hochwasserproblematik endet nicht an der Gemeindegrenze. Die Betrachtung der klimatischen

Situation kann daher nicht nur auf der Gemeindeebene erfolgen, sie muss auch großräumige Zusammenhänge berücksichtigen.

Die Landesplanung kann hier den wichtigen Part eines Koordinators übernehmen, planungsrelevante Informationen bündeln und auf dieser Basis Strategien für die sektorale und kommunale Umsetzungsebene aufzeigen. Wichtige fachplanerische Impulse, beispielsweise aus dem Nationalen Aktionsplan für Klimaschutz und der Nationalen Anpassungsstrategie, können auf diesem Wege in eine räumliche Perspektive integriert und operationalisiert sowie potenzielle Zielkonflikte bewältigt werden.

In diesem Sinne sollten Aspekte des Klimawandels und seine raumrelevanten Auswirkungen landesweit dargestellt und über eine Betroffenheitsanalyse räumlich konkretisiert werden. Hierfür könnte die strategische Umweltprüfung der Landesplanung, beispielsweise für die *Plans Sectoriels*, die notwendigen Grundlagen liefern.

Einzelne Themenbereiche können ausschließlich auf regionaler Ebene und sektorübergreifend geregelt werden, z.B. die Freihaltung großräumiger, klimatisch bedeutsamer Luftleitbahnen, die Sicherung zusammenhängender klimaaktiver Flächen oder die Schaffung und Sicherung von Retentionsräumen. Dem PD käme hier die Aufgabe zu, strategische Aussagen zu solchen Zonen mit Planungsaufträgen für die nachgeordneten Ebenen zu verbinden. Eine konkrete Darstellung der Sicherungs- und Handlungserfordernisse könnten dann die PS übernehmen. Solche Strategien zur Klimaanpassung ließen sich beispielsweise gut im Rahmen einer Überarbeitung des *Programme Directeur* bzw. der *Plans Sectoriels* integrieren.

Auf diesem Wege kann die Landesplanung auf eine intensivere Abstimmung und Koordination der verschiedenen Planungsebenen und -sektoren, die gerade angesichts des Klimawandels von besonderer Bedeutung sind, hinwirken.

Auf kommunaler Ebene können dann die vorbereitenden Untersuchungen im Zusammenhang mit der Erstellung bzw. Überarbeitung der PAG auf den landesweiten Betroffenheitsanalysen aufbauen, während die strategischen und verbindlichen Vorgaben der Landesplanung in den konzeptionellen Aussagen umzusetzen sind.

* www.dat.public.lu – für weiterführende Informationen zu den Planungsinstrumenten

7.2 Instrumente der Fachplanungen am Beispiel des Hochwasserschutzes

Von den raumrelevanten Fachplanungen trägt insbesondere die Wasserwirtschaft zu landesweit bedeutsamen Anpassungsmaßnahmen bei und wird deshalb hier näher betrachtet. Im Zuge des Klimawandels muss sich die Wasserwirtschaft mit den Auswirkungen von häufiger auftretenden Trocken- bzw. Dürreperioden, der Zunahme der winterlichen Niederschläge sowie der Starkregenereignisse und den damit verbundenen steigenden Hochwassergefahren auseinandersetzen. Besonders betroffen sind Siedlungsbereiche wie auch (kritische) Infrastrukturen.

Auf Landesebene fällt die wasserwirtschaftliche Planung in die Zuständigkeit der *Administration de la Gestion de l'Eau*, die dem Innenministerium unterstellt ist. Im Zusammenhang mit der Klimaanpassung und einer integrierten Raumentwicklung stehen folgende Aspekte im Vordergrund:

Hochwasserrisikomanagement

Im Bereich der Wasserwirtschaft stellen die EG-Wasser-rahmenrichtlinie³ (WRRL) und die EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie⁴ die wichtigsten Instrumente dar, um Anpassungsmaßnahmen in diesem Aufgabenfeld umzusetzen. Sie sind im Luxemburger Wassergesetz von 2008 integriert.⁵

In Bezug auf das Hochwasserrisikomanagement ist Luxemburg in eine internationale Zusammenarbeit, die die Flussgebiete von Rhein, Mosel und Maas umfasst, eingebunden. Unter dem Dach der Internationalen Kommissionen zum Schutze der Mosel und der Saar (IKSMS) kooperieren Kommunen im Interreg IVA-Projekt FLOW MS*. Ziel der Initiative ist die Verringerung der Hochwasserschäden durch eine Verbesserung der Hochwasservorsorge und die Vorsorge für Niedrigwassersituationen im Einzugsgebiet von Mosel und Saar.

Strategien zur Zielerreichung sind (1) die Bewusstseinsbildung für Hochwassergefahren bei den Betroffenen, (2) eine verbesserte grenzüberschreitende Zusammenarbeit im Hochwasserschutz, (3) die Stärkung der Eigenvor-sorgemaßnahmen der Kommunen, ihrer Verbände und der betroffenen Bevölkerung, (4) die Verbesserung des grenzüberschreitenden Hochwasservorhersagesystems sowie (5) die Anpassung des kommunalen Hoch- und Niedrigwassermanagements an die Auswirkungen des Klimawandels.⁶

Zusammenarbeit auf interkommunaler Ebene fördern: Hochwasserpartnerschaften

Ein Schwerpunkt des FLOW MS-Projektes liegt bei den Hochwasserpartnerschaften auf interkommunaler Ebene. Sie dienen als Plattform, um Strategien zur Reduzierung des Hochwasserrisikos zu entwickeln und umzusetzen. Drei solcher Partnerschaften sind bereits installiert (Attert, Alzette, Sauer); im Bereich der Dreiländermosel wird an der Einrichtung einer weiteren Partnerschaft gearbeitet.⁷

Planungsrelevante Informationen erstellen und vermitteln

Im Rahmen des Interreg IIB NWE Projekts TIMIS flood** wurden Hochwassergefahrenkarten sowie Hochwasser-risikokarten für die luxemburgischen Gewässer erstellt. Sie stellen eine wichtige Informationsgrundlage für die Gemeinden dar. Die Karten zu den Hochwassergefahren werden in die PAGs der Gemeinden übernommen.⁸

Naturnahe Gewässerbewirtschaftung

Zwischen 2007 und 2009 wurden in Luxemburg unter Einbeziehung der relevanten Akteure und der Öffentlichkeit vorläufige Bewirtschaftungspläne gemäß Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) erstellt. Sie enthalten eine Reihe von Maßnahmen, die die natürliche Gewässerentwicklung fördern und auch zu einer verbesserten Retention in der Fläche führen. In den letzten Jahren wird eine naturnahe Gewässerbewirtschaftung bereits konsequent umgesetzt und so die natürliche Anpassungs- und Rückhaltefähigkeit der Gewässer optimiert.⁹

Regenwassermanagement

In ihrem Leitfaden zum Regenwassermanagement zeigt die Wasserwirtschaftsbehörde bereits ein breites Spektrum an Maßnahmen zum nachhaltigen und damit vielfach auch klimaangepassten Umgang mit Regenwasser auf***.¹⁰

*Flood- and Low Water Management Mosel – Saar

**www.timisflood.net

***Der Regenwasserleitfaden ist abrufbar unter <http://www.eau.public.lu/publications/index.html>

7.3 Formale Instrumente der Kommunen

Die Instrumente der kommunalen Planung in Luxemburg bieten zahlreiche Ansatzpunkte, um Klimaschutz und Klimaanpassung in der kommunalen Planung zu verankern. Wenngleich Klimaanpassung bislang kein explizites Ziel darstellt, lassen sich die Regelungsmöglichkeiten des luxemburgischen Planungsgesetzes durchaus auch für Maßnahmen zur Klimaanpassung einsetzen.

Klimatische Aspekte sind auch ein Themenfeld der Strategischen Umweltprüfung (SUP), die für alle Planungen vorgeschrieben ist. Die Auswirkungen der Planung auf das Mikro- und Mesoklima sollten hier auch im Hinblick auf die erwarteten klimatischen Veränderungen überprüft und behandelt werden (s. Abb. 7.2).

Étude préparatoire (EP)

Die EP besteht aus vier Teilen (s. Abb. 7.3): der Bestandsanalyse, der Entwicklungsstrategie, dem Umsetzungskonzept und dem *Schéma Directeur*. Die EP stellt ein wichtiges und umfassendes Element des stadtplanerischen Instrumentariums dar, in der an vielen Stellen Bezüge zu Klimaanpassung und Klimaschutz hergestellt werden können. So ließe sich in die Bestandsanalyse eine klimabezogene Betroffenheitsanalyse integrieren. Hierzu könnten Grundlagen genutzt werden, die im Rahmen der Bestandsanalyse ohnedies erarbeitet werden, z.B. Daten zur Bevölkerungs- oder Baustruktur. Auch die Erfassung klimaaktiver Flächen oder klimatisch bedeutsamer Luftleitbahnen könnte hier erfolgen. In der Entwicklungsstrategie und im Umsetzungskonzept können Leitlinien für eine klimaangepasste Entwicklung bzw. konkrete Maßnahmen definiert werden. Für Neubaugebiete legt schließlich das *Schéma Directeur* die städtebauliche Grundstruktur und damit beispielsweise auch die Anordnung der Freiräume, die Baudichte und Nutzungsstruktur fest. Diese Festlegungen können auch klimatische Aspekte berücksichtigen.

Im Rahmen der Erstellung der EP sind eine adäquate Aufbereitung der Datengrundlagen sowie eine umfassende Operationalisierung der Ziele des Klimaschutzes und der Klimaanpassung sinnvoll und möglich. Den Gemeinden sollten hierfür relevante Daten wie Klimaanalysen, Klimaprojektionen oder Risikokarten zur Verfügung stehen. Hierzu gehören auch Indikatorensysteme, die den Gemeinden Hinweise auf ihre Exposition und ihre Empfindlichkeit gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels geben. Da

diese Informationen sinnvollerweise auf einer überörtlichen Ebene erhoben werden sollten, liegt hier ein wichtiges Aufgabenfeld für die räumliche Planung auf Landesebene.

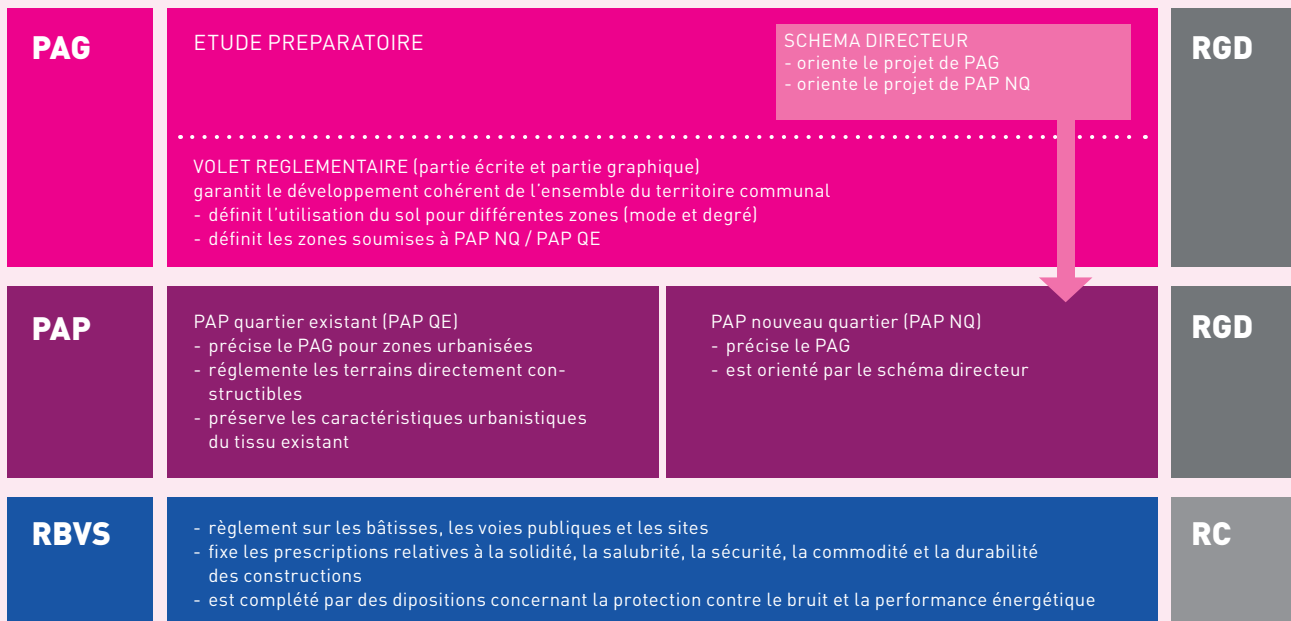
Plan d'aménagement général (PAG)

Der PAG trifft für alle Flächen des Gemeindegebietes Aussagen zu ihrer zukünftigen Nutzung. Die grundsätzliche Unterscheidung des PAG in *zones urbanisées ou destinées à être urbanisées* sowie in *zones destinées à rester libres* wird durch weitere Bestimmungen differenziert. Darüber hinaus können durch die *zones superposées* weitere, quasi überlagernde, Festsetzungen getroffen werden.¹¹

Über Abgrenzung und Festlegung der bebaubaren und freizuhaltenden Flächen und deren Nutzung (Art. 9-24, 28) können beispielsweise klimaaktive Flächen und Ventilationsbahnen durch die Ausweisung als *zones destinées à rester libres* gesichert werden. Eine Offenhaltung dieser Flächen lässt sich über die nähere Bestimmung als *zone agricole, horticole* oder *viticole* erreichen. Mit einer *zone de parc public* oder einer *zone de verdure* werden Grünräume und Freiflächen gezielt von einer baulichen Nutzung freigehalten. Auf den freizuhaltenden Flächen bedarf jede geplante, bauliche Anlage der Genehmigung des zuständigen (Umwelt)Ministeriums

Die **Maße zur baulichen Nutzung** (Art. 25, 27: *Le degré d'utilisation des zones urbanisées ou destinées à être urbanisées*) werden über eine Reihe von Koeffizienten festgesetzt. In den *Nouveaux Quartiers* (NQ) lassen sich damit Bebauungsdichte, Höhe der Bebauung, Anzahl der Wohneinheiten sowie der Grad der Versiegelung für ein Baugebiet steuern. Es sind zumindest Maximalwerte zu definieren, Minimalwerte können angegeben werden. Der Grad der Versiegelung berücksichtigt auch die Begrünung von unterirdischen Bauwerken, wie Tiefgaragen: Je dicker die Bodenüberdeckung, desto geringer ist der anzurechnende Grad der Versiegelung durch das Bauwerk. So wird die Begrünung von Tiefgaragenanlagen gefördert. Über die Dichtekoeffizienten kann der PAG somit Einfluss nehmen auf die thermische Belastung, der die Bewohner neuer Baugebiete ausgesetzt sein werden, sowie die Menge an Niederschlagswasser, die aus diesem Gebiet abfließen wird.

Die **Überlagerungszonen** (*zones superposées* gemäß Art. 29-38) sind Steuerungsinstrumente des PAG, die die Nutzungsausweisungen präzisieren und verfeinern. Sie dürfen nicht im Widerspruch zu den

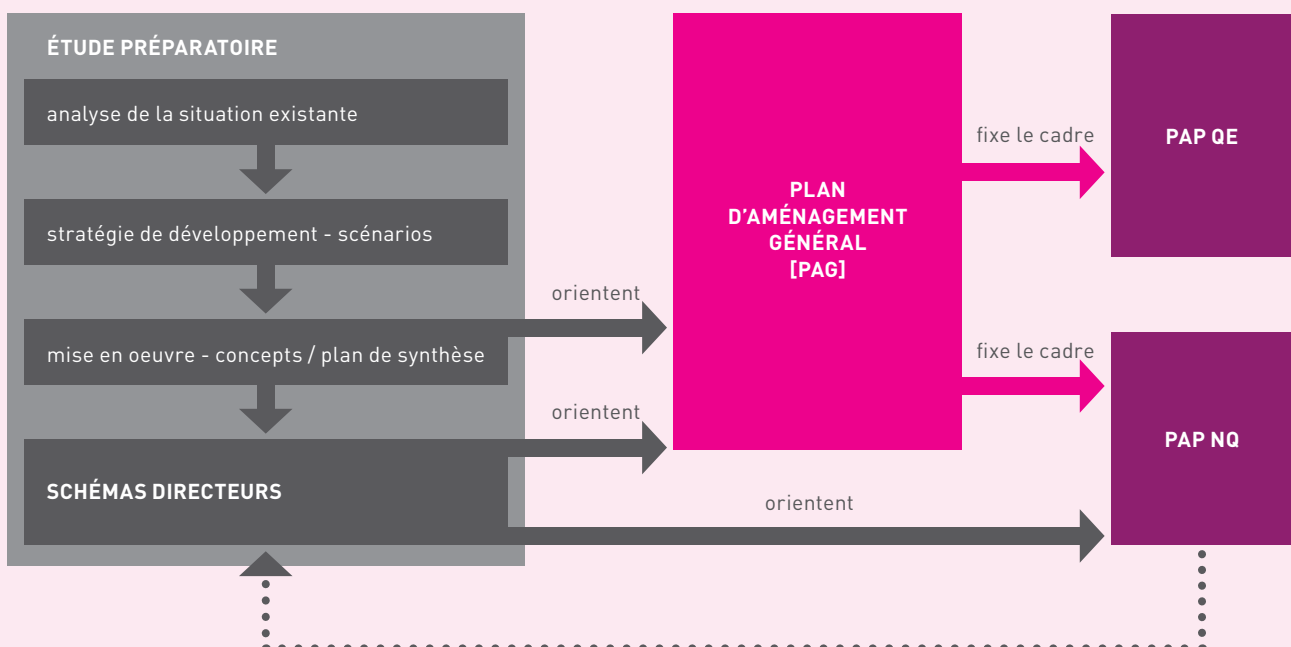
Abb. 7.2 Hierarchie der kommunalen Planungsinstrumente in Luxemburg¹²

Instrumente der kommunalen Planung

- **Étude préparatoire (EP):** Sie bildet die Grundlage und ist Voraussetzung für den PAG. Ein Teil der EP ist das **Schéma Directeur** – ein Plan, der die städtebaulichen Leitlinien für ein Neubaugebiet enthält und die Grundlage bildet für die Nutzungs- und Dichtefestsetzungen des PAG für ein *nouveau quartier*.
- **Plan d'aménagement général (PAG):** Er umfasst das gesamte Gemeindegebiet. Er stellt die beabsichtigte Entwicklung dar und besteht aus einem textlichem und einem grafischen Teil – beide ergänzen sich. Grundsätzlich werden zwei Gebietskategorien unterschieden: (1) *les zones urbanisées ou destinées à être urbanisées** sowie (2) *les zones destinées à rester libres***. Für beide Zonen trifft der PAG Nutzungsfestsetzungen, beispielsweise in Form von Aussagen zu Wohn-, Misch- oder Gewerbegebieten unterschiedlicher Ausgestaltung oder zu Wald- und Landwirtschaftsflächen.
- **Plan d'aménagement particulier (PAP):** Diese müssen für alle baulich genutzten Flächen aufgestellt werden. Sie unterscheiden sich in
 - PAP quartier existant (QE): Plan für bestehende Quartiere
 - PAP *nouveau quartier* (NQ): Plan für neue Quartiere oder bestehende Quartiere, die grundlegend umstrukturiert werden sollen
- **Règlement sur les bâtisses, les voies publiques et les sites (RBVS):** örtliche Bauvorschriften zur technischen Ausführung und Gestaltung von Gebäuden, Wegen und Umfeld im Hinblick auf Haltbarkeit, gesundheitliche Verträglichkeit sowie die Sicherheit und Beständigkeit der Konstruktion

* Die bebauten oder bebaubaren Zonen

** Zonen, die freigehalten werden sollen

Abb. 7.3 Aufbau der Étude préparatoire¹³

Flächennutzungsfestsetzungen stehen:

- In den *zones d'urbanisation prioritaire* (Art. 30) muss innerhalb einer bestimmten Frist (Typ 1 innerhalb von 6 Jahren, Typ 2 innerhalb von 12 Jahren) ein PAP als Vorbereitung für die Realisierung des geplanten Baugebietes aufgestellt werden. Bei Nichteinhaltung dieser Frist wird aus diesen Gebieten eine *zone d'aménagement différé* (Art. 29), d.h. nicht direkt bebaubares Bauerwartungsland. Auf diesem Wege kann eine Priorisierung der Baulandentwicklung erfolgen, so dass beispielsweise die Innenentwicklung gefördert und die Inanspruchnahme neuer Bauflächen auf klimatisch bedeutsamen Flächen am Siedlungsrand zurückgestellt würden.
- Die *zones de servitude urbanisation* (Art. 31) stellen ein sehr flexibles Instrumentarium dar, um beispielsweise in einem Neubaugebiet die Anteile an öffentlichen Grün- und Freiräumen zu bestimmen oder Grünnetzungen zu sichern. Spielplätze, Park- und Grünanlagen, öffentliche Plätze oder andere Freiflächen können hiermit entweder räumlich im Baugebiet verortet oder über eine zusätzliche, beschreibende textliche Festsetzung als Prozentanteil der Baufläche vorgegeben werden. So können Klimakomfortinseln geschaffen und klimatisch bedeutsame Zonen gesichert werden.
- Als *zones de risques naturels prévisibles* (Art. 34) können Gebiete abgegrenzt werden, die beispielsweise ein erhöhtes Risiko für Hangrutschungen aufweisen. Sie umfassen zudem Überschwemmungszonen, die über die durch die wasserwirtschaftlichen Fachplanungen und gesetzlich festgelegten Überschwemmungsgebiete hinausgehen.

Alle sechs Jahre muss überprüft werden, inwieweit der PAG noch aktuell ist oder ob Anpassungsbedarf besteht. Hier bieten sich Möglichkeiten, die PAG den veränderten Rahmenbedingungen anzupassen, neue Aspekte wie den Klimawandel zu integrieren oder detaillierte Plangrundlagen wie Klimamodellierungen oder Betroffenheitsanalysen zum Einsatz zu bringen.

Plan d'aménagement particulier (PAP)

Der PAP präzisiert die Regelungen des PAG für die bebauten Siedlungsbereiche (*quartier existant* = QE) und die neu zu bebauenden Flächen (*nouveau quartier* = NQ). Er besteht aus einem zeichnerischen und einem textlichen Teil sowie einer Begründung. Über den PAP lassen sich gegenüber dem PAG weitere Maßnahmen zur Klimaanpassung umsetzen:

- Die Stellung der Gebäude wird durch die Festlegung von Baugrenzen und die Ausrichtung der Gebäude auf dem Grundstück bestimmt. So können beispielsweise Ventilationsbahnen berücksichtigt oder die Verschattung von Freiräumen gesteuert werden.
- Durch die Festlegung der Fläche, die versiegelt werden darf, sowie der öffentlichen und privaten Grünflächen kann grundsätzlich die Intensität der Begrünung eines Baugebietes geregelt werden.
- Es können Pflanzgebote für Bäume und Hecken ausgesprochen werden. (Verschattung, Windschutz).
- Der PAP kann zur Entwicklung eines harmonischen Orts-/ Stadtbilds Materialien und Oberflächengestaltung vorschreiben und damit beispielsweise durch die Förderung heller Oberflächen Einfluss auf die Albedo nehmen¹⁴
- Auch Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung können textlich und zeichnerisch festgesetzt werden, z.B. Retentionsflächen und Gräben zur offenen Regenwasserableitung

Règlement sur les bâtisses, les voies publiques et les sites (RBVS)

Die RBVS sind ein kommunales Regelwerk, das jede Gemeinde für ihr Gebiet erstellt. Sie treffen vor allem Aussagen zur technischen Ausführung und Gestaltung von Bauwerken im Hinblick auf Haltbarkeit, gesundheitliche Verträglichkeit sowie die Sicherheit und Beständigkeit der Konstruktion. Auch Vorschriften zur Energieeffizienz von Bauwerken und zum Schallschutz können über das *Règlement* erlassen werden. Über Gestaltungsvorschriften könnten im RBVS Aspekte der Klimaanpassung berücksichtigt werden, beispielsweise im Hinblick auf die Farbgebung von Dächern und Fassaden zur Beeinflussung der Albedo oder in Bezug auf die Gestaltung und Begrünung der privaten Freiräume.

7.4 Kooperationsprozesse

Kooperation zwischen Staat und Gemeinden auf interkommunaler Ebene

Um die Dynamik der räumlichen Entwicklung einzelner Stadtregionen in Luxemburg besser steuern zu können, hat die Landesplanung eine Reihe von interkommunalen Kooperationsprozessen auf den Weg gebracht. Grundlagen dieser informellen Kooperationen bilden das *Programme Directeur* sowie das Integrative Verkehrs- und Landesentwicklungskonzept (IVL) und deren Zielsetzung einer dezentralen Konzentration, die vor allem in Aktionsräumen mit einer Schlüsselstellung für die Entwicklung des Landes umgesetzt werden soll. Dazu schließen die betroffenen Gemeinden Konventionen über mehrere Jahre mit dem Land ab. Bisher bestehen solche Konventionen in der Agglomeration im Südwesten der Stadt Luxemburg (DICI*-Raum), in der Nordstad, in den Gemeinden des Alzettetals (Uelzechtdall Konvention) sowie in den Nachbargemeinden des Flughafens Luxemburg.¹⁵

Die Konventionen stellen ein interessantes Instrument im Hinblick auf Anpassungsstrategien an den Klimawandel dar. Vulnerabilitäten gegenüber klimabedingten Negativfolgen werden oft durch Rahmenbedingungen außerhalb der eigenen Gemeindegrenzen bestimmt.

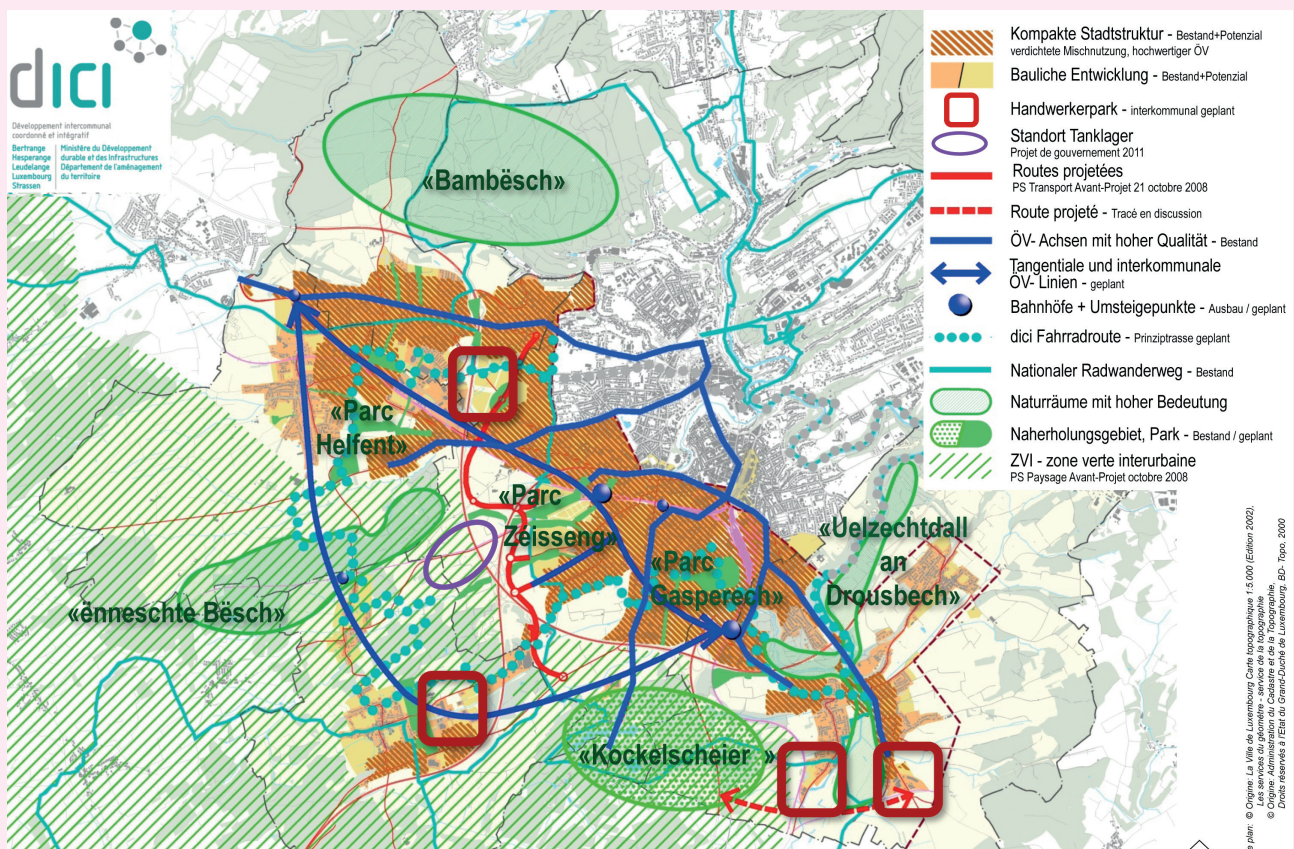
Auch Maßnahmen wirken nicht immer in der Kommune, in der sie realisiert werden. Anpassungsstrategien im Bereich des Hochwasserschutzes oder zur Sicherung klimaaktiver Flächen sind hierfür Beispiele. Hier bieten die Konventionen eine Plattform für eine enge interkommunale Zusammenarbeit und die Koordination gemeinsamer Maßnahmen. Am Beispiel des DICI-Raums Süd-West soll dies verdeutlicht werden.

Beispiel: der DICI-Raum

Im Juni 2005 haben die Gemeinden Bertrange, Hesperange, Leudelange und Strassen sowie Teile der Stadt Luxemburg mit der Landesplanung eine Konvention für die koordinierte und integrative interkommunale Entwicklung im Südwesten der Agglomeration der Stadt Luxemburg abgeschlossen.¹⁶ Ziel der Partnerschaft ist die nachhaltige Entwicklung der urbanen Region, die sich künftig durch eine hohe Lebensqualität, attraktive Naturräume, eine gute wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit sowie einen funktionierenden sozialen Zusammenhalt auszeichnen soll.

* Développement Intercommunal Coordonné et Intégratif (DICI) su Sud-Ouest de l'agglomération de la Ville de Luxembourg

Abb. 7.4 Das Leitbild des PIDP für den DICI-Raum (PIDP 2011)¹⁸



Dazu haben die Partner einen integrierten interkommunalen Entwicklungsplan (*Plan intégré de développement pluricommunal* – PIDP) erstellt (s. Abb. 7.4). Als informelles Planungsinstrument ist der PIDP aus den bestehenden Raumordnungsprogrammen auf Landesebene, dem *Programme Directeur* und dem IVL abgeleitet. In einem gemeinsam erarbeiteten Zielsystem, das sich in die Themenmodule Wirtschaft, bauliche Entwicklung, Mobilität und Landschaft aufgliedert, werden die Grundzüge der angestrebten räumlichen Entwicklung festgehalten. In fünf Leitprojekten sollen einzelne Themen auf sektoraler Basis vertieft werden. Die Umsetzung von Maßnahmen erfolgt mit der Aktualisierung der PAG sowie der Aufstellung von PAP in den Gemeinden.¹⁷

Am Beispiel des DICI-Raums kann eine Verknüpfung zwischen der dynamischen Entwicklung eines urbanen Raums sowie den Aspekten des Klimaschutzes und der Klimaanpassung aufgezeigt werden. Durch seine Lage am Rand der Agglomeration Luxemburg im Übergangsbereich zum ländlichen Raum besitzt der DICI-Raum große Bedeutung für die Entwicklung des lokalen Klimas im Verdichtungsraum: Der Südwesten der Stadt Luxemburg übernimmt aufgrund der Hauptwindrichtung wichtige klimatische Ausgleichsfunktionen für die Innenstadt. Die Freihaltung klimaaktiver Flächen und der Luftleitbahnen zum Erhalt der Funktionalität der Durchlüftungsprozesse ist daher essentiell.

Der PIDP stellt dar, wie sich der Siedlungsraum, die Verkehrsinfrastrukturen und die Freiräume langfristig im DICI-Raum entwickeln können. Dabei sind viele der dargestellten Flächenkontingente durch die bestehenden kommunalen Planungen bereits festgelegt. Durch die Zusammenschau der Planungsinstrumente und Ziele verschiedener Gemeinden können Impulse für eine Nachjustierung aus klimatischer Sicht in den weiteren Planungsphasen gesetzt werden. Dies betrifft im Rahmen der vertieften städtebaulichen Planungen insbesondere eine Sicherung und Optimierung klimaaktiver Grünflächen, die Ausstattung der Gebiete mit Klimakomfortinseln und eine für die Luftleitbahnen günstige Gebäudestellung.

7.5 Strategien und Prozesse: Beispiele aus der C-Change-Partnerschaft

Im Rahmen des Interreg IVB-Projektes C-Change wurden Erfahrungen zu Strategien einer adäquaten Verankerung von Klimaanpassungsmaßnahmen in der räumlichen Planung ausgetauscht. Sie kommen auf unterschiedlichen Ebenen zum Tragen: als informelle Programme wie beispielsweise der *London Plan* oder in formalen Planungsinstrumenten, wie in der *Île-de-France*, beim Regionalverband FrankfurtRheinMain oder im Saarland.

Der London Plan*

Der *London Plan* ist eine räumliche Entwicklungsstrategie des *Mayors* für *Greater London* und beschreibt ökonomische, ökologische, soziale und infrastrukturelle Strategien für die kommenden 20 bis 25 Jahre. Er bietet den Rahmen für nachgeordnete Pläne und Programme auf der Ebene der 33 Stadtbezirke von *Greater London*. Der Klimawandel mit den Aspekten Klimaschutz und Klimaanpassung bildet einen wesentlichen Baustein in der Gesamtstrategie, um die besten Umweltstandards und die höchste Lebensqualität unter den Weltstädten zu erlangen. Auf der Grundlage von Basisdaten zu regionalen Klimaprojektionen weist der Plan die Klimafolgen Überhitzung der Stadt, Überflutung und Trockenheit als Hauptgefahren aus. Die Strategien und Maßnahmenkonzepte basieren konsistent auf den Klimafolgenanalysen und werden mit der Freiraumpolitik sowie anderen sektoralen Handlungsfeldern verknüpft. Der *London Plan* ist daher ein gutes Beispiel, wie politische Rahmensetzung und räumliche Strategieentwicklung auf der regionalen Ebene aufgegriffen und als Anforderung zur konkreten räumlichen Ausgestaltung an die nachfolgenden Planungsebenen der Stadtplanung vermittelt werden kann.¹⁹

Île-de-France: Plan Régional pour le Climat und SDRIF**

Das *Schéma directeur de la région Île-de-France* dient als langfristiger, strategischer Rahmenplan zur Koordinierung von öffentlichem und privatem Handeln in der Region. Es stellt zudem ein Raumnutzungskonzept dar, das die lokalen Masterpläne reguliert. Obwohl Klimaschutzziele, darunter die Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen bis 2030 auf 75% im Vergleich zum Referenzjahr 2005, im Vordergrund stehen, spielen auch Strategien zur Anpassung an den Klimawandel eine wichtige Rolle.

Im Rahmen der regionalen Planung in Frankreich ist mit der Einführung der Umweltgesetzgebung *Le Grenelle Environnement* die Erstellung von regionalen Klimaplänen zur Pflicht geworden. Die Region *Île-de-France* hat als Grundlage für ihren Klimaplan in einem *Livre vert* die Datengrundlagen zusammengetragen und Szenarien zu den Folgen und Auswirkungen des Klimawandels in der Region entwickelt. Diese bildeten die Grundlage für einen Aktionsplan, der nach einer Abstimmungs- und Partizipationsphase im *Plan Régional pour le Climat* in seiner endgültigen Fassung verabschiedet wurde. Dieser zeigt in einem umfassenden Aktionsprogramm Strategien und Maßnahmen zur Klimaanpassung und zum Klimaschutz in den unterschiedlichen Planungssektoren und betroffenen Bereichen auf.²⁰

* www.london.gov.uk/priorities/planning/londonplan

** www.cchangeproject.org/jsp/uploaded_files/documents/ROOT/RegionalClimatePlan.pdf

FrankfurtRheinMain: Regionaler Flächennutzungsplan*

Der Regionalverband FrankfurtRheinMain hat bei der Aufstellung des Regionalplans Süd Hessen bzw. im Regionalen Flächennutzungsplan 2010 die künftigen Herausforderungen des Klimawandels und der Klimaanpassung explizit berücksichtigt. Im mittlerweile rechtskräftigen Regionalen Flächennutzungsplan wurden Kalt- und Frischluftentstehungsgebiete sowie die Kalt- und Frischluftabflussschneisen (s. Abb. 7.5), die im räumlichen Zusammenhang mit belasteten Siedlungsbereichen stehen und wichtige Aufgaben für den Klima- und Immissionsschutz erfüllen, als „Vorbehaltsgebiete** für besondere Klimafunktionen“ ausgewiesen (s. Abb. 7.6): „Diese Gebiete sollen von Bebauung und anderen Maßnahmen, die die Produktion bzw. den Transport frischer und kühler Luft behindern können, freigehalten werden. Planungen und Maßnahmen, die die Durchlüftung von klimatisch bzw. lufthygienisch belasteten Ortslagen verschlechtern können, sollen in diesen Gebieten vermieden werden.“²¹

* www.region-frankfurt.de/Region/Planung/Energie-Umwelt/Energie

** Vorbehaltsgebiete sind für die nachfolgenden Planungsebenen rechtlich verbindlich und müssen beachtet werden.

Abb. 7.5 Klimafunktionskarte 2010²²

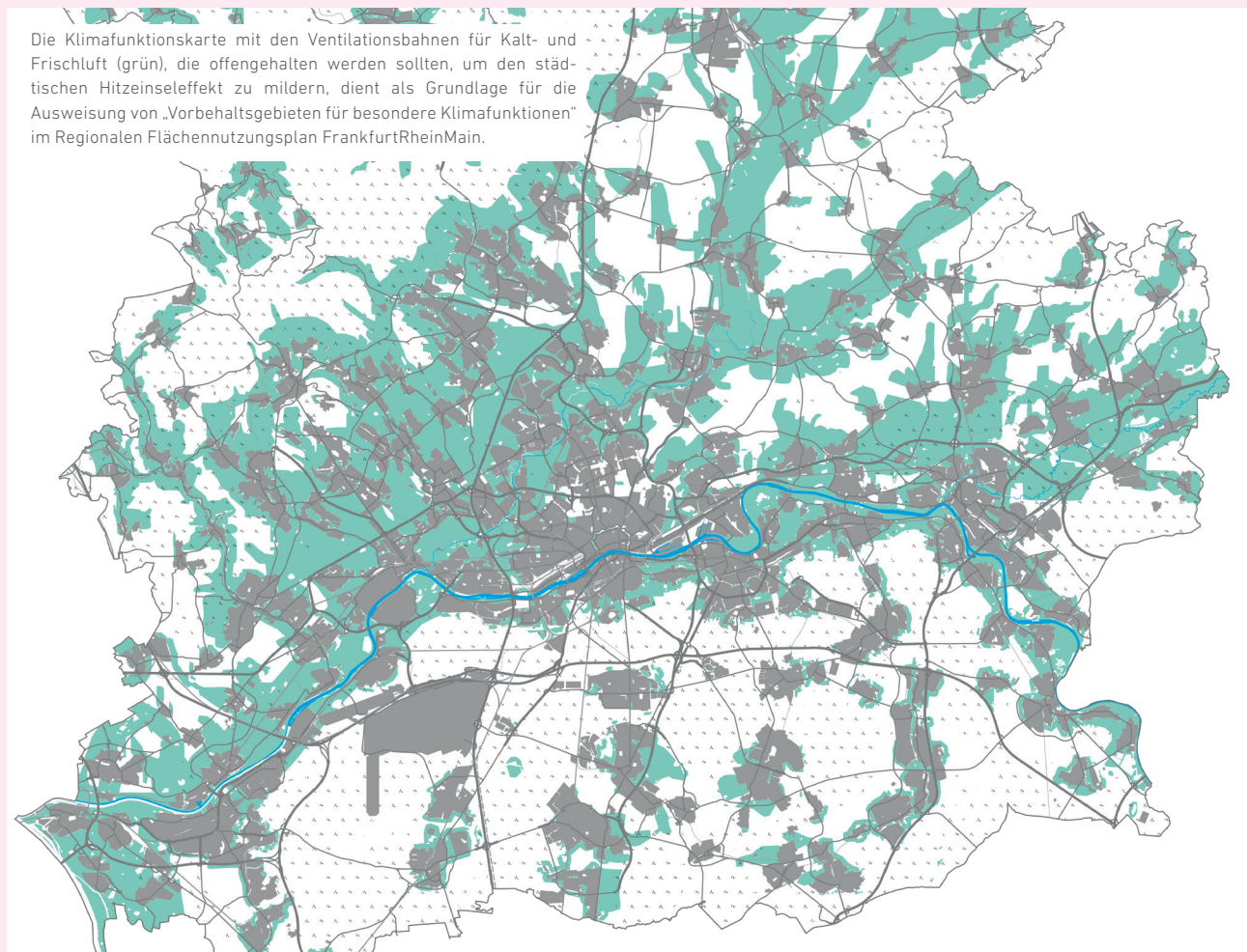
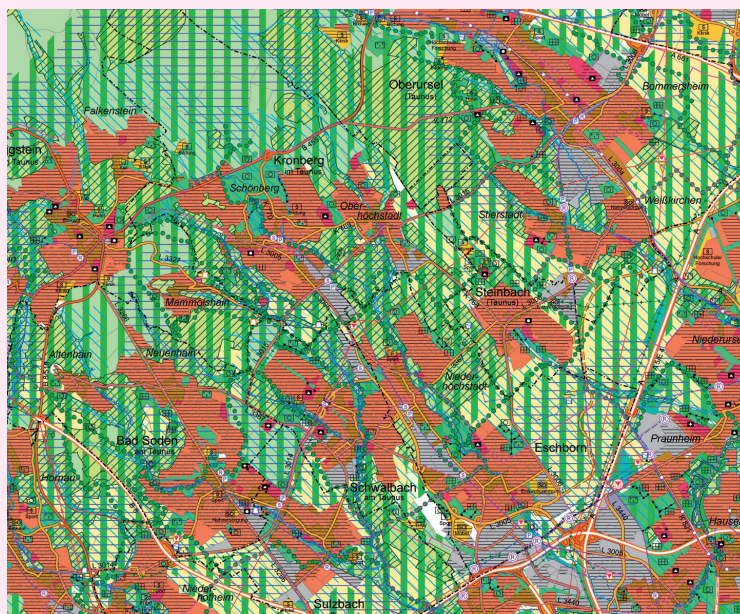


Abb. 7.6 Umsetzung der Klimafunktionskarte in den Regionalen Flächennutzungsplan²³

Vorbehaltsgebiet für
besondere Klimafunktionen

Saarland: Konzeptionelle Vorschläge für die Landesplanung zur Klimaanpassung und zum Klimaschutz

Die saarländische Landesplanung beabsichtigt, bei der Neuaufstellung des Landesentwicklungsplans die Aspekte Klimaschutz und Klimaanpassung stärker zu berücksichtigen. Als Ziel steht die Schaffung resilienter Raumstrukturen im Vordergrund, die auch unter veränderten Klimabedingungen eine nachhaltige Raumentwicklung gewährleisten. Dazu wird der Landesentwicklungsplan einem „Klimacheck“ unterzogen, der die Umweltprüfung um die Prüfung der Klimaangepasstheit des Raumordnungsplans ergänzt. Diese basiert zunächst auf einer Vulnerabilitätsanalyse. Hierzu wurde eine umfassende Auswertung vorliegender regionaler Klimamodelle durchgeführt, die Aussagen zu den spezifischen Auswirkungen des Klimawandels im Saarland ermöglicht. Danach erfolgte eine Analyse der Anfälligkeit der Raumnutzungen und Raumstrukturen gegenüber dem Klimawandel im Hinblick auf die Landesplanung. Daraus wurden Anforderungen an die Landesentwicklung abgeleitet und konzeptionelle Vorschläge für die Landesplanung erarbeitet, die in die Neuaufstellung des Landesentwicklungsplans einfließen können. Derzeit wird an der Weiterentwicklung der Instrumente gearbeitet: Ein Schwerpunkt liegt auf der Integration von Gebieten mit besonderen klimatischen Ausgleichsfunktionen in regionale Grünzüge und Grünzäsuren.²⁴

¹ Loi du 21 mai 1999 concernant l'aménagement du territoire, Art. 3.2

² MIR 2005, MIAT 2003

³ 2000/60/EG

⁴ 2007/60/EG

⁵ Loi du 19 décembre 2008 relative à l'eau

⁶ Website IKSMS – FLOW MS

⁷ Weidenhaupt 2011a

⁸ Art. 39 RGD PAG, Art. 38 Loi du 19 décembre 2008 relative à l'eau

⁹ Weidenhaupt 2009

¹⁰ MIAT 2010

¹¹ RGD PAG

¹² MIAT 2011b: 8

¹³ MIAT 2011b: 22

¹⁴ Art. 3 (5) RGD PAP

¹⁵ Website dat.public – développement régional

¹⁶ Website DICI

¹⁷ PIDP 2011

¹⁸ PIDP 2011

¹⁹ Website London Plan

²⁰ Conseil Régional d'Île-de-France 2011

²¹ Regionalversammlung Südhessen/ Regionalverband FrankfurtRheinMain 2011: 66

²² Klimafunktionskarte 2010 © Regionalverband FrankfurtRheinMain 2011
Datengrundlage: Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe 2004, Universität Kassel; Klima-Labor, Lutz Katzschner, Klaus Horn; Produktionsdatum: 13.07.2004

²³ Regionalplan/ Regionaler Flächennutzungsplan 2010
FrankfurtRheinMain © Regionalverband FrankfurtRheinMain 2011

²⁴ Chlench 2012

8. DAS C-CHANGE- PROJEKT

Die Broschüre ist der luxemburgische Projektbeitrag zu C-Change. Dies ist ein transnationales Kooperationsprojekt, das sich mit dem Klimawandel im Kontext der Regional- und Stadtentwicklung auseinandersetzt: C-Change steht dabei für *Climate Change* – Klimawandel.

C-Change wird im Rahmen des europäischen Interreg IV B-Programms für Nordwesteuropa NWE* gefördert. Im Projekt arbeiten neun Partner zusammen und führen in ihren Regionen Projekte durch, die einen Beitrag zur Bearbeitung der Themenschwerpunkte des C-Change-Projektes auf transnationaler Ebene liefern:

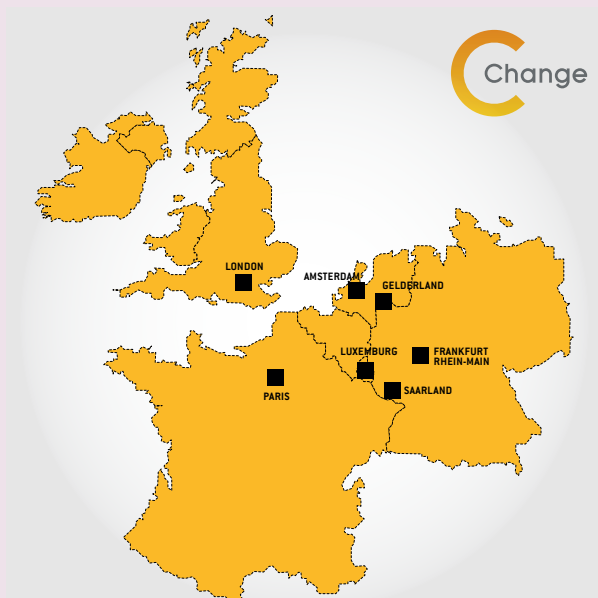
1. Bewusstseinswandel und aktive Beteiligung von Akteuren und Bevölkerung
2. Innovative Lösungen zum Klimawandel in Stadtlandschaften
3. Strategien zum Klimawandel in der räumlichen Planung

C-Change klingt im Englischen ähnlich wie *sea-change*, was im übertragenen Sinne Bewusstseinswandel bedeutet. Dies ist auch eine der zentralen Fragestellungen des Projektes: Wie kann ein Wandel von Einstellungen

und Verhaltensweisen sowie des konkreten Handelns der Menschen angesichts der wachsenden Herausforderungen durch den Klimawandel erreicht werden? Die im Rahmen von C-Change erarbeiteten Strategien und Projekte sollen dazu beitragen, dass Klimawandel als eine bedeutsame Herausforderung erkannt und gemeinsam Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung auf den Weg gebracht werden. Viele der Projekte wenden sich ganz konkret an die Bevölkerung, um das Bewusstsein für die Folgen des Klimawandels zu wecken und dazu anzuregen, selbst aktiv zu werden.

* NWE – Interreg IVB North-West Europe ist eine von der EU finanzierte transnationale Kooperation zur Förderung einer integrierten territorialen Entwicklung. Beteiligt sind die Mitgliedsstaaten: Großbritannien, Irland, Belgien, Luxemburg, Teile von Frankreich, Deutschland, Niederlande sowie die Schweiz.

Projektpartner des Interreg IVB-Projektes „C-Change – Changing Climate, Changing Lives“¹



Transnationale Projektpartner

Groundwork London (GB), Projektleitung

The Greater London Authority (GB)

Forestry Commission (GB)

Ministerium für Inneres und Sport (D)

Regionalverband FrankfurtRheinMain (D)

Ministère du Développement durable et des Infrastructures, Département de l'aménagement du territoire (LU)

Dienst Ruimtelijke Ordening Amsterdam (NL)

Provincie Gelderland (NL)

Région Île-de-France (F)

Laufzeit:

März 2009 bis Dezember 2012

Fördervolumen:

Gesamtvolumen aller Regionen:
7.191.615 EUR
davon werden 50%
über EFRE kofinanziert

Die Aktivitäten und Projekte der Partner bildeten die Grundlage für den Austausch von Erfahrungen und das gemeinsame Arbeiten auf transnationaler Ebene. In transnationalen Expertengruppen (*Expert Joint Planning Groups*, EJPG) trafen sich Fachleute aus den Regionen regelmäßig und diskutierten die zentralen C-Change-Themen. Sie werteten die regionalen Projekte als Fallstudien aus und erarbeiteten Empfehlungen für den C-Change-Abschlussbericht. Darüber hinaus beurteilten externe Experten in einem sogenannten *Peer Review* die regionalen Projekte im Hinblick auf ihren jeweiligen Beitrag zum Gesamtprojekt und ihren „transnationalen Mehrwert“ für C-Change; immerhin ist damit die Kofinanzierung durch das europäische Interreg-Programm verbunden.²

Das C-Change-Projekt der Landesplanung in Luxemburg setzte sich mit dem Thema Klimawandel im Rahmen der Raumentwicklung in Luxemburg auseinander. Im Mittelpunkt stand die Frage, wie insbesondere Adaptionsstrategien in das luxemburgische Planungssystem integriert werden können. Ziel war es,

- eine Übersicht über die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf Luxemburg zu geben
- Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel insbesondere auf kommunaler Ebene zusammenzustellen sowie
- Handlungsoptionen für das luxemburgische Planungssystem zur Bewältigung des Klimawandels aufzuzeigen.

Die Inhalte und Ergebnisse des luxemburgischen C-Change-Projektes wurden in einem intensiven Governance-Prozess erarbeitet. In Experteninterviews wurde der heutige Wissenstand im Hinblick auf den Klimawandel und seine Auswirkungen in Luxemburg ausgelotet und der Frage nachgegangen, welche Maßnahmen und Strategien zur Anpassung in den einzelnen Sektoren verfolgt werden.

Mehrere Workshoprunden dienten einerseits dem Austausch mit relevanten Fachressorts auf Landesebene und bezogen andererseits die interkommunale Ebene mit ein. Dabei wurde gemeinsam über die Aspekte des Klimawandels, mögliche Auswirkungen und die Betroffenheit Luxemburgs sowie potenzielle Strategien diskutiert. Mehrere Workshops mit Vertretern des DICI-Prozesses im Südwesten der Agglomeration Luxemburg-Stadt behandelten die Aspekte des Klimawandels und die Umsetzung von Adaptionsmaßnahmen auf (inter-)kommunaler Ebene am Beispiel des DICI-Raums. Über die Workshop-Arbeit konnte ein enger Bezug zum spezifischen System der räumlichen und fachlichen Planung in Luxemburg hergestellt werden.

Interviewpartner waren: Dr. Laurent Pfister, Dr. Klaus Görgen, Jürgen Junk, Centre de Recherche Public – Gabriel Lippmann (CRP-GL); George Sales, Service météorologique de l'aéroport; Dr. André Weidenhaupt, Robert Kipgen, Administration de la Gestion de l'Eau; Léon Wietor, Administration des Services Techniques de l'Agriculture (ASTA); Claude Schuman, Ministère de l'Intérieur et à la Grande Région.

An den Workshops waren die folgenden Institutionen beteiligt: Ministère du Développement durable et des Infrastructures (Département de l'Aménagement du territoire, Département des Transports), Administration des Ponts & Chaussées, Ministère du Logement, DICI-Comité technique, DICI-Planungsbüros (Zeyen + Baumann; Dewey&Muller; Van Driessche), Cellule nationale d'information pour la politique urbaine (CIPU), MyEnergy, National Contact Point Interreg IVB.

¹ agl 2011: 5

² agl 2011

³ Bilder: agl

Projektpartner des Interreg IVB-Projektes „C-Change – Changing Climate, Changing Lives“³



In Workshops wurden die Grundlagen für das luxemburgische C-Change-Projekt erarbeitet



9. QUELLEN, LITERATUR, LINKS

Quellen:

agl (2012): Freiraumplanung als Handlungsfeld für Adaptionsmaßnahmen. Bearbeitung im Auftrag der Landeshauptstadt Saarbrücken, gefördert durch BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) und BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) im BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung) im Rahmen des ExWoSt-Forschungsfelds „Urbane Strategien zum Klimawandel“, in Bearbeitung

agl (2011): Klimawandel und Raumentwicklung im Saarland: Das transnationale Projekt C-Change. Zwischenbericht zum transnationalen Interreg IVB-Projekt „C-Change – Changing climate. Changing lives“ im Saarland. Bearbeitung im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Energie und Verkehr des Saarlandes, Landesplanung. Abruf am 25.03.2012 unter: www.saarland.de/60835.htm

BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg., 2010): Klimawandel als Handlungsfeld der Raumordnung: Ergebnisse der Vorstudie zu den Modellvorhaben „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“. Forschungen Heft 144. Abruf am 07.03.2011 unter: <http://d-nb.info/1008221090/34>

BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg., 2009): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Wirkfolgen des Klimawandels. BBSR-Online-Publikation, Nr. 23/2009. Abruf am 02.03.2011 unter: www.bbsr.bund.de/nn_821256/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL__ON232009,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/DL_ON232009.pdf

BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg., 2007): Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel. Dokumentation der Fachtagung am 30. Oktober 2007 im Umweltforum Berlin. Abruf am 02.03.2011 unter: www.bbsr.bund.de/cln_016/nn_21272/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/Sonderveroeffentlichungen/2007/DL__KlimatagungDokumentation,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/DL__KlimatagungDokumentation.pdf

Bongardt, Benjamin (2006): Stadtklimatische Bedeutung kleiner Parkanlagen – am Beispiel des Dortmunder Westparks. Essener Ökologische Schriften 24

Chlench, Andrea (2012): Vortrag „Anpassung an den Klimawandel – Beitrag der saarländischen Landesplanung“ auf dem 5. Regionalpark-Forum am 28.03.2012 in Saarbrücken

Conseil Régional d'Île-de-France (2011): Plan Régional pour le Climat d'Île-de-France. Abruf am 15.03.2012 unter: www.cchangeproject.org/jsp/uploaded_files/documents/ROOT/RegionalClimatePlan.pdf

De Urbanisten (2010): Water squares. Rotterdam. Abruf am 10.04.2012 unter: www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=waterpleinen

Deutsche Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel; vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. Abruf am 28.06.2012 unter: www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php

Deutsche IPCC Koordinierungsstelle (Hrsg., 2008): Klimaänderung 2007. Synthesebericht. Ein Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Abruf am 03.04.2012 unter: www.de-ipcc.de/_media/IPCC-SynRepComplete_final.pdf

Edward, N.G.; Chen, Liang; Wang, Yingna.; Yuan, Chao (2012): A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. In: Building and Environment 47 (2012). Elsevier: 256-271

EPA – United States Environmental Protection Agency (2008): Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies (chapter 2: Trees and Vegetation, chapter 3: Green Roofs). Abruf am 02.02.2012 unter: www.epa.gov/heatisland/resources/compendium.htm

Europäische Kommission (2009): Weissbuch – Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen; KOM/2009/0147 endgültig. Brüssel

Ewringmann, Dieter (2011): Entwurf: 2. Nationaler Aktionsplan Klimaschutz, Stand 25.09.2011

Frommer, Birte (2009): Handlungs- und Steuerungsfähigkeit von Städten und Regionen im Klimawandel. In: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung; ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg., 2009): Raumforschung und Raumordnung 2/2009, Heft 2, 67. Jahrgang. Köln: Carl Heymanns Verlag: 128–141

GEO-NET Umweltkonsulting GmbH (2011): Gutachten zur gesamtstädtischen Analyse des Stadtklimas und der Lufthygiene, Erarbeitung flächendeckender Informationen als Basis für nachhaltige Verbesserungen der Lebensqualität in Saarbrücken, Landeshauptstadt Saarbrücken, in Bearbeitung

Goldberg, Valeri; Bernhofer, Christian (2007): Auswirkungen geänderter Oberflächenversiegelung auf die städtische Energiebilanz am Beispiel der Stadt Dresden – Fallstudien mit dem atmosphärischen Grenzschichtmodell HIRVAC. DACH Meteorologentagung 10-14.09.2007; Tagungsband. Langfassungen und unveröffentlichtes Material (zur Verfügung gestellt von Valeri Goldberg)

Görgen, Klaus; Junk, Jürgen; Beersma, Jules; Pfister, Laurent; Hoffmann, Lucien (2011): Future temperature and precipitation changes and their potential impact on vegetation: An analysis of ENSEMBLES climate projections for Luxembourg; under preparation, data unpublished

Hallegatte, Stéphane (2008): Strategies to adapt to an uncertain climate change 2008. In: Global Environmental Change (2009). Volume 19, number 2, may 2009. Elsevier Ltd: 240–247

Hartz, Andrea (2011): Auswirkungen des Klimawandels. In: Henninger, Sascha (Hrsg., 2011): Stadttökologie. Paderborn: Schöningh: 175-212

HHP – Hage+Hoppenstedt Partner; JRU – Jacoby Raum- und Umweltplanung (2011): Konzeptionelle Vorschläge für die Landesplanung zur Klimaanpassung und zum Klimaschutz, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Energie und Verkehr des Saarlandes im Rahmen des Interreg IV B Projektes C-Change – Changing Climate, Changing Lives. Entwurf, Februar 2011

HHP – Hage+Hoppenstedt Partner; Prof. Dr. Christian Jacoby (2009): Strategische Umweltprüfung (SUP) zur Aufstellung der Plans Sectoriels „Transport“, „Logement“, „Paysage“ und „Zones d'activités économiques“ – Karte Umweltzustand – Klima und Luft, Klimatope. Im Auftrag von Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg. Entwurf, Juni 2009

Hiederer, Roland; Laval, Carlo (2009): Geographic position of Europe for end-of-century temperature equivalent JRC Special Publication JRC50603 Original data source: Danish Climate Centre, Danish Meteorological Institute. Simulation within the framework of the EU-Project PRUDENCE

Holst, Jutta; Mayer, Helmut (2011): Impacts of street design parameters on human-biometeorological variables. In: Meteorologische Zeitschrift 20: 541-552

Huttner, Sebastian; Bruse, Michael; Dostal, Paul (2008): Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities, 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology. In: Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Nr. 18: 307-312

IKHR – Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (2010): Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project. Bearbeitung durch Görgen, K.; Beersma, J.; Brahmer, G.; Buiteveld, H.; Carambia, M.; de Keizer, O.; Krahe, P.; Nilson, E.; Lammersen, R.; Perrin, C.; Volken, D. (2010). Lelystad: CHR report: 1-23

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Solomon, S., Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L.; Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle. Bern/Wien/Berlin

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Klimaänderung 2001: Synthesebericht. Abruf am 07.03.2011 unter: www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutch/2001-synthese.pdf

Jaeger, Carlo C.; Jaeger, Julia (2010): Warum zwei Grad? In: Aus Politik und Zeitgeschichte, 32-33/2010, Bonn: 7-14. Abruf am 07.03.2011 unter: www.european-climate-forum.net/fileadmin/ecf-documents/publications/articles-and-papers/jaeger_jaeger__warum-zwei-grad.pdf

Junk, Jürgen; Eickermann, Michael; Görgen, Klaus; Beyer, Marco; Hoffmann, Laurent (2012): Ensemble-based analysis of regional climate change effects on the cabbage stem weevil (*Ceutorhynchus pallidactylus* (Mrsh.)) in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). In: The Journal of Agricultural Science, 105: 191-202

Koppe, Christina (2009): Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes. In: BfS – Bundesamt für Strahlenschutz; BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung; RKI – Robert-Koch-Institut; UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2009): UMID – UmweltMedizinischer InformationsDienst: Klimawandel und Gesundheit, Heft Nr.3/2009: 39–43

Kuttler, Wilhelm (2011): Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. Environmental Sciences Europe 2011. Abruf am 01.02.2012 unter: www.enveurope.com/content/23/1/21

Kuttler, Wilhelm (2006): Stadtklima. In: Möller, Detlev (Hrsg., 2006): Klimawandel – vom Menschen verursacht? 8. Symposium Mensch – Umwelt. Acta Academica Scientiarum 10, Erfurt (2005). Akademie gemeinnütziger Wissenschaften: 49-109

Landeshauptstadt Saarbrücken (1996): Klimafunktionsplan der Landeshauptstadt Saarbrücken, Amt für Energie und Umwelt

Matzarakis, Andreas (2001): Die thermische Komponente des Stadtklimas. Berichte des Meteorologischen Instituts Freiburg, Nr. 6

MDDI – Ministère du Développement durable et des Infrastructures (o.J.): Ein ganzheitlicher Ansatz: PNDD und Partenariat. Abruf am 23.01.2012 unter: www.developpement-durable-infrastructures.public.lu/fr/developpement-durable-infrastructures/20100406PartenariatPNDD.pdf

MDDI – Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2011a): Paquet Climat 6. Mai 2011, Synthesedokument der groupe de pilotage vom 29.04.2011. Abruf am 23.01.2012 unter: www.developpement-durable-infrastructures.public.lu/fr/developpement-durable-infrastructures/partenariat/Paquet_Climat_integral.pdf

MDDI – Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2011b): Paquet Climat. Präsentation zur Pressekonferenz am 12 Mai 2012 mit Monsieur le Ministre Claude Wiseler und Monsieur le Ministre délégué Marco Schank. Abruf am 23.01.2012 unter: www.developpement-durable-infrastructures.public.lu/fr/developpement-durable-infrastructures/partenariat/Paquet_Climat.pdf

MENV – Ministère de l'Environnement (2006): Changement climatique. Agir pour un défi majeur ! – 1^{er} Plan d'action en vue de la réduction des émissions de CO₂ (1. Nationaler Aktionsplan Klimaschutz). Luxemburg. Abruf am 28.01.2012 unter: www.environnement.public.lu/air_bruit/dossiers/CC-plan_action_CO2/plan_action_co2.pdf

MIAT – Ministère de l'Intérieur et à la Grande Région – Direction de l'aménagement communal et du développement urbain (2011a): Urbanisme et plans d'aménagement communal : notions fondamentales et aspects pratiques. Luxemburg: Dewey Muller

MIAT – Ministère de l'Intérieur et à la Grande Région – Direction de l'aménagement communal et du développement urbain (2011b): Élaboration des PAG. Unterrichtsmaterialien für eine Weiterbildungsveranstaltung in Zusammenarbeit mit der INAP, Oktober-Dezember 2011. Luxemburg

MIAT – Ministère de l'Intérieur et à la Grande Région (2010): Leitfaden zum Umgang mit Regenwasser in Siedlungsgebieten Luxemburgs: Versickerung – Verdunstung – Retention – Nutzung – getrennte Ableitung – Behandlung. Luxemburg: Administration de la Gestion de l'Eau

MIAT – Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire (Hrsg., 2005): Hochwasserfibel – Vorsorge in hochwassergefährdeten Gebieten. Bearbeitung: Hydrotec Ing.-Gesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen. Luxemburg: Administration de la Gestion de l'Eau

MIAT – Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire (2004): Les acteurs étatiques de l'aménagement du territoire. Planification, Coordination. Präsentation zum Gesetz vom 19. Juli 2004 über kommunale Planung und städtebauliche Entwicklung. Bearbeitung durch DEWEY MULLER. Luxemburg

MIAT – Ministère de l'Intérieur, Direction de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme (2003): Programme directeur de l'aménagement du territoire. Luxemburg

MIR – Ministerium für Inneres und Raumplanung – Direktion Raumplanung (2005): Eine nachhaltige Raumentwicklung für Luxemburg. Die wesentlichen Leitideen aus dem „Programme directeur“. Luxemburg

Munich Re (2012): Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, GeoRisikoForschung, NatCatSERVICE, Stand Januar 2012

Munich Re (2007): Pressemitteilung vom 27. Dezember 2007. Abruf am 29.03.2012 unter: www.munichre.com/de/media_relations/press_releases/2007/2007_12_27_press_release.aspx

MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2010a): Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Düsseldorf; Kurzfassung. Abruf am 15.04.2012 unter: www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/staedte_und_ballungsraeume/projektseite_01/index.php

MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2010b): Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Auftragnehmer: Regionalverband Ruhr; Langfassung. Abruf am 15.04.2012 unter: www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/staedte_und_ballungsraeume/projektseite_01/index.php

MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg., 2009): Anpassung an den Klimawandel. Eine Strategie für Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf

Nachbarschaftsverband Karlsruhe, Planungsstelle (2011): Vortrag „Innenentwicklung versus Klimakomfort im Nachbarschaftsverband Karlsruhe“ auf dem 2. Querschnittsworkshop in Regensburg am 18. Mai 2011 zum Modellvorhaben im Rahmen des Forschungsprogramms „Experimenteller Wohnungs- und Städtebau“ (ExWoSt). Datengrundlagen: KIT – Karlsruher Institut für Technologie

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (Hrsg., 2011): Stadtentwicklungsplan Klima. Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern. Berlin

Siekmann, Marko (2010): Ergebnisse der wasserwirtschaftlichen Analyse (Kapitel 5.5). In: Abschlussbericht des Verbundvorhabens „Wassersensible Stadtentwicklung – Maßnahmen für eine nachhaltige Anpassung der regionalen Siedlungswasserwirtschaft an Klimatrends und Extremwetter“, im Förderschwerpunkt klimazwei des BMBF. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Ruhr Universität Bochum, Universität Duisburg Essen: 203-239

Pfister, Laurent; Wagner, Christian; Vansuypeene, Eric; Drogue, Gilles; Hoffmann, Lucien (2005): Atlas Climatique du Grand-Duché de Luxembourg. Herausgegeben vom Musée national d'histoire naturelle, der Société des naturalistes luxembourgeois, dem Centre de Recherche Public – Gabriel Lippmann und der Administration des services techniques de l'agriculture. Luxembourg

PIDP – Plan intégré de développement pluricommunal (2011): Beschlussdokument Comité politique dici, 7. Juli 2011, Stand 29.06.2011. Bearbeitung durch die Prozesskoordination: Auftragnehmer: FIRU mbH; PAG-Büros: Dewey Müller, Isabelle Van Driessche, Zeyen+Baumann. Stellvertretend für die Auftraggeber: VDL Laurent Schwaller und MDDI Myriam Bentz

Regionalverband FrankfurtRheinMain (2011): Regionalplan Südhessen/Regionaler Flächennutzungsplan 2010. Bekannt gemacht vom Regierungspräsidium Darmstadt am 17. Oktober 2011 (Staatsanzeiger 42/2011). Abruf am 05.04.2012 unter: www.region-frankfurt.de/Region/Planung/Regionaler-Flaechennutzungsplan

Regionalverband Mittlerer Oberrhein (Hrsg., 2010): Klimaanalyse Region Mittlerer Oberrhein 2010, Ermittlung natürlicher klimatischer Ausgleichsfunktionen. Kartengrundlage Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de)

Stöhr, Simone; ZKE (2011): Vortrag „Maßnahmen am Kanalnetz für Wirkfolgen auf Infrastruktur bei Trockenheit“ im Rahmen des ExWoSt-Projektes der Landeshauptstadt Saarbrücken „Freiraumplanung als Handlungsfeld für Adaptionsmaßnahmen“

The Future Cities project partnership (2010): The Future Cities Adaptation Compass. Verantwortlich: Anke Althoff, Lippeverband Essen, Dr. Birgit Haupter, Maria Knissel, Infrastruktur & Umwelt, Darmstadt. Lippeverband Essen

UBA – Umweltbundesamt (2009): Konzeption des Umweltbundesamtes zur Klimapolitik – Notwendige Weichenstellungen 2009. Climate Change 14/2009. Abruf am 07.03.2011 unter: www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3762.pdf

UBA – Umweltbundesamt (2008): Deutschland im Klimawandel. Anpassung ist notwendig. 4. Auflage. Abruf am 07.03.2011 unter: www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3468.pdf

Van der Linden, Paul; Mitchell, John F.B. (Hrsg., 2009): ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of Research and Results from the ENSEMBLES Project. Exeter: Met Office Had-ley Centre

VDI 3787, Bl.2 – Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss KRdL (Hrsg., 2008-11): Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima (VDI-Richtlinie: VDI 3787 Blatt 2). Düsseldorf. Abruf am 01.02.2012 unter: www.vdi.de/401.0.html?&no_cache=1&tx_vdirili_pi2%5BshowUID%5D=92831

VDI 3787, Bl.5 – Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss KRdL (Hrsg., 2003-12): Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft (VDI-Richtlinie: VDI 3787 Blatt 5). Düsseldorf. Abruf am 01.02.2012 unter: www.vdi.de/401.0.html?&no_cache=1&tx_vdirili_pi2%5BshowUID%5D=90982

Weidenhaupt, André (2011a): Vortrag „Grenzüberschreitende Hochwasserpartnerschaften | Partenariats transfrontaliers concernant les crues“ im Rahmen der Veranstaltung „Landschaftsnetz Mosel“ am 22.09.2011 in Trier

Weidenhaupt, André (2011b): Interview im Rahmen des C-Change-Projektes im Dezember 2011

Weidenhaupt, André (2009): Klimawandel und Wasserwirtschaft. Abruf am 31.01.2011 unter: www.forum.lu/pdf/artikel/6693_291_Weidenhaupt.pdf

ZinCo GmbH (2011): Abbildung Photovoltaikanlage auf begrüntem Dach. Abruf am 10.04.2012 unter: www.pressebox.de/pressemeldungen/zinco-gmbh/boxid/413805

Websites

Website Administration du cadastre et de la topographie. Abruf am 03.02.2012 unter: www.geoportal.lu

Website Berkeley Lab (Lawrence Berkeley National Laboratory). Abruf am 02.02.2012 unter: <http://heatisland.lbl.gov>

Website dat.public – développement regional. Abruf am 23.01.2012 unter: www.dat.public.lu/developpement_regional_poles_urbains/developpement_regional_importantes_agglo_urbaines/index.html

Website DICI. Abruf am 23.01.2012 unter: www.dici.lu/de/DICI+_.html

Website ESPON. Abruf am 28.03.2012 unter: www.espon.eu/main/Menu_Publications/Menu_MapsOfTheMonth/map1201.html

Website IKSMS – FLOW MS (Internationale Kommissionen zum Schutze der Mosel und der Saar). Abruf am 09.09.2011 unter: www.iksms-cipms.org/servlet/is/60264/

Website IPCC – glossary (Intergovernmental Panel on Climate Change). Abruf am 04.02.2012 unter: www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-en.pdf

Website IPCC – organization (Intergovernmental Panel on Climate Change). Abruf am 04.02.2012 unter: www.ipcc.ch/organization/organization.shtml

Website London Plan. Abruf am 11.04.2012 unter: www.london.gov.uk/thelondonplan/climate/ bzw. www.london.gov.uk/priorities/planning/londonplan

Website NCDC – indicators (National Climatic Data Center). Abruf am 04.02.2012 unter: www.ncdc.noaa.gov/indicators/

Website Règlement sur les bâtisses Stadt Luxemburg. Abruf am 25.01.2012 unter: www.vdl.lu/index.php?id=64796&site=vd&lang=fr

Website Spiegel online. Abruf am 03.02.2012 unter: www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,473614,00.html

Website Stadtklimatse – Glossar. Abruf am 08.03.2012 unter: www.stadtklimatse.net/glossar/#8

Website Wetter – Luxemburg. Abruf am 28.01.2012 unter: www.wetter-eu.de/Luxemburg-Wetter.html

Gesetze

Loi du 21 mai 1999 concernant l'aménagement du territoire (telle qu'elle a été modifiée)

Loi du 19 juillet 2004 concernant l'aménagement communal et le développement urbain (telle qu'elle a été modifiée)

Loi du 28 juillet 2011 portant modification de la loi modifiée du 19 juillet 2004 concernant l'aménagement communal et le développement urbain

Loi du 19 décembre 2008 relative à l'eau

RGD PAG: Règlement grand-ducal du 28 juillet 2011 concernant le contenu du plan d'aménagement général d'une commune

RGD PAP: Règlement grand-ducal du 28 juillet 2011 concernant le contenu du plan d'aménagement particulier «quartier existant» et du plan d'aménagement particulier «nouveau quartier» portant exécution du plan d'aménagement général d'une commune

Règlement grand-ducal du 28 juillet 2011 concernant le contenu de l'étude préparatoire d'un plan d'aménagement général d'une commune

Règlement grand-ducal du 28 juillet 2011 concernant le contenu du rapport de présentation du plan d'aménagement général d'une commune

Règlement grand-ducal du 28 juillet 2011 concernant le contenu du rapport justificatif et du plan directeur du plan d'aménagement particulier «nouveau quartier»

Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Abruf am 03.02.2012 unter: http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=de&type_doc=Directive&an_doc=2007&nu_doc=60

Pläne und Programme

Programme directeur de l'aménagement du territoire (2003). Ministère de l'Intérieur, Direction de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme. Luxemburg

Plan directeur sectoriel „Logement“ (Avant projet, 2009). Ministère des Classes Moyennes, du Tourisme et du Logement; Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire. Abruf am 25.01.2012 unter: www.dat.public.lu/publications/documents/avant_projet_plan_sectoriel_logement/av_proj_ps_logement.pdf

Plan directeur sectoriel „Paysage“ (Avant projet, 2008). Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire, Ministère de l'Environnement. Abruf am 25.01.2012 unter: www.dat.public.lu/publications/documents/avant_projet_plan_sectoriel_paysage/av_proj_psp_br.pdf

Plan directeur sectoriel „Transports“ (Avant-projet, 2008). Ministère des Transports; Ministère des Travaux Publics; Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du territoire; Ministère de l'Environnement. Abruf am 25.01.2012 unter: www.dat.public.lu/publications/documents/avant_projet_plan_sectoriel_transports/av_proj_pst_br.pdf

MIAT – Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire (2004): Ein integriertes Verkehrs- und Landesentwicklungskonzept für Luxemburg. Abruf am 02.02.2012 unter: www.ivl.public.lu

Links

zum Themenfeld „Klimaanpassung in der räumlichen Planung“

www.cchangeproject.org
www.sic-adapt.eu
www.future-cities.eu/
www.ipcc.ch
http://ec.europa.eu/environment/climat/adaptation/index_en.htm
www.circle-era.eu
www.klimabuendnis.org
www.espace-project.org
www.climatology.lu/
www.anpassung.net/
www.stadtklimatse.net
www.klimatse.anpassung.net
www.klima-und-raum.org

Glossare

zum Themenfeld Klimawandel

www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_glossary.shtml
www.klima-und-raum.org/glossary
www.stadtklimatse.net/glossar/#8



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère du Développement durable
et des Infrastructures

Département de l'Aménagement du territoire