

Klimawandel im Grossraum Zürich

Studienreihe «Wirtschaft und Gesellschaft» der Zürcher Kantonalbank

Was können wir tun?



Impressum

Herausgeberin: Zürcher Kantonalbank, Postfach 8010 Zürich **Erarbeitet durch:** econcept AG, Gerechtigkeitsgasse 20, CH-8002 Zürich, www.econcept.ch / + 41 44 286 75 75 **Autorinnen/ Autoren:** Michèle Bättig, Dr.sc. ETH, Umweltnaturwissenschaftlerin, Barbara Wegmann, MA/MSc of Sustainable Development, Stefan von Grünigen, MA UZH in Wirtschaftswissenschaften, Ökonom, Noemi Rom, MSc ETH, Management, Technologie und Ökonomie, Daniel Montanari, MA UZH in Wirtschaftswissenschaften **Redaktion und Produktion:** Adrian Lüscher, Othmar Köchle, Zürcher Kantonalbank **Gestaltung:** JoosWolfangel, Winterthur **Bildkonzept:** Andrea Reinhart, Zürich **Fotos:** Oliver Nanzig, Zürich **Druck:** DAZ Druckerei Albisrieden, Zürich **Auflage:** 4'000 Exemplare **Karten:** Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA130343)

Die vorliegende Veröffentlichung ist ein gekürzter Publikumsbericht. Die ungekürzte wissenschaftliche Abhandlung ist bei econcept als PDF zu beziehen: www.econcept.ch/fileadmin/files/dl/klimawandel_zuerich_wissGrundlagen.pdf

Copyright © Zürcher Kantonalbank 2013

Inhalt

Vorwort	2
Zusammenfassung	3
1 Einleitung	8
2 Klimawandel – was erwartet den Grossraum Zürich?	14
2.1 Bisherige Beobachtungen in der Schweiz	14
2.2 Klimaszenario für den Grossraum Zürich	15
3 Klimawandel – wie empfindlich ist der Grossraum Zürich?	22
3.1 Bevölkerung	24
3.2 Wirtschaftsstandort	25
3.3 Versiegelte Flächen und Infrastrukturanlagen	25
3.4 Stadtklima	26
4 Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf	32
4.1 Die relevanten Auswirkungen des Klimawandels auf Freiraum, Gebäude und Gesundheit	32
4.2 Geografische Lokalisierung der Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf	36
4.3 Synthese	41
5 Ermittlung und Beurteilung von Anpassungsmassnahmen für den Grossraum Zürich	44
5.1 Freihaltung bestehender Freiräume	46
5.2 Gesetzliche Vorgaben und Ausbildung im Baubereich	48
5.3 Warndienst, Notfallplanung, Information und Sensibilisierung bei Hitzewellen	52
5.4 Umbau und Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern	54
6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	60
6.1 Schlussfolgerungen	60
6.2 Empfehlungen	64
Anhang	66
A-1 Gemeinden im Projektperimeter	66
Glossar	67
Literatur	70

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser

Als globales Schreckgespenst verfolgt uns das Thema Klimawandel seit den späten 1980er-Jahren, als James Hansen als einer der ersten die Öffentlichkeit vor den Folgen der vom Menschen verursachten globalen Klimaerwärmung warnte. Damit hängen seit 25 Jahren die globale Erwärmung der Erdatmosphäre und der damit zu erwartende Klimawandel als Damoklesschwert über dem Schicksal der Erdbevölkerung.

Elektroautos, Energiewende, Minergiehäuser: Mit verschiedenen Ansätzen versucht die Menschheit seither die Verbrennung von fossilen Brennstoffen zu reduzieren – mit bis heute bescheidenem Erfolg. Dass die Aufgabe immer dringender wird, ist kaum bestritten. Konzepte und Ideen sind da, Studien liegen vor, der Umsetzung mangelt es indessen immer noch an Durchschlagskraft. Die globale Erwärmung ist Realität.

Es lohnt sich also – neben allen Anstrengungen, den Ausstoss von Treibhausgasen zu bremsen –, sich Gedanken darüber zu machen, wie uns der Klimawandel treffen wird und wie wir seine Folgen abfedern können. Was sollen wir tun in unserem Wirtschaftsraum angesichts des Klimawandels? Diese Frage stellte die Zürcher Kantonalbank den Expertinnen und Experten bei econcept und gab im Rahmen ihrer Studienreihe «Wirtschaft und Gesellschaft» eine Studie in Auftrag, die konkret aufzeigen soll, mit welchen klimatisch bedingten Veränderungen wir rechnen müssen und welche die dringendsten und effektivsten Massnahmen sind, um uns so gut wie möglich anzupassen.

Nur eine Gesellschaft und Wirtschaft, die auf ein verändertes Umfeld dynamisch reagiert, ist auch auf lange Frist überlebensfähig. Der Zürcher Kantonalbank liegt das Wohl einer ökologisch und sozial intakten Region am Herzen.

Wir hoffen, mit der vorliegenden Studie einen kleinen Beitrag zur erfolgreichen Meisterung der Zukunft zu leisten.

Für das Präsidium der Zürcher Kantonalbank

János Blum

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersucht, wie der Klimawandel den Grossraum Zürich treffen wird, wie empfindlich der Grossraum Zürich darauf reagieren wird und wo zukünftig der grösste Handlungsbedarf in den Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit bestehen wird. Basierend darauf werden Anpassungsmassnahmen für ausgewählte Auswirkungen ermittelt und einzelne davon detailliert diskutiert und beurteilt. Die Studie kommt zum Schluss, dass die Nachhaltigkeit der Massnahmen in den Dimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft in vielen Fällen positiv beurteilt werden kann.

Das Klima im Grossraum Zürich wird wärmer

Basierend auf aktuellen Klimamodellen (Szenario A1B, CH2011 2011) wird im Grossraum Zürich die jahreszeitliche Mitteltemperatur bis ins Jahr 2060 zunehmen. Die Niederschläge werden im Sommer in der Tendenz abnehmen, während für Intensivniederschläge eine tendenzielle Zunahme im Sommer, Herbst und Winter erwartet wird.

Betreffend Hochwasser wird eine Verlängerung der Hochwasserzeit und ihre Verschiebung ins Winterhalbjahr erwartet, grosse Hochwasserereignisse dürften häufiger vorkommen. Erdrutsche und Hangmuren werden bis ins Jahr 2060 tendenziell zunehmen. Im Sommer steigt das Risiko von Trockenperioden und Dürren. Auch Frequenz, Intensität und Dauer von Hitzewellen werden zunehmen. Bei den Kältewellen wird hingegen eine abnehmende Frequenz und Dauer erwartet.

Der Grossraum Zürich reagiert empfindlich

Wie stark die Auswirkungen des Klimawandels im Grossraum Zürich spürbar sind, hängt auch von seiner Sensitivität ab. Die Sensitivität beschreibt die heutige Empfindlichkeit einer Region gegenüber dem Klimawandel. Die Bevölkerung, der Wirtschaftsstandort, die versiegelten Flächen, die Infrastrukturanlagen sowie das Stadtklima sind Faktoren, die den Grossraum Zürich gegenüber dem Klimawandel heute schon empfindlich machen. Inwiefern sich die Sensitivität in Zukunft verändern wird, ist zu einem grossen Teil abhängig von der sozioökonomischen Entwicklung.

Es besteht Handlungsbedarf

Der grösste Handlungsbedarf im Grossraum Zürich in den Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit besteht aufgrund folgender Gefahren und Effekte: Hochwasser, Trockenperioden, Hitzewellen und zunehmende Durchschnittstemperatur.

Gefahren und Effekte, die Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf verursachen

	Freiraum	Gebäude	Gesundheit
Zunahme von Hochwasserereignissen und Verschiebung der Hochwassersaison ins Winterhalbjahr	●	●	
Zunehmendes Risiko von Trockenperioden und Dürren im Sommer	●		
Zunahme von Hitzewellen in ihrer Frequenz, Intensität und Dauer im Sommer	●	●	●
Zunehmende Durchschnittstemperatur in allen Jahreszeiten	●		●

Tabelle 1: Die Punkte zeigen, welche Gefahren und Effekte im Grossraum Zürich Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf in den drei Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit verursachen.

Diese Gefahren und Effekte können unterschiedliche Auswirkungen auf die betroffenen Bereiche haben. Da das Spektrum an Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf relativ breit ist, wird für die Ermittlung von Anpassungsmassnahmen auf ausgewählte Auswirkungen pro Bereich fokussiert: Im Bereich Freiraum werden die zunehmende Nutzung von grünen und blauen Freiräumen aufgrund der Zunahme von Hitzewellen betrachtet sowie die veränderten Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere als Auswirkung zunehmender Durchschnittstemperatur. Im Gebäudebereich wird auf die durch Hitzewellen erhöhten Raumtemperaturen und den dadurch verursachten Kühlbedarf fokussiert. Und im Bereich Gesundheit werden die direkten gesundheitlichen Auswirkungen von Hitzewellen auf den Menschen im Detail betrachtet.

Ermittlung und Beurteilung von Anpassungsmassnahmen

Für die oben beschriebenen ausgewählten Auswirkungen wurde eine Vielzahl von Anpassungsmassnahmen ermittelt und durch Expertinnen und Experten beurteilt. Folgende Auswahl zeigt beispielhaft, wie sich der Grossraum Zürich an die Folgen des Klimawandels anpassen kann:

- Für die zunehmende Nutzung von grünen und blauen Freiräumen als Auswirkung von Hitzewellen sind es:
- *Freihaltung bestehender Freiräume, d.h. bestehende Wasser-, Wald-, Grün- und Parkflächen von Bebauung frei halten.*
 - Klimagerechte Gestaltung der Grünflächen, beispielsweise keine Begrenzung durch dichte Randbepflanzungen oder Mauern, Grünflächen höher legen als Umgebung, Einbau von Wasserelementen.
 - Durchgrünung von grauen Freiräumen und Gebäuden verbessern, beispielsweise durch Pflanzung von Strassenbäumen, Innenhofbepflanzungen, Dach- und Fassadenbegrünungen.

- Um den aufgrund von Hitzewellen erhöhten Raumtemperaturen in Gebäuden entgegenzuwirken, wurden folgende Anpassungsmassnahmen priorisiert:
- *Bessere Ausbildung von Baufachleuten in Bezug auf klimaangepasstes Bauen.*
 - *Gesetzliche Vorgaben und Regelungen zu klimaangepasstem Bauen.*
 - Passive Massnahmen am Gebäude, beispielsweise Art, Grösse und Ausrichtung der Fenster anpassen, Sonnenschutz, Dämmung, Fassaden- und Dachbegrünung.

- Um den direkten gesundheitlichen Folgen von Hitzewellen entgegenzuwirken, wurden folgende Anpassungsmassnahmen als besonders relevant beurteilt:
- *Etablierung eines Warndienstes bei Hitzewellen, z.B. SMS-Alarm für Risikogruppen, Warndienste über Smartphone-Apps und Radioansagen.*
 - *Erarbeiten von Notfallplänen für Abläufe und Massnahmen während Hitzewellen.*
 - *Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen, beispielsweise durch breit angelegte Informationskampagnen oder gezielte Sensibilisierung von besonders gefährdeten Personengruppen.*

Um den aufgrund wärmer werdender Temperaturen veränderten Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere im grünen Freiraum zu begegnen, wurden folgende Anpassungsmassnahmen priorisiert:

- *Umbau und Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern.*
- Standortverbesserung Strassenbäume: Einbau eines optimierten struktur- und verdichtungsstabilen Baumsubstrats.
- Stärkung der Widerstandsfähigkeit der Freiräume, beispielsweise durch den Erhalt wertvoller Lebensräume oder die Schaffung von Wanderungskorridoren für Wildtiere und Pflanzen.

Ausgewählte Anpassungsmassnahmen (*kursiv markiert*) werden vertieft analysiert und im Hinblick auf ihre Nachhaltigkeit beurteilt. Die Beurteilung erfolgt mittels einer eigens entwickelten Multikriterienanalyse in den Dimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft. Dabei zeigt sich, dass etliche der vorgeschlagenen Massnahmen, wie z.B. die Ausbildung von Baufachleuten oder ein Warndienst bei Hitzewellen, in allen Dimensionen positiv beurteilt werden. Bei einigen Anpassungsmassnahmen, wie z.B. der Freihaltung bestehender Freiräume oder gesetzlichen Vorgaben im Baubereich, ist insbesondere die volkswirtschaftliche Dimension zum jetzigen Zeitpunkt neutral bis kritisch zu beurteilen. Diese erste Beurteilung ist mit Unsicherheit behaftet, da die konkrete Ausgestaltung der Massnahmen noch nicht definiert ist. Bei der Konkretisierung ist daher vor allem auf die volkswirtschaftlichen Auswirkungen zu achten. Diese sind gegebenenfalls später erneut zu beurteilen.

Schlussfolgerungen für den Grossraum Zürich

Die vorgenommenen Untersuchungen ergeben die folgenden Schlussfolgerungen für den Grossraum Zürich:

Anpassung an den Klimawandel ist möglich. Für ausgewählte Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf wurden Massnahmen hergeleitet, wie sich der Grossraum Zürich an den Klimawandel anpassen kann. Dabei wurden zahlreiche Anpassungsmassnahmen beschrieben, die von verschiedenen Akteuren umgesetzt werden können. Die Massnahmen bilden eine Grundlage für die nächsten Schritte in Richtung Anpassung an den Klimawandel. Die Zusammenstellung zeigt, dass Anpassung an den Klimawandel im Grossraum Zürich möglich ist.

Anpassungsmassnahmen werden überwiegend positiv beurteilt. Von den ermittelten Anpassungsmassnahmen wurde die oben erwähnte Auswahl einer ersten Nachhaltigkeitsbeurteilung unterzogen. Die Beurteilung der ausgewählten Anpassungsmassnahmen zeigt, dass diese aus gesellschaftlicher, ökologischer und häufig auch aus volkswirtschaftlicher Perspektive positiv zu beurteilen sind. Da insbesondere die komplexeren Massnahmen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht im Detail ausgearbeitet sind, muss die vorliegende Beurteilung im Einzelfall aktualisiert und gegebenenfalls vertieft werden, sobald eine Konkretisierung der Massnahme vorliegt.

Die volkswirtschaftlichen Nutzen können in vielen Fällen die Kosten aufwiegen. Die positive erste Beurteilung gilt in vielen Fällen auch für die Beurteilungsdimension Volkswirtschaft: Dies deutet darauf hin, dass die volkswirtschaftlichen Kosten der Massnahmen in vielen Fällen durch die ebenfalls volkswirtschaftlich relevanten Nutzen mindestens aufgewogen werden.

Anpassungsmassnahmen können zu Konflikten, aber auch zu Synergien mit anderen Zielsetzungen führen. Die Umsetzung von Anpassungsmassnahmen findet in einem politischen und gesellschaftlichen Umfeld mit unterschiedlichen Zielsetzungen statt. Dabei kann es zu Zielkonflikten zwischen den Zielen der Anpassung und anderen Zielen kommen. Ein mögliches Beispiel aus dem Grossraum Zürich ist der Zielkonflikt zwischen der Anpassungsmassnahme «Erhalt bestehender Freiräume im Siedlungsraum» und dem raumplanerischen Ziel «Verdichtung». Es können sich aber auch Synergien ergeben, wie beispielsweise im Bereich Gesundheit, dessen übergeordnetes Ziel es ist, die Rahmenbedingungen im Sinne von «Gesundheit für alle» zu erhalten bzw. weiter zu optimieren, auch unter verändertem Klima.

Der Klimawandel und die Anpassung an den Klimawandel werden zur Normalität. Der Klimawandel und die damit verbundene Temperaturzunahme und Niederschlagsänderung sind schleichende, langfristige Prozesse. Durch die erwarteten Veränderungen der mittleren Temperatur und der Niederschläge werden aber auch die Häufigkeit und die Intensität von Extremereignissen beeinflusst. Insgesamt werden Effekte und Gefahren zunehmen. Entsprechend den schleichenden, langfristigen Effekten werden viele Anpassungen an den Klimawandel ebenfalls schleichend und langfristig passieren. Mit der erwarteten Zunahme von Gefahren werden immer mehr auch bewusst geplante Anpassungen notwendig werden. Die Gesellschaft wird mit allen diesen Veränderungen umgehen müssen.

Empfehlungen

Wir empfehlen den vom Klimawandel betroffenen Akteuren aus dem Grossraum Zürich folgende Punkte:

Einfache und unproblematische Massnahmen sofort umsetzen. Einfache, unproblematische und auch kostengünstige Massnahmen können und sollen sofort umgesetzt werden. In diese Kategorie gehören zum Beispiel Massnahmen aus dem Bereich Gesundheit wie die *Etablierung eines Warndienstes bei Hitzewellen*, z.B. über einen SMS-Alarm für Risikogruppen, über eine Smartphone-App oder Radioansagen, oder die Massnahme *Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen*, beispielsweise durch breit angelegte Informationskampagnen oder gezielte Sensibilisierung von besonders gefährdeten Personengruppen.

Mit der Planung und Umsetzung von langfristigen Massnahmen jetzt beginnen. Massnahmen, die viele Akteure umfassen, kostenintensiv sind und/oder in Bereichen mit langfristiger Planungs- und Lebensdauer liegen (z.B. Raumplanung, Gebäude, Umbau von Wäldern etc.), können nicht kurzfristig umgesetzt werden. Wir empfehlen hier langfristige proaktive Überlegungen und Konzepte und eine umfassende Bewertung von Anpassungsmassnahmen, um sich keine möglichen Optionen zu verbauen und um allfällige Zielkonflikte und Synergien zu erkennen und berücksichtigen zu können. In die Kategorie dieser Massnahmen fallen beispielsweise die *Freihaltung bestehender Freiräume* sowie der *Umbau und die Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern*.

Anpassung an den Klimawandel standardmässig in Projekte, Prozesse und Massnahmen integrieren. Bei Projekten und Prozessen in Bereichen, wo durch den Klimawandel Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf erwartet werden, empfehlen wir, schon ab der Planungsphase standardmässig geeignete Anpassungsmassnahmen zu evaluieren und im Sinne des Vorsorgeprinzips gegebenenfalls zu integrieren. Auch bei Massnahmen, die primär einer anderen Zielsetzung als der Klimaanpassung dienen, aber auch in deren Sinne zielführend sind, soll der Aspekt der Klimaanpassung verstärkt bzw. hinreichend integriert werden.

Zu diesem Zweck werden in einem ersten Schritt Grundlagen zu den relevanten Auswirkungen und möglichen Anpassungsmassnahmen benötigt. Im vorliegenden Bericht sind die relevanten Auswirkungen für die Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit beschrieben. In einem zweiten Schritt soll bei der Konzeptionierung und Umsetzung der Projekte, Prozesse und Massnahmen der Klimawandel mitgedacht und entsprechend berücksichtigt werden. Vorschläge für Anpassungsmassnahmen für ausgewählte Auswirkungen finden sich im vorliegenden Bericht. Für eine umfassende Sammlung möglicher Anpassungsmassnahmen wäre es hilfreich, Leitfäden und/oder Checklisten pro Bereich zu erstellen, ähnlich wie zum Beispiel das bestehende Handbuch für den Gebäudebereich «Bauen, wenn das Klima wärmer wird» (BFE 2007).

Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen den Akteuren zur Erarbeitung und Umsetzung von Anpassungsmassnahmen. Damit die betroffenen Personengruppen und Entscheidungsträger/innen im Grossraum Zürich handeln können, müssen die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels mit grossem Handlungsbedarf und die möglichen Anpassungsmassnahmen bekannt sein. Der vorliegende Bericht und die zugehörigen wissenschaftlichen Ausführungen (econcept 2013) liefern diese Grundlagen für die drei betrachteten Bereiche. Wir empfehlen, betroffene Personengruppen und Entscheidungsträger/innen bereichsspezifisch gezielt zu informieren und einen Erfahrungsaustausch zwischen den Akteuren zu ermöglichen.

Verminderung des Klimawandels bleibt trotzdem prioritäres Ziel – auch im Grossraum Zürich. Obwohl eine Anpassung an den Klimawandel in den untersuchten Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit im Grossraum Zürich möglich ist und die Anpassungsmassnahmen überwiegend positiv beurteilt werden, sind Anstrengungen zur Verminderung des Klimawandels weiterhin notwendig. Anpassungsmassnahmen können die Auswirkungen durch den Klimawandel abschwächen und das Leben mit dem Klimawandel erträglicher machen, doch gehen sie dem Problem des Klimawandels nicht auf den Grund. Die Verminderung von Treibhausgasemissionen dient der direkten Bekämpfung dieser Auswirkungen mit dem Ziel, die Erderwärmung zu reduzieren. Aus diesem Grund muss an erster Stelle die Verminderung der Treibhausgasemissionen stehen. Dies auch im Sinne des nachhaltigen Handelns, das zum Ziel hat, dass zukünftige Generationen dieselben Voraussetzungen und Möglichkeiten haben, wie wir sie heute vorfinden. Der heutigen Generation empfehlen wir deshalb, dazu beizutragen, dass die globale Treibhausgaskonzentration nicht ungebremst zunimmt.

1 Einleitung

¹ 2010 haben sich die 194 Mitgliedstaaten des UNFCCC (Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen) zum 2°-Ziel bekannt. Das 2°-Ziel basiert auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und wird oft auch mit der Zielformulierung im UNFCCC, «eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems zu verhindern», gleichgesetzt. Es hat dadurch grosse politische Bedeutung erlangt.

Der Klimawandel ist sowohl global (IPCC 2013) als auch in der Schweiz (CH2011 2011, OcCC 2012) feststellbar. Dies zeigt sich unter anderem durch den mittleren jährlichen Temperaturanstieg. Aufgrund weiterhin steigender Treibhausgasemissionen weltweit wird es immer schwieriger, das Ziel der internationalen Klimapolitik zu erreichen (z.B. IEA 2011). Dieses sieht vor, die globale Erwärmung auf weniger als 2° C¹ gegenüber dem Niveau vor Beginn der Industrialisierung zu begrenzen. Es muss mit grosser Wahrscheinlichkeit mit einer höheren künftigen Erderwärmung und weiteren klimatischen Veränderungen gerechnet werden.

Auf urbane Räume wirkt sich der Klimawandel wegen der hohen Siedlungsdichten, der hohen Wirtschaftsleistungen, der Konzentration von komplexen Infrastrukturanlagen und des hohen Anteils an versiegelten Flächen in besonderem Masse aus. Steigende Temperaturen – besonders im Sommer – lassen eine Zunahme von Wärmeinseln in Städten und eine Verringerung der Luftfeuchtigkeit erwarten. Damit sind negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Stadtbewohner/innen und die Wirtschaftsleistung der Unternehmen zu befürchten. Intensivniederschläge in Städten und Siedlungen dürften aufgrund ihres hohen Schadenpotenzials steigende Kosten verursachen.

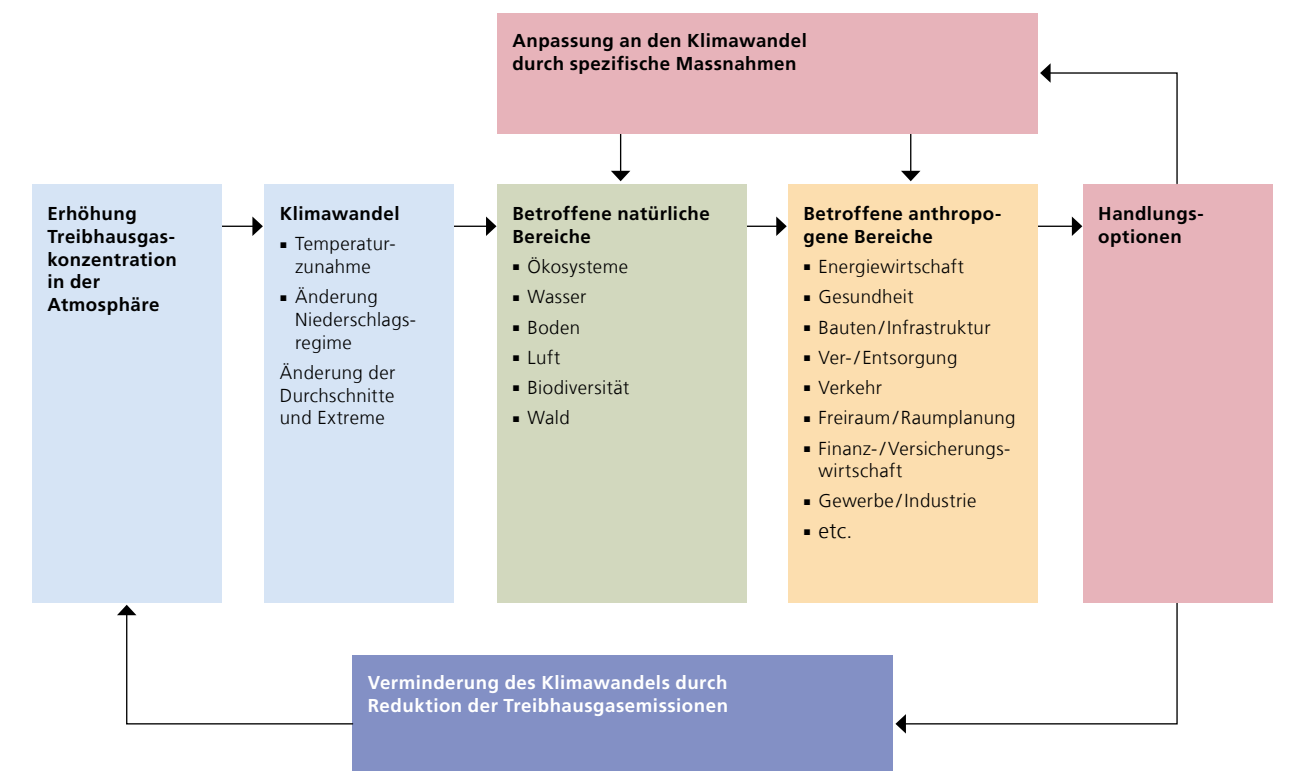
Um auf solche Herausforderungen zu reagieren, gibt es zwei relevante Handlungsoptionen:

- 1 *Klimaschutz*: Durch eine Verminderung der Treibhausgasemissionen kann das Ausmass des zukünftigen Klimawandels verringert werden.
- 2 *Anpassung an den Klimawandel*: Mittels geeigneter Massnahmen können sich Mensch und Natur an den bereits eingetretenen und künftig erwarteten Klimawandel anpassen.

Das Wirkungsschema auf der gegenüberliegenden Seite zeigt den Zusammenhang zwischen Klimawandel, Auswirkungen auf natürliche und anthropogene Bereiche sowie den beiden Handlungsoptionen.

In der Schweiz und auf internationaler Ebene laufen seit rund zwanzig Jahren Bemühungen zur Verminderung der Treibhausgasemissionen. Die bisher ergriffenen Massnahmen auf globaler Ebene reichen jedoch nicht aus, um den Klimawandel zu stoppen bzw. relevant zu verlangsamen. Die letzten UN-Klimakonferenzen in Durban (Dezember 2011) und in Doha (Dezember 2012) zeigten, dass seitens massgeblicher Staaten zurzeit die Bereitschaft zu verbindlichen Reduktionszielen bezüglich der Treibhausgase fehlt.

Wirkungsschema «Klimawandel, Auswirkungen und Handlungsoptionen»



BAFU/econcept

Umso mehr kommt den Anpassungsmassnahmen ein hoher Stellenwert zu. Sie können regional und national beschlossen und kurz- bis mittelfristig umgesetzt werden. Zudem können ihre Wirkungen direkt regionalen und nationalen Nutzen schaffen: Anpassungsmassnahmen mindern klimabedingte Risiken für die Bevölkerung, sei es in natürlichen oder sogenannten anthropogenen Systemen, und sichern zugleich bereits getätigte Investitionen.

Während für den Alpenraum bereits einige Studien bezüglich der Anpassung an den Klimawandel existieren (z.B. OECD 2007, BMU 2008, econcept 2011), sind bis anhin erst vereinzelte Studien verfügbar, die die Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Anpassungsmassnahmen für einen urbanen Raum analysieren (z.B. Kanton Basel-Stadt 2011, EBP 2011). Zwar kann davon ausgegangen werden, dass das Mittelland absolut gesehen etwas weniger stark vom Klimawandel betroffen sein wird als die Alpen mit ihren sensitiven Ökosystemen und der speziellen Topografie. Doch sind Städte aufgrund der hohen Bebauungsdichte, ihrer Funktion als Wirtschaftszentren und der Konzentration von komplexen Infrastrukturanlagen besonders empfindlich gegenüber der zunehmenden Klimaerwärmung und den zu erwartenden Folgen. Auch leben und arbeiten die meisten Menschen der Schweiz in Städten und urbanen Räumen und werden in ihrem Alltag vom Klimawandel betroffen sein.

Figur 1: Wirkungsschema Klimawandel, Auswirkungen auf das Klima in Stadt- und Siedlungsgebieten sowie mögliche Handlungsoptionen.

Zum heutigen Zeitpunkt besteht eine Wissenslücke zu den künftigen Auswirkungen des Klimawandels und darüber, wie die Gesellschaft im urbanen Raum darauf reagieren kann. Diese Tatsache bildet den Ausgangspunkt für die vorliegende Studie.

Die Projektidee kann wie folgt zusammengefasst werden:

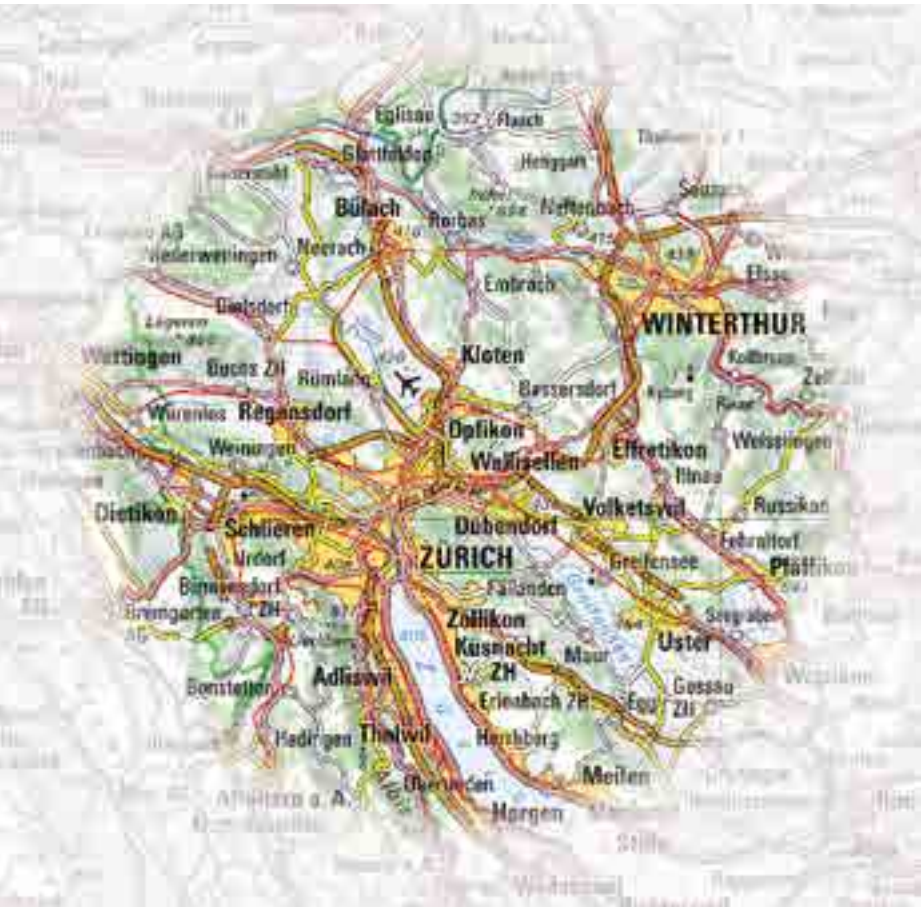
Im Rahmen der Studie werden die Auswirkungen des Klimawandels auf den urbanen Grossraum Zürich (Figur 2) analysiert. Dabei liegt der Fokus auf den drei Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit. Für Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf werden Anpassungsmassnahmen aufgezeigt und betreffend ihrer Nachhaltigkeit für Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft evaluiert.

Untersuchungsperimeter und analysierte Bereiche

Das Untersuchungsgebiet «Grossraum Zürich» entspricht dem urbanen Raum im Gebiet Uster – Winterthur – Bülach – Dietikon/Schlieren – Thalwil mit der Stadt Zürich im Zentrum (Details siehe Anhang A-1). Folgende Grafik gibt einen Überblick über den Untersuchungsperimeter:

Grossraum Zürich

Figur 2: Der Grossraum Zürich wird in der vorliegenden Studie wie folgt definiert: Uster – Winterthur – Bülach – Dietikon/Schlieren – Thalwil mit der Stadt Zürich im Zentrum.



Quelle: Zürcher Kantonalbank, Swisstopo

Inhaltlich fokussiert die Studie auf die Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit. Diese drei Bereiche wurden für den urbanen Grossraum Zürich in Zusammenhang mit dem Klimawandel als besonders relevant eingestuft. Folgende Abschnitte definieren die drei Bereiche gemäss ihrer Verwendung in der vorliegenden Studie.

Freiraum

Freiräume sind Flächen, die nicht durch Gebäude bebaut sind. Sie umfassen sowohl Gärten, Strassen, Plätze, Parkanlagen und Friedhöfe als auch Gewässer, Wälder und Felder. Es werden drei Typen von Freiräumen unterschieden. Grüne Freiräume umfassen Pärke, Grünflächen und Wälder, aber auch unversiegelte, unbebaute Flächen. Zu den blauen Freiräumen zählen Seen, Flüsse, kleinere Gewässer, Freibäder etc. Grüne und blaue Freiräume haben einen positiven Effekt auf das Stadtklima und dienen der Erholung. Als graue Freiräume werden alle versiegelten Flächen bezeichnet, die nicht mit Gebäuden verbaut sind. Es sind dies im Wesentlichen Strassen, Gehwege, Plätze, Parkplätze etc.

Gebäude

Der Bereich Gebäude umfasst in der vorliegenden Studie Wohn- und Dienstleistungsgebäude. Gebäude sind von den Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Arten betroffen. Einerseits können durch Extremereignisse (z.B. Hochwasser) ganze Bauten, Gebäudehüllen und die Fahrhabe betroffen sein. Andererseits haben Hitzeperioden Folgen für das Gebäudeinnere bzw. die Menschen. Zusätzlich ist auch der Energiebereich im Gebäude resp. die Heiz- und Kühlinfrastruktur indirekt durch den Klimawandel betroffen.

Gesundheit

Im Bereich Gesundheit stehen die direkten und indirekten Folgen des Klimawandels für die menschliche Gesundheit im Fokus. So hat der Klimawandel einerseits sehr direkte Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen, beispielsweise aufgrund der zunehmenden Hitzewellen. Andererseits können auch indirekte klimabedingte Auswirkungen auf die Gesundheit auftreten, wie z.B. eine erhöhte Betroffenheit von Allergikern aufgrund der Ausbreitung von invasiven allergenen Pflanzen durch die wärmer werdenden Temperaturen.

Exkurs: Methodik

Die vorliegende Studie basiert auf Literaturanalysen aktueller wissenschaftlicher Ergebnisse, Analysen regionaler Datensätze sowie Expertinnen- und Expertenwissen, das im Rahmen von Workshops, Gesprächen und schriftlichem Austausch abgeholt wurde. Die gesamten Daten wurden analysiert und synthetisiert, priorisiert sowie grafisch ausgewertet. Für die Beurteilung möglicher Anpassungsmassnahmen wurde eine Multikriterienanalyse in den drei Dimensionen der

Nachhaltigkeit (Gesellschaft, Umwelt, Volkswirtschaft) entwickelt, die eine erste grobe Beurteilung von Anpassungsmassnahmen erlaubt.

Ausführlichere Informationen betreffend die angewandten Methoden finden sich im wissenschaftlichen Bericht der Studie (econcept 2013). www.econcept.ch/klimawandel-zuerich-grundlagen.pdf



*Unter dem
Klimawandel werden
Intensivniederschläge im
Sommer, Herbst und Winter
tendenziell zunehmen.*

2 Klimawandel – was erwartet den Grossraum Zürich?

Auf den Punkt gebracht. Gemäss Klimamodellen wird es im Grossraum Zürich zukünftig wärmer. Hitzewellen werden sich häufen und in ihrer Frequenz, Intensität und Dauer vor allem im Sommer zunehmen. Im Winter werden die wärmeren Temperaturen zu einem Anstieg der Schneefallgrenze führen. Dadurch wird es häufiger regnen statt schneien, womit das Hochwasserrisiko während des Winterhalbjahrs steigt. Zunehmende Intensivniederschläge können diese Entwicklung zusätzlich verschärfen. Betreffend Niederschlag prognostizieren die Klimamodelle für den Sommer zukünftig weniger Regen und dadurch zunehmende Trockenheit. Für die Jahreszeiten Herbst, Winter und Frühling können derzeit keine Prognosen zu Niederschlagsänderungen gemacht werden.

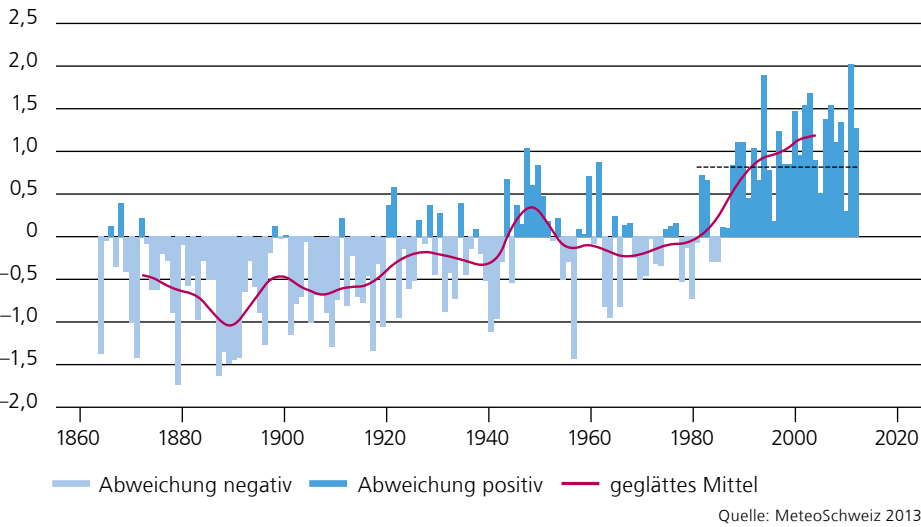
2.1 Bisherige Beobachtungen in der Schweiz

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist die mittlere jährliche Lufttemperatur schweizweit um rund 1,6° C angestiegen. Diese Erwärmung beschleunigte sich in den letzten 50 Jahren stark und ist in der Schweiz ungefähr 1,6-mal grösser als die durchschnittliche Erwärmung der Nordhalbkugel (MeteoSchweiz 2013). In der nachstehenden Figur 3, die die Abweichungen der mittleren Jahrestemperatur vom Durchschnitt der Periode 1961 – 1990 (Normperiode) zeigt, wird die vergangene mittlere Temperaturzunahme ersichtlich. Die schweizweite Temperaturzunahme ist Grund für den Rückgang der Gletscher und der Schneebedeckung sowie für die Abnahme der Frosttage. Gleichzeitig konnte in den letzten 50 Jahren eine Zunahme der Sommertage im Flachland beobachtet werden (MeteoSchweiz 2013).

Im Gegensatz zu der klaren Temperaturzunahme in der Vergangenheit sind die beobachteten Niederschlagsentwicklungen statistisch nicht signifikant. Klare Aussagen bezüglich der Niederschlagsänderung sind deshalb nur schwer möglich. Grund dafür ist die grosse regionale, saisonale und jährliche Variabilität des Niederschlags.

Abweichungen der mittleren Jahrestemperatur (in ° C) vom Durchschnitt der Jahre 1961 bis 1990 (Normperiode) in der Schweiz

Figur 3: Verlauf der mittleren Jahrestemperatur in der Schweiz seit Beginn der systematischen Messungen im Jahre 1864. Dargestellt in Blau und Hellblau ist die jährliche Abweichung der Temperatur (in ° C) von der Periode 1961 bis 1990. Die rote Kurve zeigt den geglätteten Verlauf (20-jähriges gewichtetes Mittel) und die gestrichelte Linie das Niveau des Mittels 1981 bis 2010.



2.2 Klimaszenario für den Grossraum Zürich

Um das zukünftige Klima abschätzen zu können, bedarf es computerbasierter Klimamodelle. Diese entsprechen einer numerischen Darstellung des globalen Klimasystems mit seinen Eigenschaften, Wechselwirkungen und Rückkopplungsprozessen (ETH 2012). Wichtige Grundlagen für die Klimamodellierungen sind die Emissionsszenarien, die unterschiedliche zukünftige Entwicklungen der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration aufzeigen unter Berücksichtigung zukünftiger demografischer, wirtschaftlicher und technologischer Entwicklungen (vgl. «Klimamodell» im Glossar).

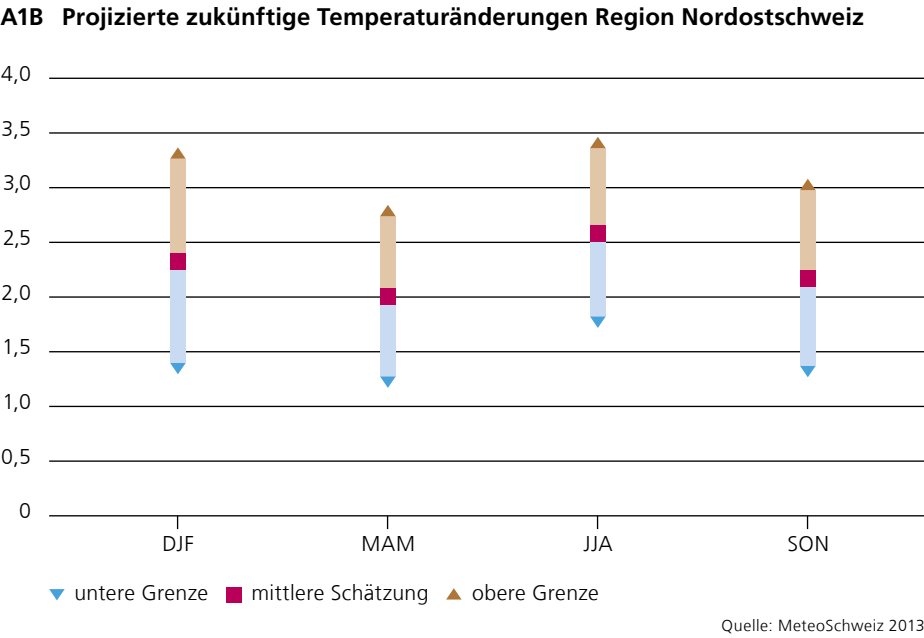
Im Rahmen der vorliegenden Studie gehen wir von einem Klimaszenario aus, das auf einem mittleren Emissionsszenario basiert (CH2011 2011, «Szenario A1B», vgl. auch Glossar). Dieses Emissionsszenario geht davon aus, dass die Treibhausgasemissionen bis 2050 weiter zunehmen und danach leicht abnehmen werden. In der vorliegenden Studie betrachten wir die zukünftige Entwicklung bis zum Jahr 2060.

Um die projizierte Klimaveränderung für den Grossraum Zürich zu beschreiben, stützen wir uns einerseits auf die neusten verfügbaren Klimaszenarien für die Schweiz (CH2011 2011), in denen die Schweiz in die drei Regionen Nordostschweiz, Nordwestschweiz und Südschweiz eingeteilt wird. Dabei fokussieren wir auf die Ergebnisse für die Nordostschweiz. Andererseits beziehen wir die regionale Übersicht der Klimaszenarien (MeteoSchweiz 2013) mit ein, in der zusätzlich die zu erwartenden Veränderungen in den Agglomerationen ausgewertet wurden.

Erwartete Temperaturänderungen

Im Vergleich zur klimatischen Referenzperiode 1980–2009 zeigen die Resultate der Klimaprojektionen für die Schweiz zukünftig eine Zunahme der Durchschnittstemperatur, geltend für alle Jahreszeiten, Regionen und Emissionsszenarien. Basierend auf dem mittleren Emissionsszenario A1B, schätzen die Klimamodelle für die Region Nordostschweiz bis 2060 eine Zunahme der jahreszeitlichen Mitteltemperatur um rund 1,4 bis 3,1° C (CH2011 2011). Berücksichtigt man zudem, dass der Grossraum Zürich unter die Kategorie der grossen Agglomerationen fällt, kann davon ausgegangen werden, dass die Erwärmung im Sommer deutlich stärker ausfallen dürfte als in den restlichen Jahreszeiten (MeteoSchweiz 2013).

Figur 4: Projizierte zukünftige Temperaturänderungen (in ° C) für das Szenario A1B für die Region Nordostschweiz (CHNE) und die vier Jahreszeiten: Winter (DJF: Dezember–Februar), Frühling (MAM: März–Mai), Sommer (JJA: Juni–August) und Herbst (SON: September–November). Projektionen entsprechen einem 30-jährigen Durchschnitt, zentriert um 2060 und in Bezug auf die Referenzperiode von 1980–2009 (CH2011 2011: 33).



Lesebeispiel

In der Region Nordostschweiz wird gemäss Klimaszenario A1B die mittlere Temperatur in den Sommermonaten Juni, Juli und August (JJA) bis ins Jahr 2060 um rund 2,6° C zunehmen.

Erwartete Niederschlagsänderungen

Basierend auf den aktuellen Klimamodellierungen ist es schwierig, eindeutige Tendenzen betreffend zukünftige Niederschlagsmuster auszumachen. Einerseits trägt die natürliche Variabilität des Klimas zur Unsicherheit bei, andererseits die geografische Lage der Schweiz innerhalb Europas: Da die Schweiz während der Jahreszeiten Herbst, Winter und Frühling in oder nahe der Übergangszone liegt, besteht für diese Jahreszeiten eine grosse Unsicherheit über das Vorzeichen der Niederschlagsänderung (CH2011 2011). Für den Sommer können klarere Niederschlagsprojektionen gemacht werden, da dann die Übergangszone im Norden Europas liegt. So wird für diese Jahreszeit schweizweit eine Niederschlagsabnahme erwartet. Für die Nordostschweiz sagt das A1B-Szenario bis 2060 für den Sommer eine Abnahme der Niederschläge um bis zu knapp 20 Prozent voraus (CH2011 2011).

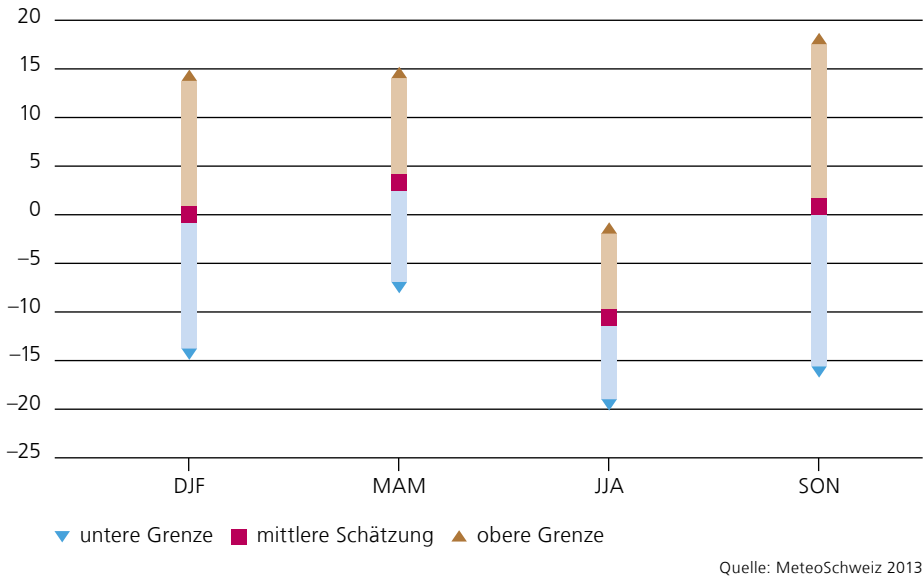
Extremereignisse

Als Extremereignisse gelten jene Ereignisse, die an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Jahreszeit selten² auftreten. In jüngster Vergangenheit hat die Schweiz mehrere extreme Wetterereignisse mit schweren sozioökonomischen und ökologischen Folgen erlebt, so zum Beispiel den Wintersturm «Lothar» im Jahr 1999 und den Hitzesommer im Jahr 2003.

Klimatische Extreme sind Teil eines stabilen Klimasystems und resultieren aus der natürlichen Variabilität. Durch die erwartete Veränderung der Mittelwerte klimatischer Grössen kann der Klimawandel die Häufigkeit und Intensität solcher Ereignisse jedoch beeinflussen. Während die zukünftige Änderung einiger Extremereignisse relativ sicher ist (z.B. für Hitze- und Kältewellen), werden die Prozesse für andere Extremereignisse nur teilweise oder gar nicht in den Klimamodellen erfasst (z.B. Unwetter), weshalb deren zukünftige Änderung unsicher ist (MeteoSchweiz 2013).

² Die Definitionen für «selten» variieren. Aber ein Wetterereignis gilt normalerweise als «extrem», wenn es ausserhalb des Bereichs zwischen dem 10. und 90. Perzentil der beobachteten Wahrscheinlichkeitsverteilung liegt (IPCC 2007).

A1B Projizierte zukünftige Niederschlagsänderungen



Figur 5: Projizierte zukünftige Niederschlagsänderungen für das Szenario A1B für die Region Nordostschweiz (CHNE) und die vier Jahreszeiten: Winter (DJF: Dezember–Februar), Frühling (MAM: März–Mai), Sommer (JJA: Juni–August) und Herbst (SON: September–November). Projektionen entsprechen einem 30-jährigen Durchschnitt, zentriert um 2060 und in Bezug auf die Referenzperiode von 1980–2009 (CH2011 2011: 37).

Die neusten Szenarien zur Klimaänderung in der Schweiz (CH2011 2011) differenzieren bei der Beschreibung der zukünftigen Veränderungen von Extremereignissen nicht zwischen den verschiedenen Regionen der Schweiz. Aus diesem Grund sind auch keine expliziten Aussagen für den Grossraum Zürich möglich.

Die für den Grossraum Zürich relevanten Extremereignisse sind folgende (vgl. auch Figur 6 auf S. 19 sowie econcept 2013):

Starker Schneefall

Starker Schneefall kann aufgrund der in kurzer Zeit auftretenden Schneemassen zu erheblichen Schäden führen. Bezüglich der zukünftigen Veränderung von intensivem Schneefall bestehen grosse Unsicherheiten (CH2011 2011). Durch die steigenden Temperaturen wird sich die Schneefallgrenze jedoch nach oben verschieben, wodurch die Tage mit Neuschnee im Grossraum Zürich unter dem Klimaszenario (A1B) um jährlich 5–7 Tage abnehmen werden (MeteoSchweiz 2013).

Intensivniederschlag

Intensivniederschläge sind Starkregenereignisse, die in einer bestimmten Zeitspanne Mindestregenhöhen erreichen bzw. überschreiten. Diese Mindestregenhöhen sind abhängig von der jeweiligen Klimazone. Im Grossraum Zürich liegt der Schwellenwert bei ca. 5 mm Regen innerhalb von 5 Minuten. Unter dem Klimawandel werden Intensivniederschläge im Sommer, Herbst und Winter tendenziell zunehmen.

Allgemeine Trockenheit

Von Trockenheit spricht man, wenn das verfügbare Wasser den Bedarf von Pflanzen, Tieren und Menschen nicht ausreichend deckt. Für die Zukunft zeigen die Klimamodelle in Richtung zunehmendes Risiko von Trockenperioden und Dürren im Sommer.

Hochwasser

Steigt der Wasserstand oder der Abfluss in einem Gewässer über einen bestimmten Wert, spricht man von Hochwasser. Aufgrund der zunehmenden Durchschnittstemperatur und des Anstiegs der Schneefallgrenze werden die gespeicherten Schnee- und Eismassen vermindert, wodurch der Abfluss im Winter zunehmen wird. Zusammen mit der Veränderung des Niederschlagsregimes (trockenere Sommer) kann dies zu einer jahreszeitlichen Umverteilung der Abflüsse führen. Dadurch wird sich im Grossteil des Mittellandes die potenzielle Hochwasserzeit in das Winterhalbjahr verschieben und teilweise auch verlängern. Die Häufigkeit von grossen Hochwasserereignissen dürfte zudem in vielen Gebieten im Mittelland steigen³ (BAFU 2012b). Die tendenzielle Zunahme von Intensivniederschlägen (vgl. Tabelle 1) könnte die Situation zusätzlich verschärfen.

Erdrutsch/Hangmure

Rutschungen sind hangabwärts gerichtete Bewegungen von Gesteinspaketen auf einer Gleitfläche. Hangmuren sind an steilen Hängen erfolgreiches, schnelles Abfahren von Gemischen aus Lockergestein und viel Wasser. Intensivniederschläge können u.a. Auslöser für Rutschungen und Hangmuren sein (BAFU 2009). Aufgrund der tendenziell zunehmenden Intensivniederschläge gehen wir von einer Zunahme von Rutschungen und Hangmuren aus.

Unwetter/Gewitter

Unter einem Unwetter verstehen wir ein lokales, schweres Gewitter mit Starkniederschlag und Sturmböen. Gemäss heutigem Wissensstand sind keine Aussagen bezüglich der zukünftigen Entwicklung von Unwettern/Gewittern unter dem Klimawandel möglich, u.a. da Unwetter/Gewitter sich aus vielen einzelnen, meist kleinräumigen Prozessen bilden, die von den Klimamodellen nicht ausreichend abgebildet werden können.

Kältewelle

Eine Kältewelle bezeichnet einen Kälteeinbruch im Winter mit einem extremen Temperaturrückgang (von über 10° C), der eine Periode kalter Witterung einleitet (Quelle: MeteoSchweiz). Betreffend Kältewellen lassen die Klimamodelle eine abnehmende Frequenz und Dauer erwarten. Intensive Kälteperioden sind aber auch unter dem zukünftigen Klima möglich (CH2011 2011).

Hitzewelle

Als Hitzewellen werden längere Zeiträume bezeichnet, in denen die Lufttemperaturen über 30° C liegen und kein Niederschlag fällt. In Zukunft werden solche Hitzewellen in ihrer Frequenz, Intensität und Dauer insbesondere im Sommer zunehmen, sodass gegen Ende des Jahrhunderts jeder zweite Sommer mindestens so warm wird wie der extreme Sommer im Jahr 2003 (Schär et al. 2004). Auch für den Winter werden Wärmeeinbrüche vorausgesagt (CH2011 2011).

Sturm/Orkan

Als Sturm werden Winde mit Geschwindigkeiten von mindestens 74,9 km/h (9 Beaufort) bezeichnet. Ein Sturm mit einer Windgeschwindigkeit von mindestens 117,7 km/h (12 Beaufort) wird als Orkan bezeichnet (BAFU/ARE 2011). Gemäss heutigem Wissensstand sind keine Aussagen bezüglich der zukünftigen Entwicklung von Stürmen/Orkanen unter dem Klimawandel möglich.

³ Dabei gilt es zu erwähnen, dass die Entstehung von Hochwasser nicht nur von der Niederschlagsverteilung, sondern insbesondere vom saisonalen und täglichen komplexen hydrologischen Zusammenspiel z.B. im Bodenwasserhaushalt abhängt (BAFU 2012b).

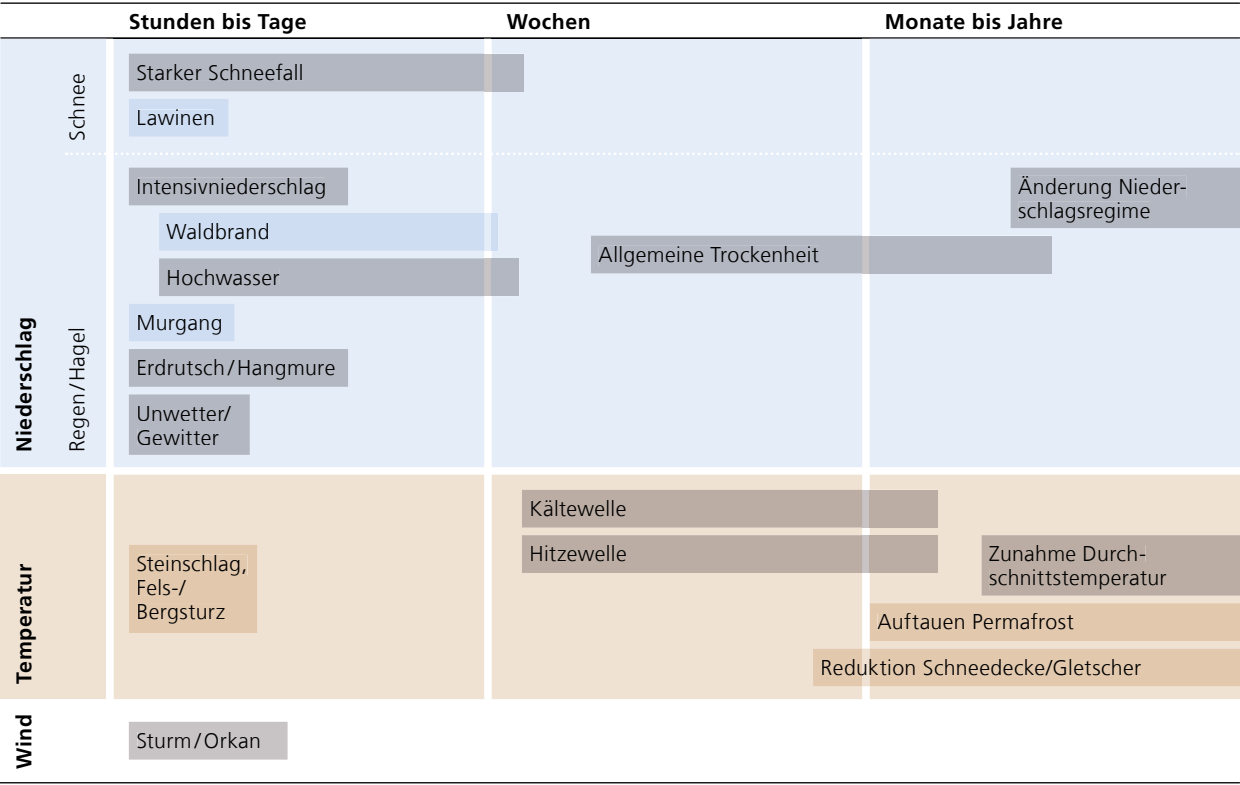
Gefahren und Effekte

Um die Auswirkungen des Klimawandels systematisch herleiten und beschreiben zu können, greifen wir auf die Systematik von «Gefahren und Effekten» zurück. Diese Kategorisierung basiert auf der Studie von BAFU und ARE (2011). Dabei wird unterschieden zwischen schleichenden Entwicklungen (= Effekten), wie den oben beschriebenen Veränderungen der Durchschnittstemperatur und des Niederschlags, sowie den plötzlich auftretenden Ereignissen (= Gefahren), wie den oben beschriebenen Extremereignissen. Unter dem Klimawandel wird sich die Intensität und Auftretenshäufigkeit der Gefahren und Effekte verändern.

Folgende Figur zeigt kurz-, mittel- und langfristige klimabedingte Gefahren und Effekte, die in der Schweiz auftreten können. Dabei ist jeweils die Zeitdauer dargestellt, während deren diese wirken (BAFU/ARE 2011). Die grau hinterlegten Gefahren und Effekte sind jene, die für den Grossraum Zürich relevant sind.

Weiterführende Informationen zu den Gefahren und Effekten (Beschreibung, Definition, erwartete Veränderungen unter dem Klimawandel) finden sich in econcept 2013 sowie BAFU/ARE 2011.

Gefahren und Effekte nach dem Zeitraum ihres Auftretens



Figur 6: Kurz-, mittel- und langfristige Gefahren und Effekte. Die für den Projektperimeter besonders relevanten Aspekte sind grau hinterlegt (angepasst, nach BAFU/ARE 2011 und BAFU 2011). «Gefahren» werden als plötzlich auftretende Ereignisse definiert, wie zum Beispiel Hochwasser, «Effekte» als schleichende Entwicklungen, wie zum Beispiel die Zunahme der Durchschnittstemperatur. Eine detaillierte Beschreibung der Gefahren und Effekte findet sich in BAFU/ARE 2011.



*Neuschnee macht sich
im Grossraum Zürich rar:
Schneeräumung, Schlitteln
und Schneeballschlachten
an jährlich fünf bis sieben Tagen
weniger.*

3 Klimawandel – wie empfindlich ist der Grossraum Zürich?

Auf den Punkt gebracht. Verschiedene Faktoren machen den Grossraum Zürich gegenüber dem Klimawandel besonders empfindlich:

- Die hohe Bevölkerungsdichte führt dazu, dass viele Menschen vom Klimawandel betroffen sind. Der überdurchschnittliche Anteil an hitzesensiblen Personen (Ältere, Kranke, Kleinkinder) macht den Grossraum sensibel.
- Zürich als vernetzter Wirtschaftsstandort ist stärker betroffen von den Folgen des Klimawandels im In- und Ausland.
- Der hohe Anteil versiegelter Flächen und Infrastrukturen macht den Grossraum Zürich besonders empfindlich gegenüber den verstärkten Gefahren durch Hitzewellen und Hochwasser.
- Das spezifische Stadtklima mit Wärmeinseln, einer verminderten Durchlüftung und der damit zusammenhängenden Luftbelastung verstärkt die Folgen des Klimawandels im urbanen Grossraum Zürich.

Wie stark die Auswirkungen des Klimawandels (negative wie auch positive) im Grossraum Zürich spürbar sind, hängt neben der beschriebenen Exposition des Gebiets (vgl. Kapitel 2) auch von seiner Sensitivität ab. Die Sensitivität beschreibt die heutige Empfindlichkeit einer Region gegenüber dem Klimawandel. Inwiefern sich die Sensitivität in Zukunft verändern wird, ist zu einem grossen Teil abhängig von der sozioökonomischen Entwicklung (vgl. folgender Kasten).

Sozioökonomisches Szenario für den Grossraum Zürich

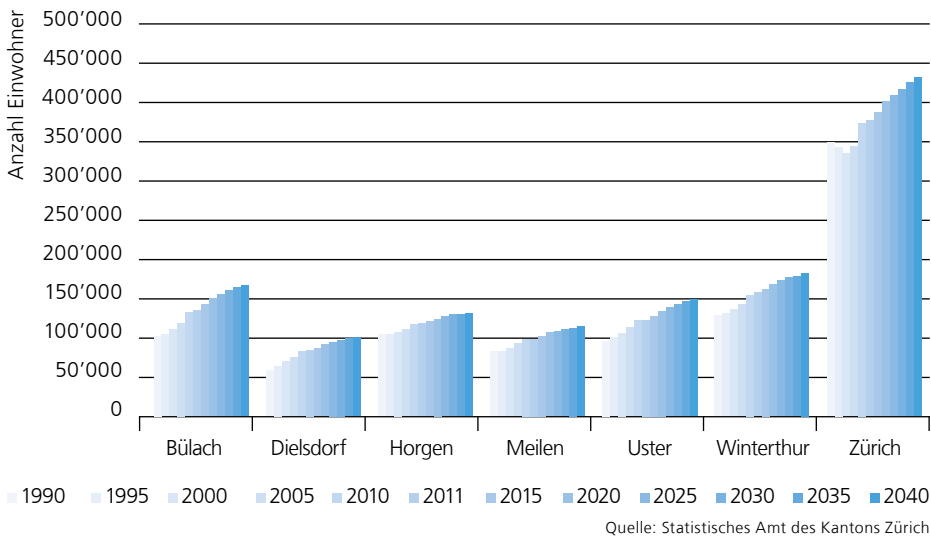
Für alle Auswirkungen durch Gefahren und Effekte gilt, dass sie sich neben der Verstärkung durch den Klimawandel zukünftig auch aufgrund der sozio-ökonomischen Entwicklung im Grossraum Zürich verstärken können. Konkret bedeutet dies, dass sich zukünftig beispielsweise die Auswirkungen durch Hochwasser oder Hitzewellen verstärken werden, weil mehr Menschen, mehr Gebäude und Infrastrukturen davon betroffen sind.

Für die erwartete sozioökonomische Entwicklung im Grossraum Zürich wurde ein Szenario skizziert. Es beschreibt die Entwicklung von für den Grossraum Zürich besonders relevanten Aspekten bis ins Jahr 2060. Es sind dies (1) die Bevölkerung, (2) der Wirtschaftsstandort und (3) die Siedlung.

Bevölkerung

Die Bevölkerung im Kanton Zürich hat in den letzten Jahren stetig zugenommen. Die Bevölkerungsprognosen 1990–2040 des Kantons Zürich beruhen auf der Fortsetzung dieser Entwicklung. Weiter gehen sie davon aus, dass die derzeit starke internationale Zuwanderung zwar fortlaufen, sich aber künftig abschwächen wird. Der Geburtenüberschuss bleibt bestehen (Kanton Zürich 2012b). Die Prognosen sagen somit bis ins Jahr 2040 einen Anstieg der Einwohnerzahl voraus, der sich jedoch ab 2030 abschwächt (Kanton Zürich 2010). Gemäss dem mittleren Bevölkerungsszenario (A-00-2100) für die Schweiz bis ins Jahr 2060 (BFS 2010) schwächt sich das Bevölkerungswachstum im Laufe der Zeit ebenfalls kontinuierlich ab und stagniert zwischen 2050 und 2060 sogar. Da entsprechende Daten für den Kanton Zürich

Bevölkerungsprognosen in den betrachteten Zürcher Bezirken 1990–2040



Figur 7: Bevölkerungsprognosen der betrachteten Bezirke 1990–2040, Prognoselauf 2012 (STAT).

fehlen, gehen wir für den Grossraum Zürich ab 2040 ebenfalls von einer weiteren Abnahme des Bevölkerungswachstums und ab 2050 von einer Stagnation aus.

Gemäss den Bevölkerungsprognosen des Kantons Zürich wird sich zukünftig auch die Altersstruktur der Bevölkerung verändern (Kanton Zürich 2010). Betrachtet man den ganzen Kanton, wird eine demografische Alterung stattfinden. Gründe dafür sind die steigende Lebenserwartung und die insgesamt niedrige Geburtenrate. Zudem kommen geburtenstarke Jahrgänge in den kommenden Jahren ins Rentenalter. In der Stadt Zürich zeigt sich hingegen ein anderes Bild (Stadt Zürich 2012b): Es wird erwartet, dass das Wachstum der Altersgruppe der über 80-Jährigen am geringsten ausfallen wird. Gründe dafür sind die Abwanderung von älteren Personen und die Zuwanderung von jungen Erwachsenen.

Beschäftigte

Der Kanton Zürich prognostiziert für die Jahre 2008 bis 2025 eine Zunahme der Anzahl Beschäftigten im Kanton um 5 Prozent (Kanton Zürich 2009; RZU 2009). Gemäss den Branchenszenarien Schweiz (Ecoplan 2005) wird bis ins Jahr 2035 ein überproportionales Wachstum des tertiären Sektors und ein entsprechend unterproportionales Wachstum der anderen Wirtschaftssektoren erwartet. Da im Grossraum Zürich ein überdurchschnittli-

cher Anteil der Beschäftigten im tertiären Sektor arbeitet, führen diese Entwicklungen tendenziell zu einer weiteren Zunahme der Beschäftigten, auch nach 2025. Für die Entwicklung nach 2035 wird im Rahmen der vorliegenden Studie angenommen, dass die Anzahl Beschäftigter im Grossraum Zürich zumindest stabil bleiben wird.

Siedlung und Infrastruktur

Aufgrund der erwarteten Bevölkerungs- und Beschäftigungsentwicklung wird auch die Siedlungsfläche weiter zunehmen. Zudem gehen wir davon aus, dass zukünftig die beanspruchten Wohnflächen pro Einwohner/in weiter ansteigen werden, entsprechend aktuellen Trends: Zwischen 1980 und 2009 wuchs die durchschnittlich pro Einwohner/in beanspruchte Wohnfläche im Kanton Zürich von 34 auf 45 Quadratmeter. Dabei hat sich das Wachstum seit der Jahrtausendwende allerdings verlangsamt (Kanton Zürich 2011). Der Ausdehnung der Siedlungsfläche entgegenlaufende Entwicklungen sind die Nutzung von unbebautem Land innerhalb der Bauzonen, das verdichtete Bauen, Innenentwicklung in bestehenden Bauten, Brachflächenrecycling etc.

Insgesamt gehen wir bis ins Jahr 2060 einerseits von einer weiteren, jedoch eher moderaten Ausdehnung der Siedlungsfläche aus, andererseits von einer Zunahme der inneren Verdichtung im Siedlungsraum.

Die für den Grossraum Zürich besonders relevanten Sensitivitätsfaktoren, nämlich (1) die Bevölkerung, (2) der Wirtschaftsstandort, (3) die versiegelten Flächen und die Infrastrukturanlagen sowie (4) das Stadtklima, werden in der Folge beschrieben.

3.1 Bevölkerung⁴

Der in dieser Studie betrachtete urbane Grossraum Zürich ist geprägt durch eine hohe Bevölkerungsdichte. Die Stadt Zürich hat mit rund 43 Einwohnern/ha die höchste Bevölkerungsdichte des Kantons (der kantonale Durchschnitt liegt bei ca. 8 Einwohnern/ha). Wie in der Figur 8 ersichtlich, weisen auch einige Gemeinden im Glatttal (Opfikon, Wallisellen und Dübendorf) im Limmattal (Oberengstringen, Schlieren, Dietikon und Geroldswil) sowie am linken Zürichseeufer (Kilchberg, Adliswil, Rüschlikon und Thalwil) eine besonders hohe Bevölkerungsdichte auf.

Die hohe Bevölkerungsdichte stellt bereits heute eine Empfindlichkeit der Region gegenüber dem Klimawandel dar: Je mehr Leute im Grossraum Zürich leben, desto grösser ist die Anzahl der vom Klimawandel potenziell Betroffenen. Das gemäss sozioökonomischem Szenario erwartete weitere Bevölkerungswachstum (vgl. Kasten auf S. 22) trägt zu einer zukünftigen Verstärkung dieser Sensitivität bei.

Ein zusätzlicher Faktor, der die Empfindlichkeit des Grossraums Zürich erhöht, ist der Anteil an besonders verletzlichen Personen wie Kranke, ältere Menschen, schwangere Frauen und

Säuglinge. Während der Anteil an über 65-Jährigen in den Städten Zürich, Winterthur und Uster sowie im Limmattal und im Glatttal ungefähr im kantonalen Durchschnitt (16 Prozent im Jahr 2011) liegt, ist dieser Anteil in den Seeufergemeinden mit knapp 20 Prozent überdurchschnittlich hoch (Kanton Zürich 2012b). Bedenkt man die verhältnismässig grosse Anzahl Spitäler im Grossraum Zürich, in denen sich viele kranke Personen, Schwangere und Säuglinge aufhalten, ist dies ein weiterer Indikator für eine erhöhte Empfindlichkeit. Aus der Geburtenrate können ebenfalls Rückschlüsse auf die Anzahl schwangerer Frauen und Säuglinge gezogen werden. Der kantonale Durchschnitt von Geburten lag im Jahr 2010 bei 11,4 pro 1'000 Einwohner/innen (Kanton Zürich 2012b). Im betrachteten Perimeter konnte im Jahr 2010 eine im Vergleich zum Kanton überdurchschnittliche Anzahl von 12 Geburten pro 1'000 Einwohner/innen registriert werden.

Die demografische Entwicklung gemäss dem sozioökonomischen Szenario (vgl. Kasten auf S. 23) wird zukünftig zu einer Verstärkung der Sensitivität «Bevölkerung» beitragen.

3.2 Wirtschaftsstandort

Der Kanton Zürich ist die wirtschaftlich stärkste Region der Schweiz, in der rund 70'200 Arbeitsstätten angesiedelt sind und knapp 800'000 Menschen beschäftigt werden (Kanton Zürich 2012a). Durch die überdurchschnittliche wirtschaftliche Stärke der Region ist der Grossraum Zürich besonders sensibel gegenüber dem Klimawandel. Einerseits führen die erwarteten höheren Temperaturen zu einem Rückgang der mentalen und körperlichen Arbeitsleistung. Andererseits sind von den tendenziell zunehmenden Intensivniederschlägen, Hitzewellen und möglichen Überschwemmungen besonders viele Unternehmen und ihre Infrastruktur betroffen.

Wir gehen davon aus, dass die aktuelle starke Verflechtung der Wirtschaftsbeziehungen des Grossraumes Zürich mit der übrigen Welt auch in Zukunft bestehen bleibt. Damit trägt sie zur Empfindlichkeit der Region bei: Kommt es durch den Klimawandel zu wirtschaftlichen Einbussen in Ländern, mit denen der Grossraum Zürich verflochten ist, wird sich dies auch auf den Grossraum Zürich auswirken.⁵

3.3 Versiegelte Flächen und Infrastrukturanlagen

Die versiegelte (bebaute) Fläche nahm in der jüngeren Vergangenheit schweizweit stetig zu. Allein in der Stadt Zürich ist mehr als ein Drittel der gesamten Bodenfläche versiegelt, Ende 2011 waren es 37,1 Prozent (Berechnung ohne die Gewässerflächen) (Stadt Zürich 2012a). Davon betroffen sind neben den Städten selbst auch ihre Ballungsbereiche, wie in Figur 9 ersichtlich wird.

Versiegelte Flächen gelten als Sensitivität bezüglich des Klimawandels: Einerseits machen sie Gebiete besonders anfällig gegenüber dem Temperaturanstieg, da sie sich mit der Sonneneinstrahlung stärker erwärmen und dadurch wesentlich zum Wärmeinseleffekt im urbanen Raum beitragen (siehe Kapitel 3.4 «Stadtklima»). Andererseits verstärken versiegelte Flächen die Empfindlichkeit des Systems gegenüber dem veränderten Niederschlagsregime, insbesondere gegenüber Intensivniederschlägen, mit Auswirkungen auf das Abflussregime und mit der möglichen Folge von Hochwasser und kurzzeitigen Überschwemmungen.

Versiegelte Flächen entstehen im Zusammenhang mit Gebäuden und Infrastruktur. Der Grossraum Zürich verfügt über zahlreiche materiell hochwertige und für das wirtschaftliche

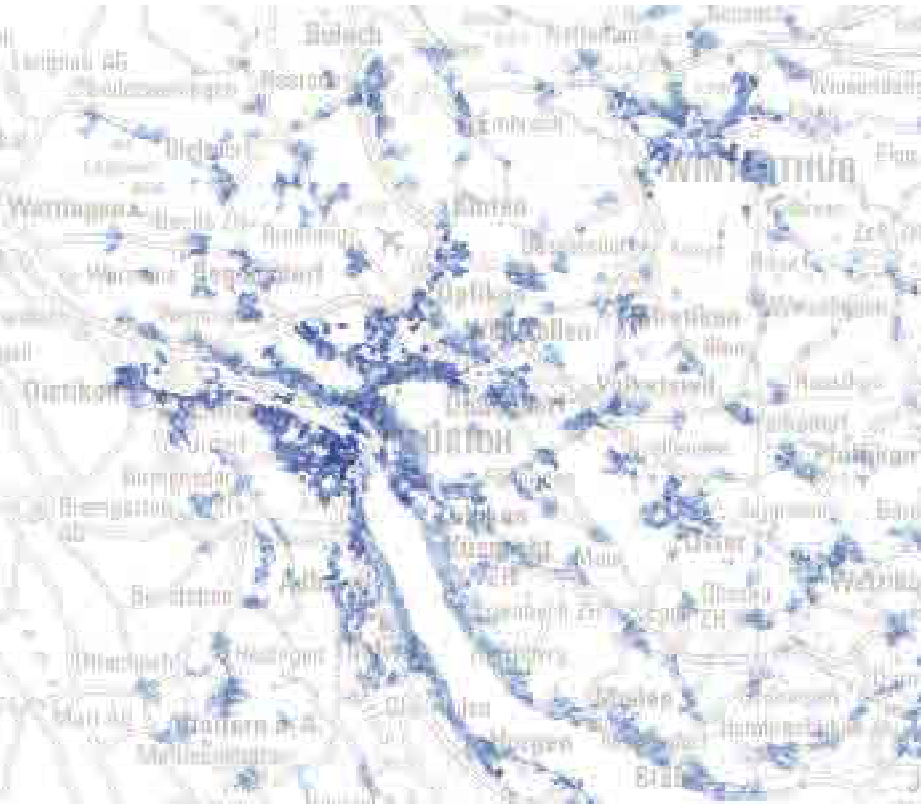
⁵ Für detaillierte Informationen bezüglich der Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft durch internationale Einflüsse siehe Infras et al. 2007.

⁴ In der vorliegenden Studie wird die Bevölkerung nach zivilrechtlichem Wohnsitzbegriff definiert.

Bevölkerungsdichte Grossraum Zürich

Figur 8: Bevölkerungsdichte (Einwohner/ha) im Grossraum Zürich.

■ je dunkler, desto grösser

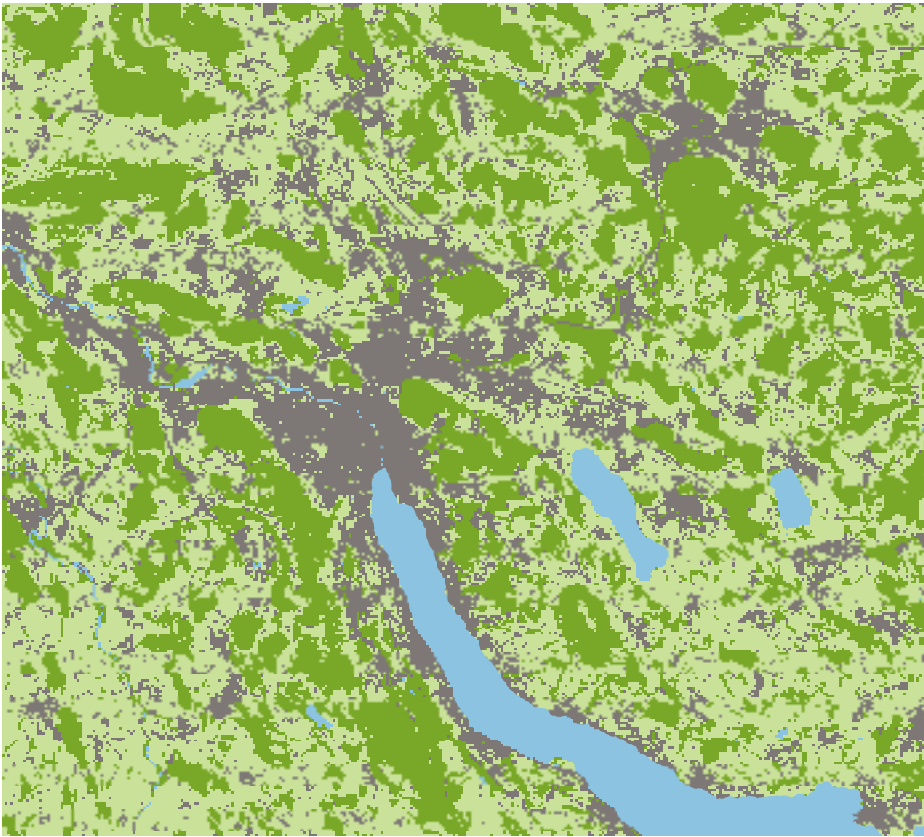


Quelle: Kanton Zürich 2012c

Figur 9: Darstellung der Freiräume.

- Wald
- vegetationsbestandene Freifläche
- blauer Freiraum
- versiegelte/bebaute Fläche

Arealtypen Kanton Zürich



Quelle: Kanton Zürich 2012d, Stadt Zürich 2012c

und gesellschaftliche Funktionieren wichtige Infrastrukturanlagen. Dazu zählen beispielsweise Bahnhöfe, ein für die gesamte Schweiz bedeutendes Schienen- und Strassennetz, der Flughafen, Ver- und Entsorgungsinfrastrukturanlagen (z.B. Strom- und Gasnetz sowie Trinkwasser- und Abwassersysteme), Infrastruktur und Gebäude für Kultur, Bildung, Forschung, Sport, zahlreiche Firmenstandorte etc. Diese hohe Dichte von Infrastrukturanlagen und Bauten trägt ebenfalls zur Empfindlichkeit des Grossraumes Zürich bei, da die Anlagen durch die tendenziell erwartete Zunahme von Intensivniederschlägen, die mögliche Zunahme von Hochwasser und zunehmende Hitzeereignisse Schaden nehmen können und dadurch ihre Funktion eingeschränkt oder eingebüsst werden kann.

Unter dem sozioökonomischen Szenario (vgl. Kasten auf S. 22), das von einer weiteren moderaten Ausdehnung der Siedlungsfläche sowie einer weiteren inneren Verdichtung ausgeht, wird sich auch die Sensitivität des Grossraumes Zürich aufgrund der zunehmenden versiegelten Flächen in Zukunft verschärfen.

3.4 Stadtklima

Neben den globalen Klimafaktoren wie dem Relief der Erdoberfläche oder dem jahreszeitlich wechselnden Sonnenstand wird das Lokalklima massgeblich durch grossräumige Wetterlagen und durch lokale Gegebenheiten an der Erdoberfläche, insbesondere die Landbedeckung bestimmt.

Städte und urbane Regionen haben ein charakteristisches Lokalklima, das stark von jenem des Umlandes abweicht. Durch den Klimawandel wird eine verstärkte Ausprägung dieser stadtklimatischen Charakteristika erwartet, was den urbanen Raum zusätzlich empfindlich macht gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels. In der Folge werden die Charakteristika des spezifischen Stadtklimas von Zürich beschrieben:

Die städtische Wärmeinsel

Ist im urbanen Raum die lokale Temperatur im Vergleich zum Umland deutlich höher, spricht man von einer «Wärmeinsel». Bereits heute werden Temperaturunterschiede zwischen den Kernstädten und dem umliegenden ländlichen Raum von bis zu 10° C festgestellt (BAFU 2012a). Diese Wärmebelastung (Figur 10) wird durch atmosphärische Prozesse (Lufttemperatur, Strahlungs-, Wärme- und Wasserdampfaustausch mit der Umgebung) verursacht, die dazu führen, dass die produzierte Wärme nicht ausreichend an die Umgebung abgegeben werden kann (Parlow et al. 2010). Versiegelte und bebaute Flächen heizen sich bei Sonneneinstrahlung stärker auf, weil hier weniger Wasser verdunsten kann. Oftmals ist auch die Albedo geringer und daher die Strahlungsabsorption höher. Die Gebäude- und Strassenoberflächen speichern die Sonnenstrahlung tagsüber, und in der Nacht geben sie die Wärme langsam wieder an die Atmosphäre ab.

Hinzu kommt im Winter die Beheizung der Gebäude, die zu einer Erwärmung der Umgebung führt, und im Sommer wirkt der erhöhte Energieverbrauch (z.B. durch die Beleuchtung, den Verkehr und Kühlanlagen) als zusätzliche Wärmequelle. Kombiniert mit teilweise geringer Vegetation, die Schatten und durch die Verdunstung kühlende Feuchtigkeit spendet, ergibt sich ein gegenüber dem Umland erhöhtes thermisches Niveau.

Durch die höheren Temperaturen infolge des Klimawandels und die Zunahme von Hitzeperioden werden sich der Wärmeinseleffekt und damit die Situation im betroffenen urbanen Raum verschärfen. Hitzeperioden mindern das Wohlbefinden während des Aufenthalts im Freien tagsüber und vermindern die Behaglichkeit in der Nacht. Es ist nachgewiesen, dass bereits der heutige Wärmeinseleffekt zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führt. Es kommt zu einer Abnahme der Leistungsfähigkeit sowie vermehrten Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen (Stadt Zürich 2011b).

Die städtische Durchlüftung

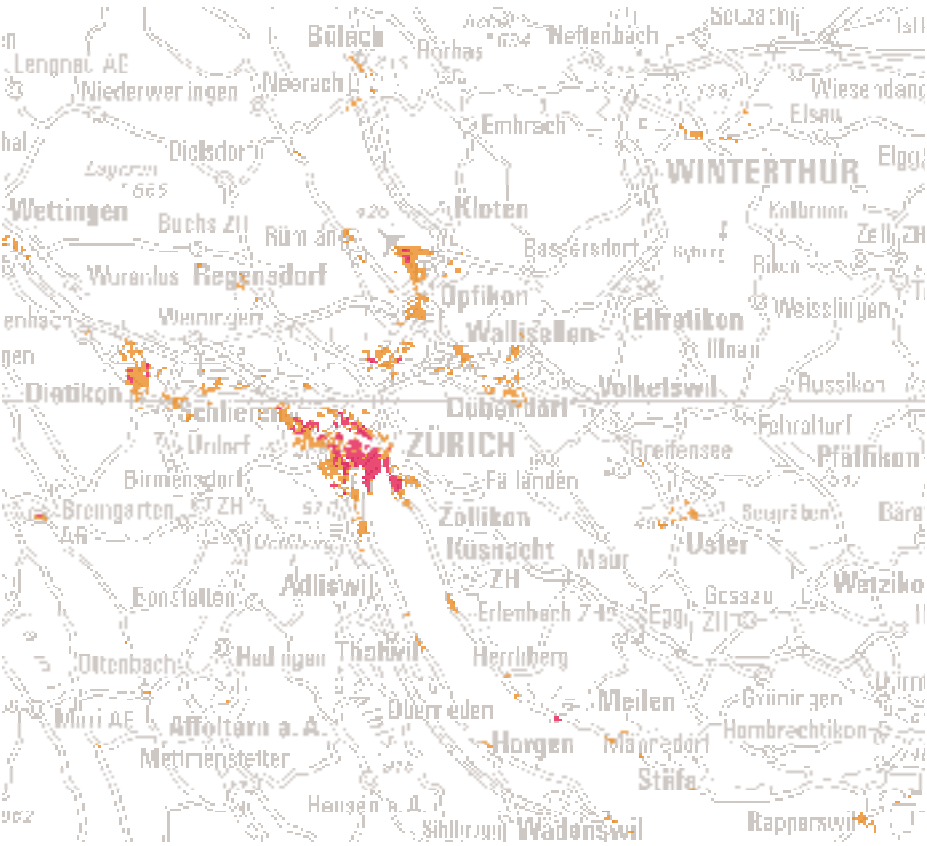
Die städtische Durchlüftung wird einerseits durch die übergeordnete Wetterlage beeinflusst, andererseits ist sie auch von lokalklimatischen Besonderheiten abhängig. So bewirkt Zürichs Lage am See einen Land-See-Wind-Effekt und das umgebende Relief lässt Berg-Tal-Wind-Systeme entstehen. Gemäss der Klimaanalyse der Stadt Zürich (Stadt Zürich 2011b), sind diese Windsysteme insbesondere in den Sommermonaten von Wichtigkeit. Denn eine gute Durchlüftung des urbanen Raums senkt die Durchschnittstemperatur und hat so einen positiven Effekt auf das thermische Wohlbefinden der Bevölkerung. Zusätzlich reduziert die Durchlüftung die lufthygienische Belastung, da die Luftschadstoffe abtransportiert werden. Damit eine solche Durchlüftung zustande kommt, ist eine ausreichende Kaltluftproduktion notwendig. Gerade diese Voraussetzung ist in den Stadtflächen Zürichs und den urbanen Gebieten, die mit hohen Gebäuden dicht bebaut sind, oft nicht gegeben. Einerseits, da nur wenig unversiegelte Fläche vorhanden ist, die für die Kaltluftproduktion notwendig ist,

Figur 10: Heutige lokale Wärmebelastung⁶ im Grossraum Zürich.

je dunkler, desto grösser

⁶ Als Indikator für eine lokal erhöhte Wärmebelastung wird der nächtliche Wärmestrom unter autochthonen Witterungsbedingungen herangezogen (Parlow et al. 2010).

Lokale Wärmebelastung



Quelle: Stadt Zürich 2012c

andererseits werden Luftströme (auch kühle Umlandluft) durch die Bebauung behindert (Stadt Zürich 2011b). Eine mangelnde Durchlüftung stellt in Anbetracht der zusätzlichen Wärmebelastung durch den projizierten Klimawandel eine zusätzliche Empfindlichkeit des urbanen Grossraumes Zürich dar.

Die städtische Lufthygiene

Wie vorgängig beschrieben, findet in gewissen urbanen Regionen eine mangelnde Durchlüftung statt, was dazu führt, dass die Schadstoffkonzentration relativ hoch bleibt. Zusätzlich erhöht wird die Belastung durch die sogenannte Rezirkulation: In der Nacht wird ein Teil der am Tag emittierten und in die oberen Schichten transportierten Schadstoffe wieder in Bodennähe verfrachtet. Zu besonders ungünstigen Verhältnissen führt die Inversionswetterlage, die das Klima in der Stadt Zürich aufgrund ihrer Muldenlage vor allem im Winter teilweise prägt. Der geringe Luftaustausch als Folge davon erlaubt eine besonders hohe Anreicherung von Luftschadstoffen (Smogbildung) (Stadt Zürich 2011b).

Wie sich der Klimawandel auf die Luftqualität auswirken wird, hängt von der Entwicklung der relevanten Grosswetterlage (Winde, Strahlung, Wolkenbildung, Niederschläge, Temperatur) ab. Die Einschätzung dieser Entwicklung ist für die Schweiz noch zu wenig präzise, um eindeutige Aussagen machen zu können (BAFU 2012a). Ein gemäss BAFU (2012a) mögliches Szenario geht aber davon aus, dass der Klimawandel zu einer Zunahme stabiler Hochdrucklagen in Mitteleuropa führt. Dies ist eine Voraus-

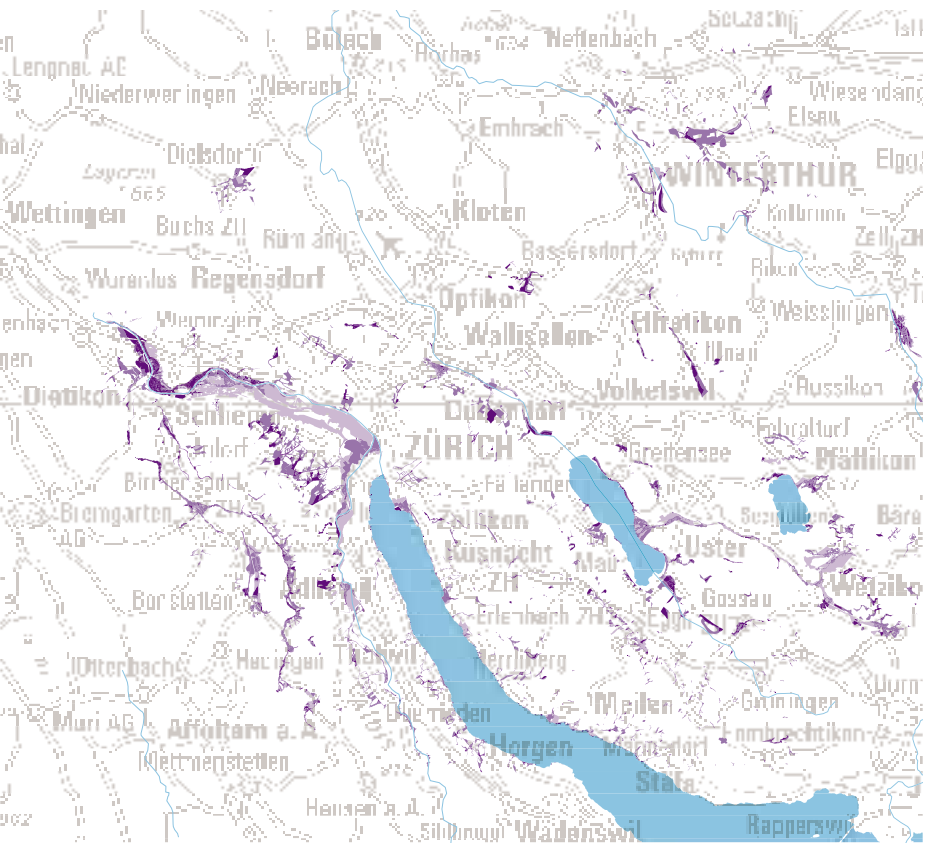
setzung für hohe Schadstoffkonzentrationen in der Luft. Die erwarteten höheren Temperaturen, Sonnenschein und stagnierende Luftmassen begünstigen im Sommer die Ozonbildung. Im Winter würde es in schlecht durchlüfteten Gebieten wie dem urbanen Grossraum Zürich vermehrt zu stabilen Inversionslagen mit hohen Feinstaubkonzentrationen kommen.

Der städtische Niederschlag

Die grössten monatlichen Niederschlagsmengen werden in Zürich im Sommerhalbjahr und speziell in den drei Sommermonaten Juni, Juli und August (Parlow et al. 2010) gemessen. Unter dem Klimaszenario wird der durchschnittliche Niederschlag im Sommer tendenziell abnehmen. Dies stellt eine Herausforderung dar, da die Kombination von fehlendem Niederschlag mit einer schlechten Durchlüftung zur Akkumulation von Schadstoffen in der Stadtatmosphäre führt.

Zur Herausforderung wird der städtische Niederschlag aber auch durch das Zusammenspiel der tendenziell zunehmenden Intensivniederschläge mit dem hohen Anteil versiegelter Flächen. Starkregenereignisse können eine negative Wirkung auf das städtische Abflussregime haben und kurzzeitige Überschwemmungen verursachen (MKULNV 2011). Die Stadt Zürich ist besonders sensibel, so gilt das Überflutungsgebiet auf dem Sihl-schwemmkegel als eines der grössten Hochwasserrisikogebiete der Schweiz (TA 2012).

Gefahrenkarte Hochwasser



Quelle: Stadt Zürich 2012d

Figur 11: Gefahrenkarte Hochwasser.

je dunkler, desto grösser

*Häufigere und länger dauernde
Trockenperioden führen zu
Bodenaustrocknung, wodurch
sich lokal die Wasseraufnahme- und
Wasserspeicherfähigkeit des Bodens durch
Verkrustung verringert. Dadurch
kann weniger Bodenfeuchte verdunsten,
und der lokale Abkühlungseffekt
durch die Verdunstung
nimmt ab.*



4 Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf

Auf den Punkt gebracht. Infolge des Klimawandels ist bis ins Jahr 2060 im Grossraum Zürich durch Hochwasser, allgemeine Trockenheit, Hitzewellen und zunehmende Durchschnittstemperatur mit relevanten Auswirkungen zu rechnen. Die bereits heute empfindlichen Gebiete im Grossraum Zürich werden zusätzlich belastet, und weitere Gebiete können durch die Auswirkungen des Klimawandels betroffen werden.

4.1 Die relevanten Auswirkungen des Klimawandels auf Freiraum, Gebäude und Gesundheit

Um die relevanten Auswirkungen des Klimawandels auf die drei ausgewählten Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit zu bestimmen, wurde eine Relevanzbeurteilung vorgenommen. Nachfolgende Relevanzmatrix zeigt das Ergebnis anhand der Kombinationen von relevanten Gefahren/Effekten (vgl. Kasten S. 19) mit den drei Bereichen. Grosser Handlungsbedarf wird überall dort angenommen, wo die Auswirkungen als «sehr relevant» bewertet sind (= dunkelbeige Felder).

Intensivniederschläge					Mittlere Niederschläge		Extrem-temperaturen		Mittlere Temperatur	Wind
Auswirkungs- bereich	Starker Schneefall	Hochwasser	Erdrutsch/ Hangmure	Unwetter/Gewitter	Allgemeine Trockenheit	Änderung Nieder- schlagsregime	Kältewelle	Hitzewelle	Zunahme Durch- schnittstemperatur	Sturm/Orkan
Freiraum		✓		✗	✓			✓	✓	
Gebäude		✓		✗				✓		✗
Gesundheit								✓	✓	

Tabelle 2: Relevanzmatrix Auswirkungsbereiche – Gefahren/Effekte. Situation im Jahr 2060 unter Berücksichtigung des Klimaszenarios gemäss Expertinnen- und Experten-Einschätzung. Weiterführende Erläuterungen dazu finden sich in der Studie econcept 2013.

sehr relevant relevant nicht relevant / vernachlässigbar
✓ Entwicklung von Gefahr/Effekt unter Klimawandel klar ✗ Entwicklung von Gefahr/Effekt unter Klimawandel unklar

Da über die Entwicklungen von Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan unter dem Klimawandel gemäss heutigem Wissensstand keine Aussagen gemacht werden können (vgl. Kapitel 2.2), werden diese Gefahren in den weiteren Arbeiten nicht berücksichtigt (und sind in obiger Tabelle mit einem Kreuz versehen). Die Verstärkung der zukünftigen Auswirkungen von Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan ist aus heutiger Sicht hauptsächlich auf die erwartete sozioökonomische Entwicklung (vgl. Kasten S. 22) und die sich daraus ergebende Zunahme der Sensitivitäten zurückzuführen.

Die Relevanzmartrix zeigt somit, dass im Grossraum Zürich unter dem Klimaszenario bis 2060 aufgrund von Hochwasser, allgemeiner Trockenheit, Hitzewellen und zunehmen-

der Durchschnittstemperatur mit relevanten Auswirkungen zu rechnen ist. In der Folge werden die zu erwartenden Auswirkungen dieser Gefahren und Effekte auf die drei Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit beschrieben:

Freiraum – Hochwasser

Die zunehmende Häufigkeit von Hochwasserereignissen im Winter verursacht Schäden in allen Freiräumen und führt zu mehr Aufräumarbeiten. Insbesondere in grauen Freiräumen steigt durch Hochwasser die Gefahr von Überschwemmungen. In grünen und blauen Freiräumen sind auch Pflanzen und Tiere durch Hochwasser bedroht.

Freiraum – Trockenheit

Die zunehmenden Trockenperioden im Sommer lassen folgende Auswirkungen erwarten:

- Trockenheit verursacht Niedrigwasser, was zu einer erhöhten Schadstoffkonzentration im Wasser führt. Dies beeinträchtigt einerseits die Wasserfauna und -flora, andererseits kann dies bei einer Infiltration des Oberflächenwassers ins Grundwasser die Trinkwasserqualität verringern (BAFU 2012a).
- Trockenheit führt zu vermindertem Pflanzenwachstum, frühzeitigem Blattwurf, Zweigsterben und einer verkürzten Lebensdauer von Pflanzen. Diese Effekte werden durch eine erhöhte Anfälligkeit der Pflanzen gegenüber Schadorganismen und Krankheiten verstärkt (Factsheets 2012).
- Häufigere und länger dauernde Trockenperioden führen zu Bodenaustrocknung, wodurch sich lokal die Wasseraufnahme- und Wasserspeicherfähigkeit des Bodens durch Verkrustung verringert. Dadurch kann weniger Bodenfeuchte verdunsten, und der lokale Abkühlungseffekt durch die Verdunstung nimmt ab (BAFU 2012a).
- Der Pflege- und Bewässerungsbedarf der Grünflächen wird aufgrund der Trockenheit steigen und höhere Kosten für die öffentliche Hand verursachen (Factsheets 2012).

Freiraum – Hitzewelle

Die erwartete Zunahme von Hitzewellen im Sommer verstärkt den bereits existierenden Wärmeinseleffekt in urbanen Gebieten. Gleichzeitig steigen der Nutzungsdruck auf die grünen Freiräume (z.B. zur Abkühlung) sowie die Ansprüche an ihre Ausgestaltung (Factsheets 2012). Dies hat eine Zunahme des Pflege- und Unterhaltsbedarfs für die öffentliche Hand zur Folge, umso mehr, als auch der Wasserbedarf der Pflanzen aufgrund der verstärkten Verdunstung steigen wird und die Zunahme von Hitzewellen in Kombination mit Trockenheit zu einer erhöhten Anfälligkeit der Pflanzen gegenüber Schadorganismen und Krankheiten führen wird (Factsheets 2012).

Freiraum – Zunahme Durchschnittstemperatur

Die erwartete Zunahme der Durchschnittstemperaturen verändert die Bedingungen für Tiere, Pflanzen und Menschen:

- Eine Verschiebung der Frühlingsphasen für Pflanzen und Tiere: Bereits heute beginnt der biologische Frühling (Blattentfaltung, Blütezeit etc.) in der Schweiz im Mittel 12 Tage früher als vor 50 Jahren, und die Ankunft vieler Zugvögel ist heute schon um 1–2 Wochen vorverschoben (Climate-Press 2003). Die wärmeren

Temperaturen können zudem dazu führen, dass Interaktionen zwischen Arten (beispielsweise der Blühzeitpunkt und die Präsenz von Bestäubern) oder Räuber-Beute-Beziehungen nicht mehr funktionieren (BAFU 2012a).

- Eine Verschiebung nach Norden von jenen einheimischen Arten (Pflanzen und Tieren), die nicht genügend wärmeresistent sind (Climate-Press 2003): Bereits heute hat sich beispielsweise in den Schweizer Fliessgewässern als Folge der Erwärmung um 0,4–1,6° C in den letzten 25 Jahren die Forellenregion um 100–200 m in der Höhe verschoben (OcCC/Proclim 2007). Durch die Verschiebung der Arten wird eine Abnahme der lokalen Artenvielfalt erwartet, was längerfristig zur Veränderung der landschaftlichen Eigenart und Biodiversität beitragen wird (BAFU 2012a).
- Die Flora und Fauna werden sich südlicher gelegenen Gegenden annähern (OcCC/Proclim 2007): Invasive Arten (Neobiota), die durch das wärmere Klima begünstigt werden, können sich ausbreiten (scnat 2007). Bereits heute existieren in den Freiräumen fremdländische Arten, und immer häufiger treten neue Schädlinge und Krankheitsbilder auf, die die Gesundheit der Bäume beeinträchtigen (Grün Stadt Zürich 2006). Es wird angenommen, dass sich unter den Neobiota auch zukünftig Schadorganismen befinden, die sich negativ auf die heimischen Ökosysteme auswirken (BAFU 2012a).

Gebäude – Hochwasser

Gehäufte Hochwasserereignisse lassen mehr Schäden an Bauten erwarten.

Gebäude – Hitzewelle

Im Sommer führen die zunehmenden Hitzewellen zu sehr hohen Innenraumtemperaturen. Auch bei gut gedämmten Gebäudehüllen werden die Raumtemperaturen stark ansteigen. Gründe dafür sind einerseits hohe Energieeinträge durch Sonnenstrahlung, andererseits die in den Gebäuden produzierte Wärme durch elektronische Geräte und durch eine hohe Personendichte. Eine verbesserte Dämmung verhindert in beiden Fällen die Abgabe der Wärme an die Aussenwelt (OcCC/Proclim 2007). Eine Folge der erhöhten Raumtemperatur ist ein verringertes Wohlbefinden und die Abnahme der Arbeitsproduktivität.

Gesundheit – Hitzewelle

Die Zunahme von Hitzewellen ist die wichtigste klimawandelbedingte Veränderung für die menschliche Gesundheit. Das Risiko von Herz-Kreislauf-Problemen, Hitzschlägen, Dehydrierung und Hyperthermie nehmen zu. Besonders sensibel sind alte, (chronisch) kranke und pflegebedürftige Personen sowie Schwangere, Säuglinge und Kleinkinder. Auswertungen des Hitzesommers 2003 zeigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Temperatur und den zusätzlichen Todesfällen (BAFU 2012a). Allein in der Stadt Zürich nahmen die Sterbefälle von Personen über 64 Jahren um 12,3 Prozent zu, verglichen mit dem eher kühleren Sommer 2002 (BAFU/ARE 2011). Dabei spielte auch die erhöhte Ozonbelastung eine relevante Rolle; sie führt zu Atemwegserkrankungen und einer erhöhten Sterblichkeit. Durch die zunehmende Häufigkeit, Dauer und Intensität von Hitzewellen aufgrund des Klimawandels wird die Ozonbildung weiter begünstigt.

Die Zunahme von Hitzewellen bringt auch indirekte Auswirkungen mit sich: Die Arbeitsproduktivität, die Schlafqualität und generell das Wohlbefinden der Bevölkerung werden beeinträchtigt. Geht man davon aus, dass aufgrund der zunehmenden Hitze-

wellen vermehrt mit Klimaanlage gekühlt wird, gilt es dem Risiko von Bakterien, Pilzen und Keimen Beachtung zu schenken. Diese können sich insbesondere bei sommerlicher Hitze vermehren und negative Auswirkung auf die menschliche Gesundheit haben.

Gesundheit – Zunahme Durchschnittstemperatur

Neben den Hitzewellen hat auch die schleichende Temperaturzunahme Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Wie oben beschrieben, ist heute bereits eine Jahreszeitenverschiebung zu beobachten. Entsprechend hat sich auch die Pollensaison in den letzten Jahrzehnten vorverschoben. Aufgrund der Klimaänderung dürfte in Zukunft die Pollensaison und somit die Belastungszeit für Allergiker/innen länger werden (OcCC/Proclim 2007). Besonders betroffen sind die Menschen mit Pollenallergie auch durch die Ausbreitung von invasiven Pflanzen, wie beispielsweise der stark allergenen Ambrosia.

Die Klimaerwärmung verändert auch die Lebensbedingungen für Träger/innen von Infektionskrankheiten (Vektoren) und ihren Krankheitserregern. Während eine Ausbreitung von exotischen Krankheiten (z.B. Malaria und Denguefieber) unwahrscheinlich ist, da das Klima dabei nur eine untergeordnete Rolle spielt ⁷, sind Krankheiten, die von Tieren auf den Menschen übertragen werden, bereits auf dem Vormarsch (z.B. das West-Nil-Fieber). In einzelnen Landesteilen haben sich die Tigermücke und die Asiatische Buschmücke bereits als neue Krankheitsüberträger etabliert (BAFU 2012a). Bei den Zecken wird ebenfalls eine weitere Ausbreitung erwartet. Während man bei der Zeckenzephalitis aufgrund der Wärmeempfindlichkeit der Viren von einem Rückgang ausgeht, bleibt das Risiko der Borreliose bestehen (BAFU/ARE 2011). Ein weiteres Gesundheitsrisiko, das durch die wärmeren Temperaturen auftritt, ist die geringere Haltbarkeit von Lebensmitteln und die schnellere Vermehrung von Krankheitsträgern in Nahrungsmitteln. Die Gefahr von Lebensmittelvergiftungen durch verdorbene Lebensmittel und von Krankheiten, die durch Lebensmittel übertragen werden (z.B. Salmonellen oder Colibakterien) nimmt somit infolge der Klimaerwärmung zu (BAFU/ARE 2011).

⁷ Die Verbreitung ist hauptsächlich von anderen Faktoren abhängig. Zum Beispiel sind für die Verbreitung von Malaria in der Schweiz vor allem die natürliche Umgebung (z.B. Sümpfe) und die hygienischen Verhältnisse wichtig, das Klima hat eine eher untergeordnete Bedeutung (OcCC/ProClim 2007).

Chancen durch den Klimawandel

Die oben erwähnten Auswirkungen beschreiben Risiken, die durch den Klimawandel hervorgerufen oder verstärkt werden. Aus diesem Grund besteht hier Handlungsbedarf. Neben den Risiken bringt der Klimawandel jedoch auch Chancen mit sich, wie die folgenden Beispiele zeigen:

Freiraum

Von den wärmeren Gewässertemperaturen werden sowohl Kalt- als auch Warmwasserfische profitieren, da die Wachstumsphasen länger dauern und die Fische schneller wachsen. Als Folge davon werden die Gewässer geeigneter für Karpfen und exotische Fischarten (OcCC/Proclim 2007).

Gebäude

Die steigenden Temperaturen führen zu erhöhten Raumtemperaturen, sofern keine Gegenmassnahmen (z.B. Kühlung) ergriffen werden. Als Folge der steigenden Temperaturen wird im Winter die benötigte installierte Leistung der Heizungen in den Gebäuden abnehmen, und es wird weniger Heizenergie benötigt.

Gesundheit

Eine mögliche positive Auswirkung der steigenden Durchschnittstemperatur ist ein zunehmend mediterraner Lebensstil, wo die Leute mehr Zeit draussen in Gesellschaft verbringen, was oftmals zu erhöhtem Wohlbefinden führt.

4.2 Geografische Lokalisierung der Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf

Die als sehr relevant bewerteten Kombinationen der Gefahren/Effekte mit einem der Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit werden nach Möglichkeit geografisch lokalisiert. Dazu wurden die vorhandenen räumlichen Daten (Karten) der heutigen Gefahren und Effekte mit bereichsrelevanten räumlichen Daten zu bestehenden Sensitivitäten kombiniert. So ergibt sich eine geografisch gewichtete Priorisierung des Handlungsbedarfs im Grossraum Zürich.

4.2.1 Hochwasser

Die heutige Gefahr von Hochwasser im Grossraum Zürich lässt sich anhand der Gefahrenkarte Hochwasser lokalisieren. Unter dem Klimaszenario wird davon ausgegangen, dass zukünftig die Häufigkeit von grossen Hochwassern tendenziell zunehmen und die Hochwassersaison länger andauern wird (vgl. Kapitel 2.2). Inwiefern sich unter diesen Veränderungen die Gefahrenzone für Hochwasser in Zukunft verschieben wird, kann im Rahmen der vorliegenden Studie nicht abgeschätzt werden.

Betrachtet man die Hochwassergefahrenkarte in Kombination mit der räumlichen Anordnung grüner, blauer und grauer Freiräume (Figur 12), stellt man fest, dass diverse Freiräume heute schon durch Hochwasser gefährdet sind. Dabei wird ersichtlich, dass insbesondere die grünen und grauen Freiräume entlang von Flüssen (Eulach, Glatt,

Limmat, Sihl u.a.) sowie die blauen Freiräume selbst betroffen sind. Auch die Nähe von Bächen kann zur Hochwasser- und Überschwemmungsgefahr beitragen. Dies ist beispielsweise an der Ostflanke der Albiskette erkennbar oder auch entlang des Aabachs (Ustermer Aa), der durch Uster führt.

Bei der Betrachtung der Hochwassergefahrenkarte in Kombination mit der heutigen Gebäudedichte (Figur 13) stellt man fest, dass innerhalb der Stadt Zürich die grösste Empfindlichkeit besteht. Das Überflutungsgebiet auf dem Sihlschwemmkegel weist denn auch eines der grössten Hochwasserrisiken der Schweiz auf. Dies wird damit begründet, dass das Schadenpotenzial stark zugenommen hat und weiter zunimmt durch die sozioökonomische Entwicklung bzw. die Zahl der Gebäude in Zürich, die sich seit dem letzten grossen Sihlhochwasser von 1910 vervielfacht hat (Kanton Zürich 2012e). Auch im Stadtzentrum von Winterthur besteht eine erhebliche Hochwassergefahr durch die Eulach. Diese tritt zwar selten über die Ufer, doch bei einem Hochwasser, wie es durchschnittlich alle 100 Jahre (letztmals 1876) vorkommt, muss mit Schäden von über 400 Millionen Franken gerechnet werden (NZZ 2011).

Auch in verschiedenen kleineren Gemeinden im Grossraum Zürich ist heute schon eine Empfindlichkeit gegenüber Hochwasser erkennbar, so etwa in den Gemeinden Dielsdorf und Bassersdorf. In beiden Gemeinden sind Schutzmassnahmen in Planung oder bereits umgesetzt (Baudirektion Kanton Zürich 2012; Zürcher Unterländer 2012).

Kombination der Hochwassergefahrenkarte und Freiräumen

Figur 12: Kombination der Hochwassergefahrenkarte, des grünen Freiraums und der versiegelten/bebauten Fläche.

- Hochwassergefahr: je dunkler, desto grösser
- Wald
- vegetationsbestandene Freifläche
- versiegelte/bebaute Fläche

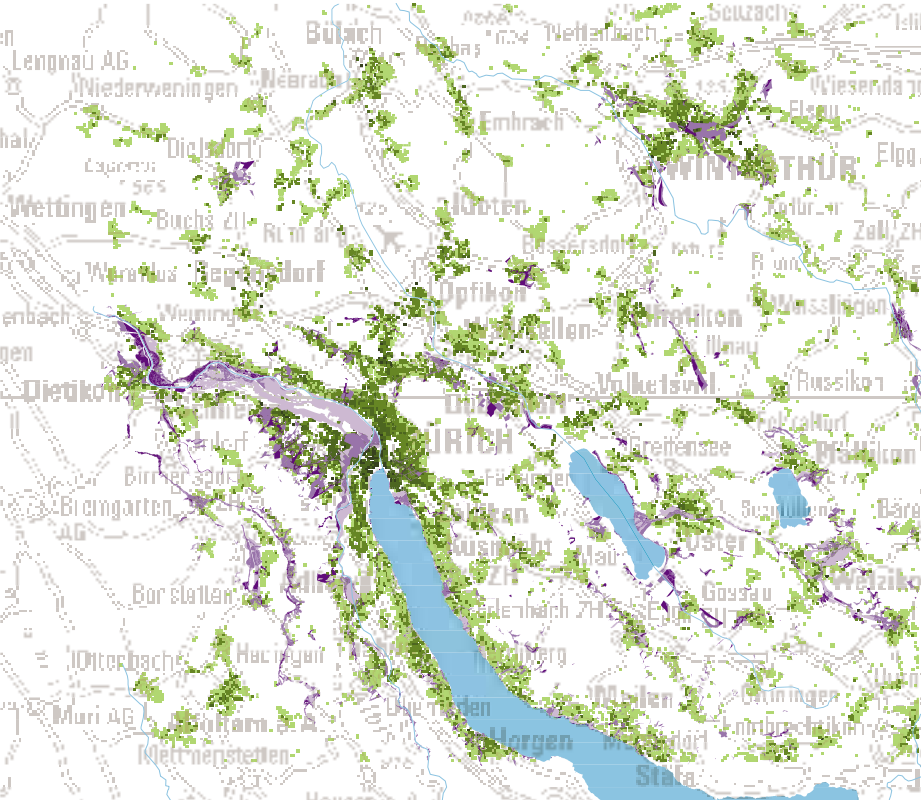


Quelle: Kanton Zürich 2012d, Stadt Zürich 2012c

Kombination von Hochwasser und Gebäudevolumen

Figur 13: Kombination der Hochwassergefahrenkarte und der Gebäudevolumen (Summe des Gebäudevolumens in der Hektare [in m³]).

- Hochwassergefahr: je dunkler, desto grösser
- Gebäudevolumen: je dunkler, desto grösser



Quelle: Kanton Zürich 2012d

4.2.2 Trockenheit

Als Indikator für die Trockenheit kann auf die beobachteten Niederschlagsdefizite zurückgegriffen werden. Für den gesamten betrachteten Grossraum Zürich werden heute im Durchschnitt ähnliche Niederschlagsmengen gemessen, und auch die Abweichungen vom Niederschlagsmittel sind für den betrachteten Grossraum in etwa vergleichbar. Eine Lokalisierung von heute auftretender Trockenheit ist deshalb nicht möglich.

Durch den Klimawandel werden in Zukunft längere und intensivere Trockenperioden für den gesamten Grossraum Zürich erwartet, insbesondere im Sommer (vgl. Kapitel 2.2). Die Stärke der zukünftigen Trockenperioden lässt sich jedoch räumlich nicht differenzieren.

Die Auswirkungen von Trockenheit wurden für den Bereich Freiraum als sehr relevant beurteilt. Aus diesem Grund besteht grundsätzlich für alle, insbesondere für die grünen und blauen Freiräume im Grossraum Zürich Handlungsbedarf.

4.2.3 Hitzewellen

Bereits heute kann an gewissen Orten im Grossraum Zürich eine erhöhte Wärmebelastung – aufgrund des städtischen Wärmeinseleffekts – konstatiert werden. Diese Wärmebelastung wird sich in Zukunft intensivieren, da unter dem Klimaszenario in

Zukunft häufigere, längere und intensivere Hitzewellen erwartet werden. Wir gehen dabei davon aus, dass sich heutige Bereiche mit hoher Wärmebelastung zukünftig nicht grundlegend verschieben, sich aber je nach Intensität und Dauer der Hitzewelle zumindest temporär ausbreiten werden.

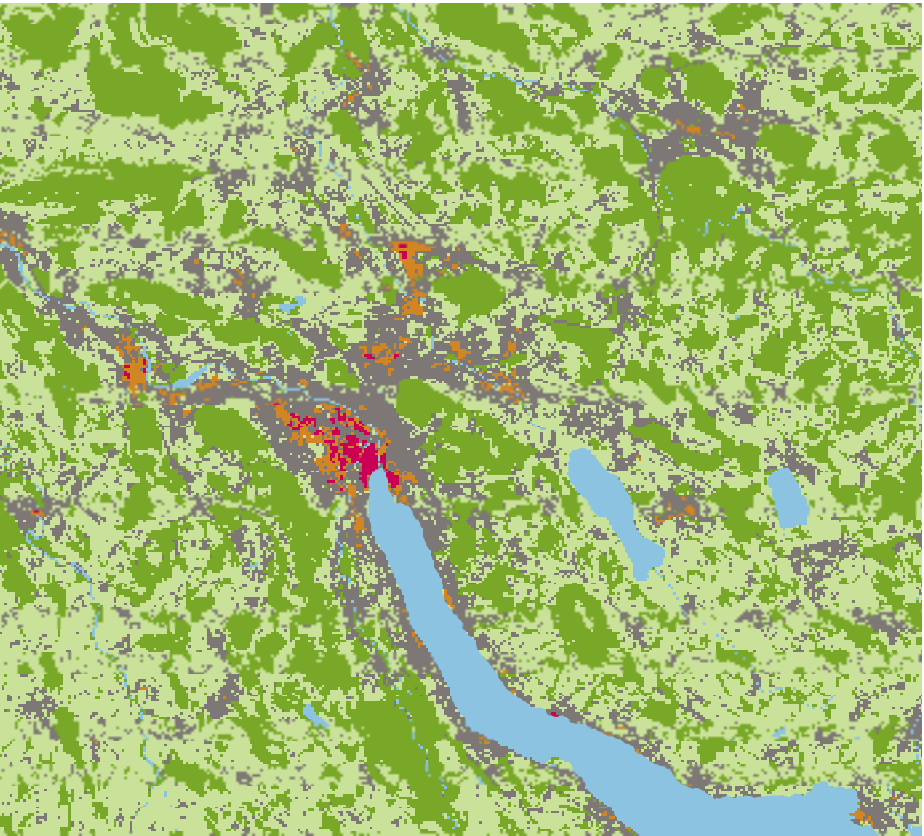
Die räumliche Kombination der Wärmebelastung mit den Freiräumen (Figur 14) bestätigt den Zusammenhang des Wärmeinseleffekts mit dem geringen Anteil an grünen und blauen Freiräumen respektive mit einem hohen Versiegelungsgrad. Gleichzeitig zeigt sich die grosse Bedeutung von blauen und insbesondere grünen Freiräumen wie Wald und vegetationsbestandenen Flächen, die wichtige Kaltluftproduzenten sind und so der Wärmebelastung entgegenwirken.

Die Kombination von Wärmebelastung und Gebäudevolumen (Figur 15) zeigt, dass der städtische Wärmeinseleffekt besonders in Gebieten mit einer hohen Versiegelungsrate und einem grossen Gebäudevolumen auftritt. Es wird ersichtlich, dass insbesondere die Gebäude bzw. die sich in den Gebäuden aufhaltenden Personen in der Innenstadt von Zürich von der Wärmebelastung betroffen sind. Doch auch in anderen Gemeinden im Grossraum Zürich ist bereits heute eine erhöhte Wärmebelastung sichtbar, insbesondere entlang dem Glatt- und Limmattal und in den Städten Winterthur und Uster.

Kombination der Wärmebelastung mit den Freiräumen

Figur 14: Kombination des grünen, blauen und grauen Freiraums und der Wärmebelastung.

- Wald
- vegetationsbestandene Freifläche
- Gewässer
- versiegelte/bebaute Fläche
- Wärmebelastung: je dunkler, desto grösser

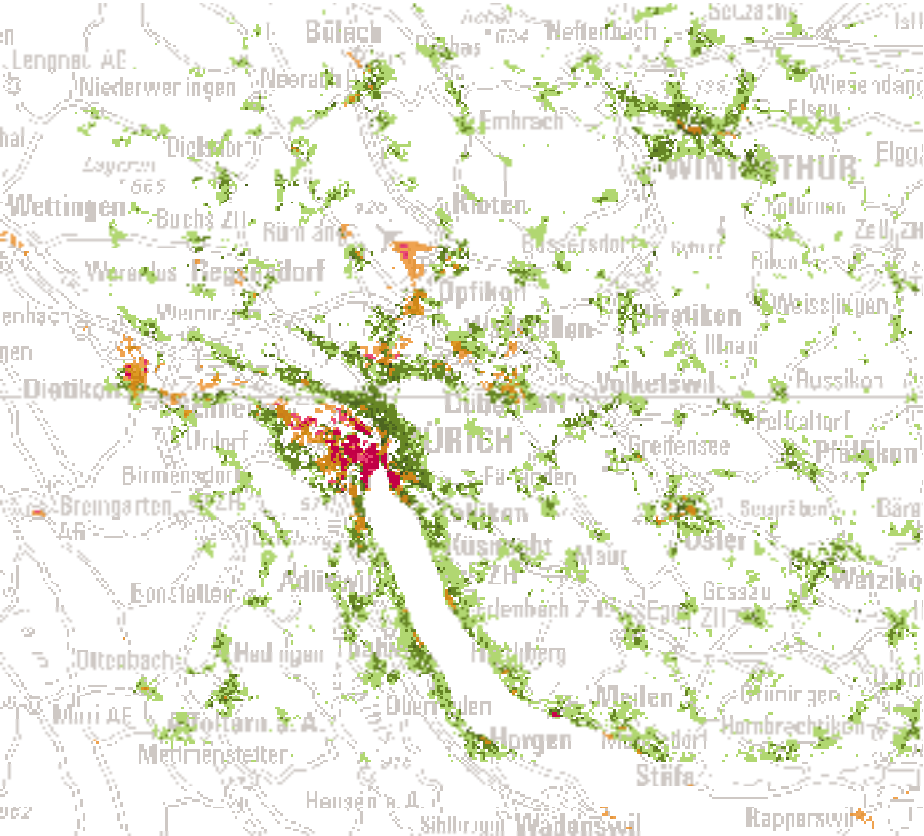


Quelle: Stadt Zürich 2012c

Kombination der Wärmebelastung mit dem Gebäudevolumen

Figur 15: Kombination der Wärmebelastung und des Gebäudevolumens (Summe des Gebäudevolumens in der Hektare [in m³]).

- Wärmebelastung: je dunkler, desto grösser
- Gebäudevolumen: je dunkler, desto grösser



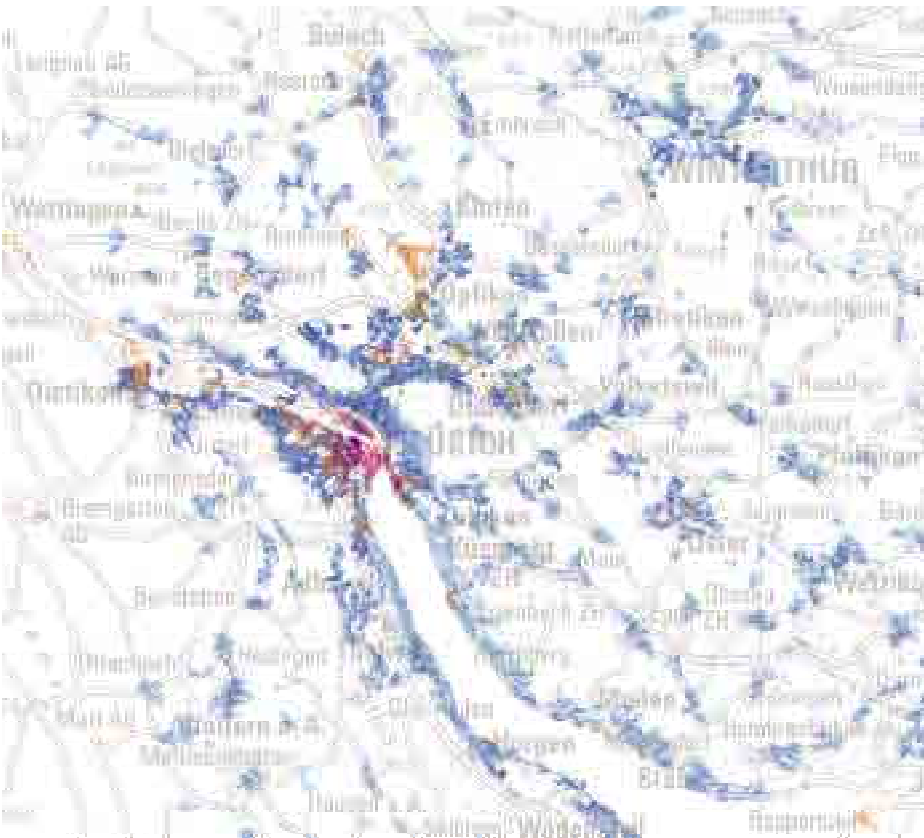
Quelle: Kanton Zürich 2012d

Im Zusammenhang mit dem Bereich Gesundheit wird in Figur 16 die Kombination der heutigen Wärmebelastung mit der Bevölkerungsdichte betrachtet. Daraus wird ersichtlich, dass in den Gemeinden des Glatt- und des Limmattals sowie in den Städten Zürich, Winterthur und Uster stellenweise heute bereits viele Leute von einer Wärmebelastung betroffen sind. Diese Situation droht sich durch den Klimawandel zusätzlich zu verschärfen. Hier zeigt sich ein grosser Handlungsbedarf, insbesondere bei den empfindlichsten Bevölkerungsgruppen (alte Menschen, Säuglinge und schwangere Frauen) in Pflege- und Altersheimen, Kinderkrippen und weiteren Betreuungsangeboten sowie bei der Spitex in den betroffenen Gebieten.

Kombination der Bevölkerungsdichte mit der Wärmebelastung

Figur 16: Kombination der Bevölkerungsdichte und der Wärmebelastung.

- Bevölkerungsdichte: je dunkler, desto grösser
- Wärmebelastung: je dunkler, desto grösser



Quelle: Kanton Zürich 2012d; Stadt Zürich 2012c

4.2.4 Zunahme Durchschnittstemperatur

Wie im Kapitel 2.1 gezeigt konnte in der Vergangenheit für die ganze Schweiz eine Zunahme der mittleren Temperatur beobachtet werden. Gleichzeitig prognostizieren die Klimamodelle eine weitere Zunahme der Durchschnittstemperaturen. Diese wird auch im Grossraum Zürich Auswirkungen haben, lässt sich aber räumlich nicht nach unterschiedlichen Ausprägungen lokalisieren.

Da die kontinuierliche Zunahme der Durchschnittstemperatur nicht lokalisiert werden kann, gilt der Handlungsbedarf in den Bereichen Freiraum und Gesundheit für den gesamten Grossraum Zürich.

4.3 Synthese

Zusammenfassend zeigt sich, dass die relevantesten, durch den Klimawandel bedingten Auswirkungen auf die drei Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit im Grossraum Zürich aufgrund nachfolgender Gefahren und Effekte erwartet werden. In Bezug auf die vielfältigen Auswirkungen dieser Gefahren und Effekte (vgl. Kapitel 4.1) auf die drei Bereiche besteht grundsätzlich grosser Handlungsbedarf.

Gefahren und Effekte, die Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf verursachen

	Freiraum	Gebäude	Gesundheit
Zunahme von Hochwasser bzw. Verlängerung der Hochwassersaison			
Zunehmendes Risiko von Trockenperioden und Dürren im Sommer			
Zunahme von Hitzewellen in ihrer Frequenz, Intensität und Dauer im Sommer			
Zunehmende Durchschnittstemperatur in allen Jahreszeiten			

Tabelle 3: Die Punkte zeigen, welche Gefahren und Effekte im Grossraum Zürich Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf in den drei Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit verursachen.

- räumliche Lokalisierung/ Differenzierung möglich
- ganzer Grossraum in gleichem Ausmass betroffen

Für Hochwasser und Hitzewellen ist eine geografische Lokalisierung der betroffenen Gebiete basierend auf heutigem Datenmaterial möglich (vgl. Kapitel 4.2). Inwiefern sich die heutige Gefahrenzone für Hochwasser in Zukunft unter dem Klimawandel verschieben wird, kann im Rahmen der vorliegenden Studie nicht abgeschätzt werden. Betreffend Wärmebelastung gehen wir davon aus, dass sich heutige Bereiche mit hoher Wärmebelastung zukünftig nicht grundlegend verschieben, sich aber je nach Intensität und Dauer der Hitzewelle zumindest temporär ausbreiten werden.

Im Gegensatz zu Hochwasser und Hitzewellen lassen sich die von Trockenperioden und zunehmender Durchschnittstemperatur betroffenen Gebiete nicht räumlich lokalisieren. Diese Gefahren werden den ganzen Grossraum Zürich in gleichem Ausmass betreffen.

Schliesslich gilt es festzuhalten, dass die zukünftigen Auswirkungen aller Gefahren und Effekte nicht nur durch den Klimawandel, sondern auch durch die sozioökonomische Entwicklung (vgl. Kasten auf S. 18) beeinflusst und dadurch verstärkt werden können.

Für eine Auswahl der zahlreichen Auswirkungen von Hochwasser, Trockenperioden, Hitzewellen und zunehmender Durchschnittstemperatur werden in der Folge (Kapitel 5) Anpassungsmassnahmen identifiziert und beurteilt.



*Wie sich
Stürme und Orkane
entwickeln werden, ist unklar.
Trotzdem gehen wir davon aus,
dass die Auswirkungen zukünftig
zunehmen werden. Grund dafür
sind die sozioökonomischen
Entwicklungen.*

5 Ermittlung und Beurteilung von Anpassungs- massnahmen für den Grossraum Zürich

Auf den Punkt gebracht. Etliche der vorgeschlagenen Massnahmen, wie z.B. Ausbildung von Baufachleuten oder Warndienst bei Hitzewellen, können in allen Nachhaltigkeitsdimensionen (Gesellschaft, Umwelt, Volkswirtschaft) positiv beurteilt werden. Bei einigen Anpassungsmassnahmen, wie z.B. Freihaltung bestehender Freiräume oder gesetzliche Vorgaben im Baubereich, ist jedoch die volkswirtschaftliche Dimension zum jetzigen Zeitpunkt neutral bis kritisch zu beurteilen. Eine vertiefte Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen ist nach der Konkretisierung dieser Massnahmen angebracht.

Für ausgewählte Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf (vgl. Kapitel 4) werden im Folgenden Anpassungsmassnahmen identifiziert, beschrieben und beurteilt.

Da das Spektrum an Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf relativ breit ist, wurde für die Ermittlung von Anpassungsmassnahmen auf ausgewählte Auswirkungen pro Bereich (Freiraum, Gebäude, Gesundheit) fokussiert. Diese Fokussierung hat zum Ziel, die Anpassungsmassnahmen und ihre Beurteilung auf eine möglichst konkrete Ebene zu bringen. Die nachfolgende Grafik zeigt, wo pro Bereich grosser Handlungsbedarf besteht (grüne Punkte) und für welche ausgewählten Auswirkungen welche Anpassungsmassnahmen in den nachfolgenden Kapiteln vertieft analysiert und diskutiert werden.

Wichtig ist zu bemerken, dass die ausgewählten Auswirkungen tatsächlich eine Auswahl darstellen und somit nicht umfassend sind. Die Identifikation von Anpassungsmassnahmen bezüglich weiterer Auswirkungen sowie die Beurteilung und Diskussion weiterer Anpassungsmassnahmen finden sich in der ungekürzten Fassung der Studie (econcept 2013).

Die Identifikation und Beschreibung möglicher Anpassungsmassnahmen erfolgte mittels einer Analyse der verfügbaren nationalen und internationalen Literatur sowie in Gesprächen mit fachkundigen Personen. An einem Workshop (Expertinnen- und Experten-Workshop 2013) wurden die so ermittelten Anpassungsmassnahmen durch die anwesenden Expertinnen und Experten in drei Fachgruppen (Gebäude, Gesundheit und Freiraum) diskutiert, ergänzt und validiert. Das resultierende Set von Massnahmen wurde anschliessend von den anwesenden Expertinnen und Experten anhand der Kriterien «Risikoreduktion», «Kosten/Nutzen» und «Umsetzbarkeit» grob beurteilt. Diese erste Einschätzung bildete die Grundlage für die im Projektteam getroffene Auswahl der nachfolgend vertieft analysierten Anpassungsmassnahmen.

Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf und Anpassungsmassnahmen

	Freiraum	Gebäude	Gesundheit
Zunahme von Hochwasser bzw. Verlängerung der Hochwassersaison	●	3	
Zunehmendes Risiko von Trockenperioden und Dürren im Sommer	●		
Zunahme von Hitzewellen in ihrer Frequenz, Intensität und Dauer im Sommer	1	4	5
Zunehmende Durchschnittstemperatur in allen Jahreszeiten	2		6

Vertieft analysierte Auswirkungen und Massnahmen

(1 – 6 in Bezug auf Tabelle oben)

Freiraum	Gebäude	Gesundheit
1 Auswirkung: Zunehmende Nutzung von grünen und blauen Freiräumen ↓ Massnahme: Freihaltung bestehender Freiräume (Kapitel 5.1)	3 Auswirkung: Schäden an Gebäuden (vgl. econcept 2013)	5 Auswirkung: Direkte gesundheitliche Auswirkungen auf betroffene Personen ↓ Massnahme: Warndienst, Notfallplanung, Information und Sensibilisierung (Kapitel 5.3)
2 Auswirkung: Veränderte Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere ↓ Massnahme: Umbau und Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern (Kapitel 5.4)	4 Auswirkung: Erhöhte Raumtemperatur und Zunahme Kühlbedarf im Sommer ↓ Massnahme: Gesetzliche Vorgaben und Ausbildung im Baubereich (Kapitel 5.2)	6 Auswirkung: Längere Pollensaison und neue Allergene (vgl. econcept 2013)

Figur 17: Übersicht der ausgewählten Auswirkungen und Anpassungsmassnahmen (dunkelbeige Felder), die in den nachfolgenden Kapiteln diskutiert werden. Die Identifikation von Anpassungsmassnahmen zu weiteren Auswirkungen (hellbeige Felder) sowie die Beurteilung weiterer Anpassungsmassnahmen finden sich in der ungekürzten Fassung der Studie (econcept 2013).

5.1 Freihaltung bestehender Freiräume

Die erwartete Zunahme von Frequenz, Intensität und Dauer von Hitzewellen führt dazu, dass die Bedeutung von blauen und grünen Freiräumen innerhalb des Grossraums Zürich zunehmen wird.

Natürliche oder naturnahe Freiräume sind wichtige Kaltluftproduzenten und bilden somit ein Gegengewicht zum Wärmeinseleffekt, der entsteht, wenn die Sonneneinstrahlung durch versiegelte Flächen (Strassen, Gebäude) absorbiert und als Hitze wieder abgestrahlt wird. Versiegelte Flächen verhindern zudem die Speicherung von Wasser, das an besonders heissen Tagen durch Verdunstung die Lufttemperatur zu reduzieren vermag. Eine geeignete Anordnung von Freiräumen führt zusätzlich dazu, dass die Zufuhr von kühlerer Luft in die städtischen Gebiete nicht unterbrochen wird. Letztlich dienen sowohl blaue als auch grüne Freiräume der Bevölkerung als wichtige Erholungsräume an Hitzetagen. Um den negativen Auswirkungen der Klimaerwärmung in diesem Kontext entgegenzuwirken, sind beispielsweise folgende Anpassungsmassnahmen möglich:

- Freihaltung bestehender Freiräume, d.h. bestehende Wasser-, Wald-, Grün- und Parkflächen von Bebauung frei halten.
- Klimagerechte Gestaltung der Grünflächen, beispielsweise keine Begrenzung durch dichte Randbepflanzungen oder Mauern, Grünflächen höher legen als Umgebung, Einbau von Wasserelementen.
- Durchgrünung von grauen Freiräumen und Gebäuden verbessern, beispielsweise durch Pflanzung von Strassenbäumen, Innenhofbepflanzungen, Dach- und Fassadenbegrünungen.
- Zusätzliche Schattenzonen in grünen Freiräumen schaffen.
- Informieren und Sensibilisieren der privaten Eigentümer/innen von grünem und blauem Freiraum über Anpassungsmassnahmen und Handlungsoptionen.
- Informieren und Sensibilisieren der Nutzer/innen des grünen und blauen Freiraums, z.B. über den korrekten Umgang mit Grünflächen.
- Wasserelemente neu erstellen bzw. der Bevölkerung neu zugänglich machen, beispielsweise Bäche, Flüsse, Seen und Brunnen.

Die Auflistung (Reihenfolge entspricht der Priorisierung durch Expertinnen und Experten am Workshop) zeigt, dass insbesondere die öffentliche Hand einerseits als gesetzgebende Behörde und andererseits aber auch als Eigentümerin von Freiräumen gefordert ist, geeignete Massnahmen zu ergreifen. In zweiter Linie sind auch private Eigentümer/innen von Freiräumen (z.B. Parkanlagen) und die Freiraumnutzer/innen angesprochen. Sowohl in der Literatur als auch am Expertinnen- und Experten-Workshop wurde die Freihaltung bestehender Freiräume als eine sehr wichtige Anpassungsmassnahme bezeichnet. Aus diesem Grund wird diese Massnahme im Folgenden vertieft analysiert (für weitere Informationen siehe econcept 2013).

Da die bestehenden Wasser- und Waldflächen durch gesetzliche Grundlagen (z.B. Waldgesetz, Wasserbaugesetz) in ihrem Ausmass weitgehend geschützt sind, konzentriert sich die Analyse auf den Schutz der grünen Freiräume. Um die bestehen-

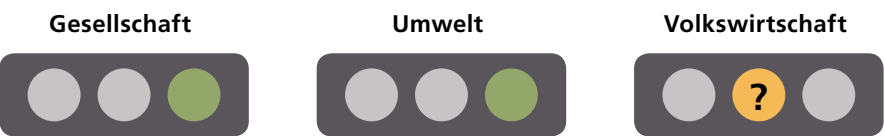
den Grün- und Parkflächen von Bebauung frei zu halten, ist eine Vielzahl von konkreten Eingriffsmöglichkeiten denkbar. Gemäss kantonalem Richtplan sind für die Erholungsplanung innerhalb des Siedlungsgebietes in erster Linie die Gemeinden zuständig, während die Erholung ausserhalb des Siedlungsgebietes fast ausnahmslos in Gebieten stattfindet, die von kantonalen Nutzungszonen erfasst werden. Somit würde die Massnahme Anpassungen des kantonalen Richtplans, gegebenenfalls des Bau- und Planungsgesetzes (PBG), sowie der kommunalen Bau- und Zonenordnungen (BZO) erfordern. Beispiele solcher regulatorischer Eingriffe wären die Einführung einer Unterbauungsziffer, der Schutz des «urbanen» Baumbestandes, die Festlegung eines maximalen Versiegelungsgrades für nicht überbaute Flächen, die Definition von Bebauungsgrenzen am Stadtrand sowie der Schutz innerstädtischer Freiräume.

Einige Elemente werden teilweise im Untersuchungsperimeter bereits umgesetzt. So definiert beispielsweise die Stadt Zürich klare Erholungs- und Freihaltezonen und setzt sich das Ziel, pro Einwohnerin und Einwohner 8 m² und pro beschäftigte Person 5 m² öffentlich zugängliche und nutzbare Freiraumflächen zur Verfügung zu stellen. Auch die Stadt Winterthur definiert bereits heute eine Freiraumplanung. Ebenfalls enthält der kantonale Richtplan Angaben zu Freihalte- und Erholungsgebieten. Diese Massnahmen sind jedoch im Wesentlichen nicht in Bezug auf den Klimawandel konzipiert und müssen gegebenenfalls angepasst werden.

Die Freihaltung von bestehenden Freiräumen respektive die Einschränkung der Überbauung und Versiegelung von Flächen führen zu Interessenskonflikten und zu Umverteilungseffekten. Freiflächen, die heute noch überbaut werden können, werden an Wert verlieren, sollte eine Überbauung in Zukunft nicht mehr möglich sein. Zudem führt die Einschränkung der Nutzungsmöglichkeiten zu Opportunitätskosten, sowohl bei den Unternehmen als auch bei der Bevölkerung des Grossraums Zürich. Angesichts der hohen Zahlungsbereitschaft für Flächen sind diese Effekte keineswegs marginal: Für Wohnflächen beispielsweise beträgt die Zahlungsbereitschaft für einen zusätzlichen Quadratmeter über 300 Franken pro Jahr (vgl. Avenir Suisse 2013). Auf der anderen Seite können die bereits bestehenden überbauten Flächen tendenziell an Wert gewinnen, da weniger neue Flächen erschlossen werden. Der Nutzen der Anpassungsmassnahme betrifft einen grossen Teil der Bevölkerung und der Beschäftigten, insbesondere in den stark hitzebetroffenen urbanen Gebieten. Indirekt könnten auch die Unternehmen positiven Effekten ausgesetzt sein; denkbar sind eine höhere Standortattraktivität oder eine bessere Arbeitsproduktivität der Mitarbeitenden.

Die Effekte der Anpassungsmassnahme lassen sich zurzeit nur sehr allgemein diskutieren, da sie stark von der konkreten Ausgestaltung der Massnahme abhängig sind. Entscheidend dabei sind insbesondere zwei Punkte: Einerseits ist es die Frage, inwiefern das Gesamtangebot an überbauten Flächen beeinflusst wird, und andererseits die Frage, ob nur jene Freiräume geschützt werden, die einen besonders relevanten Einfluss auf die lokale Temperatur haben (z.B. bestehende Freiräume in Innenstädten, einzelne Kaltluftschneisen). Werden Bebauungseinschränkungen nur lokal angewendet und/oder mit neuen Einzonungen an anderen Stellen kompensiert, sind die negativen Auswirkungen der Massnahme kleiner.

Die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführte Nachhaltigkeitsbeurteilung (vgl. Kasten auf S. 57) der Anpassungsmassnahme «Freihaltung bestehender Freiräume» zeigt zusammenfassend folgendes Bild:



Die positive Beurteilung aus gesellschaftlicher Sicht lässt sich durch die Effekte von Freiräumen auf das Wohlbefinden und die Gesundheit sowie durch die Erhaltung von Handlungsspielräumen für zukünftige Generationen erklären. Durch den Erhalt von Freiräumen können die heutige Artenvielfalt sowie Naturräume und ihre Qualität geschützt werden, was auch in der Dimension Umwelt eine positive Beurteilung rechtfertigt. Die negativen und positiven volkswirtschaftlichen Auswirkungen sind im Wesentlichen von der konkreten Ausgestaltung der Massnahme abhängig, und daher lässt sich zurzeit nur eine grobe Beurteilung der Dimension Volkswirtschaft vornehmen. Diese zeigt eine neutrale Beurteilung, jedoch mit einer grossen Unsicherheit, wie im Folgenden erläutert wird.

Die Menge der heute bereits frei gehaltenen Flächen ist das Resultat der derzeitigen (gesellschaftlichen) Kosten und Nutzen der Freihaltung dieser Flächen. Laufende Entwicklungen wie Bevölkerungswachstum, Arbeitsplatzwachstum und die Verkleinerung der durchschnittlichen Haushaltsgrössen führen tendenziell dazu, dass die Opportunitätskosten der Freihaltung in Zukunft steigen. Gleiches gilt, durch die erwarteten Klimaeffekte, auch für die Nutzen der Freihaltung. Die volkswirtschaftliche Beurteilung ist demnach auch davon abhängig, welcher der beiden gegenläufigen Effekte zukünftig stärker ist. Neben der Konkretisierung der Massnahme sind zur volkswirtschaftlichen Beurteilung somit Annahmen zu den möglichen alternativen Nutzungen der Freiräume, zur Anzahl der lokal betroffenen Personen und zum Ausmass und zum Nutzen der lokalen Temperatursenkung notwendig. Diese Annahmen können realistischerweise nur in Fallbeispielen gemacht werden. In einer deutschen Studie wurde dies durchgespielt: Die Autoren der Fallstudie (UBA 2012) gehen davon aus, dass die Freihaltung einer Frischluftschneise im Raum Stuttgart zu einem Nutzen-Kosten-Verhältnis von 0,6: 1 bis 1,2: 1 führt. Dies bedeutet, dass die Nutzen kleiner (0,6) oder grösser (1,2) als die Kosten sein können. Auch wenn eine Generalisierung dieser Fallstudie nicht direkt möglich ist, bekräftigt sie doch die Einschätzung der Nachhaltigkeitsbeurteilung.

5.2 Gesetzliche Vorgaben und Ausbildung im Baubereich

Die aufgrund des Klimawandels erwartete Zunahme von Hitzewellen führt dazu, dass höhere Raumtemperaturen zu erwarten sind und dass der Kühlbedarf im Sommer zunehmen wird.

Gebäude sind bezüglich ihrer thermischen Eigenschaften relativ träge. Das heisst, dass selbst an sehr heissen Tagen im Sommer die Gebäude resp. die Baumaterialien einen kühlenden Effekt ausüben. Hitzewellen sind deshalb ein Problem, weil über eine längere Zeit sehr hohe Aussentemperaturen erreicht werden und so die natürliche Ausgleichsfunktion der Gebäude nicht mehr ausreichend spielt. Dies gilt insbesondere dann, wenn auch nachts hohe Temperaturen gemessen werden und so die thermische Erholung der Gebäude stark eingeschränkt ist. Temperaturen von über 28° C tagsüber resp. 20° C nachts führen selbst bei Gebäuden mit gutem Sonnenschutz und hoher thermischer Masse zu unbehaglichen Raumtemperaturen (vgl. BFE 2007). Um den negativen Auswirkungen von zu hohen Raumtemperaturen entgegenzuwirken, müssen die Gebäude in Zukunft stärker gekühlt werden. Das Bundesamt für Energie geht in einem «business as usual» Szenario davon aus, dass durch den Klimawandel der Energiebedarf für Gebäudekühlung von heute rund 1 TWh/Jahr auf rund 3 TWh im Jahr 2035 ansteigen wird (BFE 2007).

Um der klimabedingten Zunahme der Raumtemperatur und des Kühlbedarfs im Sommer entgegenzuwirken, wurden folgende Anpassungsmassnahmen identifiziert, die hauptsächlich durch die öffentliche Hand respektive durch Normierungsorganisationen umgesetzt werden müssten:

- Bessere Ausbildung von Baufachleuten in Bezug auf klimaangepasstes Bauen.
- Gesetzliche Vorgaben und Regelungen zu klimaangepasstem Bauen.
- Anpassung von Normen und Empfehlungen bezüglich klimaangepassten Bauens.
- Information/Leitfaden für Gebäudeeigentümer/innen zu klimaangepasstem Bauen.
- Information für Nutzer/innen zum optimalen Verhalten in Gebäuden insbesondere während der Sommermonate und bei erhöhten Aussentemperaturen.

Die Eigentümer/innen von Gebäuden sind ebenfalls gefordert, direkt oder aufgrund veränderter Bestimmungen Massnahmen zu ergreifen. Konkret wurden hierfür folgende Massnahmen identifiziert:

- Passive Massnahmen am Gebäude, beispielsweise Art, Grösse und Ausrichtung der Fenster anpassen, Sonnenschutz, Dämmung, Fassaden- und Dachbegrünung.
- Reduktion von Wärmequellen im Gebäudeinnern, beispielsweise durch energieeffiziente Geräte und Beleuchtungen, bedarfsgerechten Betrieb und Tageslichtnutzung.
- Kühlung der Innenräume, beispielsweise durch Wärmepumpen, aktive Kühlsysteme oder eine effiziente Nachtlüftung.
- Erstellen von Gebäuden mit klimaangepasster Raum- und Fassadengeometrie.
- Hinzufügen von landschaftsarchitektonischen Elementen rund um die Gebäude, wie beispielsweise Pflanzen von Bäumen, Anlegen von Grünflächen und Wasseranlagen.

Die Reihenfolge der Auflistung zeigt die Priorisierung aufgrund der Einschätzung der Expertinnen und Experten am Workshop. Welche konkreten Anpassungsmassnahmen für ein bestimmtes Gebäude optimal sind, lässt sich nicht allgemein festlegen. Je

nachdem, ob es sich um einen Neu- oder Altbau, um ein Büro- oder Wohngebäude handelt und in welchem Zustand die bestehende Bausubstanz ist, variieren die Vor- und Nachteile der einzelnen Massnahmen stark. Aus diesem Grund konzentriert sich die Diskussion auf die Massnahmen des ersten Blockes für die öffentliche Hand. Es werden nachfolgend die Massnahmen bezüglich der gesetzlichen Vorgaben und Regelungen sowie der Ausbildung von Baufachleuten vertieft analysiert (weitere Informationen sind in econcept 2013 zu finden).

Gesetzliche Vorgaben und Regelungen bezüglich klimaangepassten Bauens

Anhand gesetzlicher Vorgaben und Regelungen bezüglich klimaangepassten Bauens soll, ähnlich wie seit einigen Jahren im Energiebereich, sichergestellt werden, dass bei neuen Gebäuden und Gebäudesanierungen der aktuelle Stand des Wissens bezüglich klimaangepassten Bauens angewendet wird. Mit der Massnahme wird sichergestellt, dass die Gebäude auch während längerer Hitzeperioden möglichst optimal funktionieren und dass eine behagliche Raumtemperatur nicht hauptsächlich mittels aktiver Kühlung sichergestellt werden muss. Eine mögliche Ausgestaltung der Massnahme könnte aus folgenden Elementen bestehen: verschärfte Anforderungen für Neubauten und Sanierungen (z.B. zwingender Nachweis Wärmeschutz und Sonnenschutz nach SIA 180 und schärfere Anforderungen bezüglich maximaler Innenlasten nach SIA 382/1) sowie die Einführung weiterer gesetzlicher und normativen Anpassungen aus dem Bericht «Bauen, wenn das Klima wärmer wird» (BFE 2007), beispielsweise die Änderung des berechnungsrelevanten Sommertemperaturprofils oder Mindestanforderungen für elektrische Geräte.

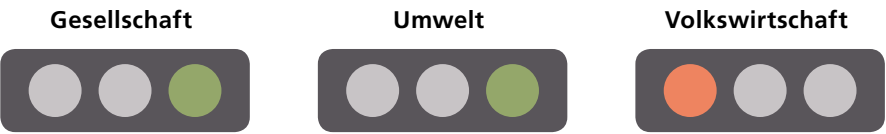
Es existieren bereits verschiedene gesetzliche Vorschriften, Normen und Empfehlungen betreffend Wärmeschutz von Gebäuden. Diese sind aber noch ungenügend an die zu erwartenden Klimaveränderungen angepasst resp. die Umsetzung der Empfehlungen basiert zurzeit nur auf Freiwilligkeit.

Für die Umsetzung und den Vollzug der Massnahme wären in erster Linie die Kantone resp. die Gemeinden zuständig. In zweiter Linie würde die Massnahme auch auf Organisationen wie die SIA wirken, die möglicherweise Normen anpassen müssten.

Die Massnahme hat Auswirkungen sowohl auf die Investitionskosten als auch auf die Betriebskosten von Gebäuden. Die Investitionskosten im Baubereich werden durch die Massnahme tendenziell zunehmen, die Energiekosten für aktive Kühlsysteme und somit die Betriebskosten der Gebäude werden tendenziell abnehmen. Bestehende Untersuchungen (z.B. BFE 2007) weisen darauf hin, dass die Umsetzung von klimaangepasstem Bauen durch betriebswirtschaftlich rentable Massnahmen möglich ist. Diese Aussage ist naturgemäss mit einer grossen Unsicherheit behaftet, insbesondere da sie stark vom Strompreis abhängig ist. Dieser wird gemäss den aktuellen Szenarien (vgl. Energiestrategie der Schweiz 2050) in Zukunft zwar durchschnittlich steigen. Der vermehrte Einsatz von Photovoltaik könnte aber dazu führen, dass gerade an den heissesten Tagen ein Elektrizitätsüberschuss produziert wird und der Strompreis dadurch während dieser Zeit im Vergleich zu heute weniger stark steigt oder sogar sinkt.

Für die Beurteilung der Massnahme wird angenommen, dass die klimabedingte Erhöhung der Raumtemperatur im Sommer von den Gebäudenutzenden nicht einfach hingenommen wird, sondern dass auch ohne die vorgeschlagene Anpassungsmassnahme Gegenmassnahmen umgesetzt werden (z.B. aktive Kühlung mittels zusätzlich eingebauter Klimaanlage oder situativ aufgestellter Ventilatoren). Somit sind die direkten Auswirkungen höherer Raumtemperaturen nicht Teil der Beurteilung.

Die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführte Nachhaltigkeitsbeurteilung (vgl. Kasten auf S. 57) zeigt für die Anpassungsmassnahme «Gesetzliche Vorgaben und Regelungen bezüglich klimaangepassten Bauens» zusammenfassend folgendes Bild:



Die Massnahme führt zu einer Verbesserung des Wohlbefindens der Gebäudenutzer/innen (weniger Belastungen durch Zugluft und Lärmemissionen, weniger starke Temperaturschwankungen). Durch die Gesetze und Regelungen werden die Gebäude vermehrt durch bauliche Massnahmen passiv statt aktiv gekühlt. Dadurch sinkt der Energieverbrauch von Gebäuden, was sich positiv auf die Umwelt auswirkt.

Gemäss bestehenden Untersuchungen und Expertinnen- und Experten-Meinungen halten sich die betriebswirtschaftlichen Kosten und Nutzen von klimaangepasstem Bauen etwa die Waage. Die Baubranche ist durch die Massnahme gefordert (Anpassung an neue Vorschriften), hat aber auch die Chance, das klimaangepasste Bauen als neuen Geschäftsbereich zu etablieren. Der Vollzug der Massnahme ist mehrheitlich Aufgabe der öffentlichen Hand und führt zu Mehrausgaben sowohl bei den Baugesuchstellern und Baugesuchstellerinnen als auch bei den Baubehörden. Wahrscheinlich wäre eine Mehrheit der Baugesuche im Untersuchungsperimeter (ca. 7'000 Baugesuche pro Jahr) von diesen Mehrkosten betroffen. Zusätzlich stellt sich aus regulatorischer Sicht die Frage, ob eine Verschärfung von Gesetzen und Normen überhaupt berechtigt ist, wenn die anvisierten Massnahmen aus betriebswirtschaftlicher Optik keine Mehrkosten verursachen resp. wenn die Gebäudenutzer/innen für den zusätzlichen Raumkomfort eine Zahlungsbereitschaft aufweisen. In diesem Fall läge einzig ein Informationsproblem vor, was keinen solchen regulatorischen Eingriff begründen kann.

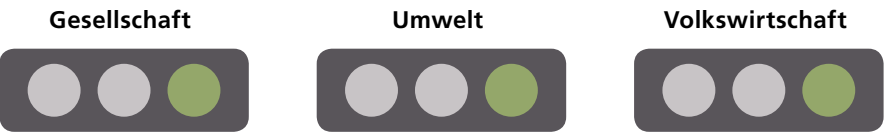
Die Kosten für den Vollzug der Massnahme einerseits und die zurzeit noch fragliche Begründung für einen regulatorischen Eingriff andererseits geben den Ausschlag für die aus volkswirtschaftlicher Sicht tendenziell negative Beurteilung. Diese ist aber stark von der konkreten Ausgestaltung der Massnahme abhängig und könnte je nach Ausgestaltung revidiert oder bestätigt werden. Bei der Umsetzung der Massnahme ist somit ein besonderes Augenmerk auf die volkswirtschaftlichen Auswirkungen zu richten, und diese sind beispielsweise auf Basis eines konkreten Gesetzesentwurfs erneut zu überprüfen.

Bessere Ausbildung von Baufachleuten in Bezug auf klimaangepasstes Bauen

Im Gegensatz zur vorgängig diskutierten Massnahme setzt die Verbesserung der Ausbildung von Baufachleuten direkt beim Informationsproblem an. Die Expertinnen und Experten am Workshop waren sich grossmehrheitlich einig, dass im Bereich klimaangepasstes Bauen viele technische Lösungen bereits bestehen und auch ökonomisch umgesetzt werden könnten. Als wesentliches Hemmnis für ein klimaangepasstes Bauen wurde jedoch die mangelnde Ausbildung und Sensibilisierung der Baufachleute in dieser Thematik identifiziert. Dies habe zu Folge, dass selbst betriebswirtschaftlich rentable Massnahmen nicht umgesetzt würden.

Bereits heute werden Bauchfachleute in klimarelevanten Bereichen ausgebildet (Gebäudehülle, Kühlung, Lüftung, Heizung), eine spezifische Aus- und Weiterbildung fehlt jedoch in der Schweiz noch weitgehend. In Deutschland bestehen solche Angebote bereits. Die Anpassungsmassnahme besteht somit aus zwei Elementen: Ergänzung resp. Anpassung der bestehenden Lehrpläne für Baufachleute auf allen Stufen (Berufsschule, Fachhochschulen, Hochschulen) sowie Aufbau und Bekanntmachen eines entsprechenden Weiterbildungsangebotes für Baufachleute.

Die Nachhaltigkeitsbeurteilung der Massnahme «Bessere Ausbildung von Baufachleuten in Bezug auf klimaangepasstes Bauen» zeigt ebenfalls ein durchwegs positives Bild:



Die Effekte auf das Wohlbefinden, die Bildung und die Erhaltung von Handlungsspielräumen für zukünftige Generationen werden positiv bewertet und dadurch auch der gesamte Bereich Gesellschaft. Durch die Anwendung des neu erworbenen Wissens sinkt der Kühlbedarf von Gebäuden und damit auch der Energieverbrauch. Die Unternehmen profitieren vom Know-how der besser ausgebildeten Mitarbeiter/innen. Das neu geschaffene Weiterbildungsangebot kann durch Unternehmen bzw. die Mitarbeitenden auf freiwilliger Basis genutzt werden. Die Anpassung des Ausbildungsangebotes könnte im Rahmen des üblichen Überarbeitungsprozesses von Ausbildungsangeboten stattfinden, somit fallen tendenziell keine wesentlichen Mehrkosten an.

5.3 Warndienst, Notfallplanung, Information und Sensibilisierung bei Hitzewellen

Hitzewellen führen nicht nur zu einem unbehaglichen Raumklima, sondern können auch direkte Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen haben. Beispiele hierfür sind eine Zunahme von Herz-Kreislauf-Problemen, Hitzschlägen, Dehydrierung und bei sensiblen Personen wie älteren Menschen, Kranken und Kindern im schlimmsten Fall auch Todesfälle. Das bisher am besten untersuchte Ereignis in diesem Zusammenhang ist die Hitzewelle im Sommer 2003. Nach Schätzungen diverser Studien forderte die Hitzewelle 2003 europaweit rund 30'000 Tote und eine grosse Zahl von Personen mit gesundheitlichen Beschwerden.

Um den direkten gesundheitlichen Folgen von Hitzewellen entgegenzuwirken, wurden im Rahmen der vorliegenden Studie folgende Anpassungsmassnahmen identifiziert:

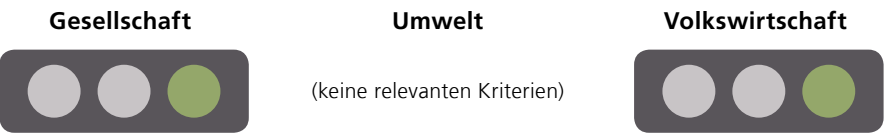
- Etablierung eines Warndienstes bei Hitzewellen, z.B. SMS-Alarm für Risikogruppen, Warndienste über Smartphone-Apps, Radioansagen und weitere Warndienste.
- Erarbeiten von Notfallplänen für Abläufe und Massnahmen während Hitzewellen. Dadurch wären die Behörden besser auf hitzebedingte Notfälle vorbereitet, was eine effizientere und effektivere Hilfe für die betroffenen Personen ermöglicht.
- Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen, beispielsweise durch breit angelegte Informationskampagnen oder gezielte Sensibilisierung von besonders gefährdeten Personengruppen.
- Verstärkte aktive und passive Kühlung in Altersheimen, Krankenhäusern, Schulhäusern und Kindertagesstätten.
- Planung und Umsetzung konkreter Massnahmen in Unternehmen, z.B. kurzfristige Bereitstellung von kühlem Wasser und Ventilatoren, Lockerung von Kleidervorschriften.
- Information und Sensibilisierung der Mitarbeitenden zu Verhalten bei Hitzewellen.
- Schaffung von öffentlich zugänglichen gekühlten Räumen.
- Saisonale Anpassung von Arbeitszeitmodellen.

Im Folgenden werden die Massnahmen *Etablierung eines Warndienstes bei Hitzewellen*, *Erarbeiten von Notfallplänen* und *Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen* zusammenfassend analysiert, da alle Massnahmen für die gleiche Auswirkung eingesetzt werden und auch sonst wesentliche Eigenschaften teilen.

Es fällt auf, dass für den Bereich «Gesundheitliche Auswirkungen durch Hitzewellen auf Personen» eher «weiche» Massnahmen identifiziert und priorisiert wurden. Diese Massnahmen zeichnen sich dadurch aus, dass die Umsetzung relativ unkompliziert ist und auch wenig kostet. Falls mit solchen Anpassungsmassnahmen die gewünschten Effekte erzielt werden können, sind sie sehr attraktiv, da das (gesellschaftliche) Kosten-Nutzen-Verhältnis aufgrund der tiefen Kosten sehr positiv ist. In diesem Zusammenhang kann hier von «low-hanging fruits» gesprochen werden.

Alle drei Massnahmen werden schon heute teilweise umgesetzt: So bestehen bereits verschiedene Warndienste bei Hitzewellen (z.B. in den Kantonen VD/GE für Risikogruppen, über die Smartphone-App von MeteoSchweiz oder mittels Radioansagen in Zürcher Lokalradios). Notfallpläne bei Hitzewellen bestehen in Frankreich und im Kanton Genf, und in Zürich wurden bereits Erfahrungen mit Notfallplänen für Grossereignisse/Pandemien gemacht. Die Altersheime der Stadt Zürich wurden nach der Hitzewelle 2003 sensibilisiert und informiert. Das Bundesamt für Gesundheit hat ebenfalls bereits Erfahrungen mit Informations- und Sensibilisierungskampagnen zum Thema Hitzewelle (www.hitzewelle.ch).

Die Nachhaltigkeitsbeurteilung (vgl. Kasten auf S. 57) zeigt für die zwei Massnahmen «Warndienste» und «Information und Sensibilisierung» ein positives Bild:



Beide Massnahmen fördern im Falle einer Hitzewelle die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen und erhöhen tendenziell die gesellschaftliche Kohäsion und das Informationsniveau der Bevölkerung (gesellschaftliche Dimension). Der im Rahmen der vorliegenden Studie geschätzte gesamtwirtschaftliche Nutzen durch die Vermeidung von Todesfällen und Krankheitskosten übersteigt die relativ geringen Kosten für die Etablierung eines Warndienstes resp. für die Durchführung von Informations- und Sensibilisierungskampagnen um ein Vielfaches (vgl. econcept 2013). Diese Schätzungen sind relativ robust, da sie sich auf die bereits bestehenden Erfahrungen mit solchen Massnahmen stützen können. Auch in UBA (2012) werden z.T. massiv positive Kosten-Nutzen-Verhältnisse (80 : 1 bis 500 : 1 für Hitzewarnsysteme) ausgewiesen. Die Dimension Umwelt wurde hier nicht bewertet, da die Massnahmen keine direkten Auswirkungen auf die Umwelt haben.

Die Nachhaltigkeitsbeurteilung der «Notfallpläne» weist für die Dimensionen Umwelt und Gesellschaft das gleiche Ergebnis auf, im Gegensatz zu den anderen beiden Massnahmen wird die Dimension Volkswirtschaft jedoch neutral beurteilt: Die Nutzen der Massnahme lassen sich aufgrund fehlender Erfahrungen nicht eindeutig schätzen. Die Ausarbeitung und Umsetzung der Notfallpläne liegt in der Verantwortung der öffentlichen Hand. Die Kosten sind aber relativ gering. Basierend auf den Resultaten einer Untersuchung aus Deutschland (UBA 2012) betragen die Kosten umgerechnet auf den Untersuchungsperimeter in Zürich rund 0,25 Mio. Franken. Die Pläne müssen alle 10 Jahre aktualisiert werden, wobei etwa die Hälfte der Kosten anfällt.

5.4 Umbau und Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern

Die erwartete Zunahme der Durchschnittstemperaturen verändert zusammen mit anderen Auswirkungen des Klimawandels die Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere auch in den grünen Freiräumen. Damit der Freiraum seine Funktionen auch unter dem zu erwartenden Klimawandel erfüllen kann, sind Anpassungsmassnahmen notwendig. Betroffen von den Anpassungsmassnahmen sind in erster Linie die Eigentümer/innen der grünen Freiräume. Im Untersuchungsperimeter betrifft dies sowohl die öffentliche Hand als auch private Personen und Organisationen, da beispielsweise beim Wald rund ein Viertel der Fläche in Privatbesitz ist.

Um den Folgen der veränderten Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere im grünen Freiraum entgegenzuwirken, wurden folgende Anpassungsmassnahmen identifiziert:

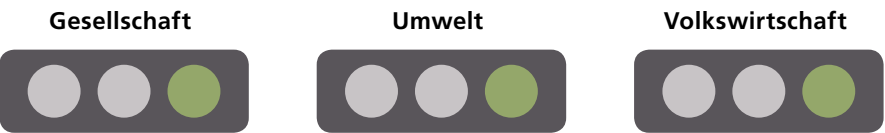
- Umbau und Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern.
- Standortverbesserung Strassenbäume: Einbau eines optimierten struktur- und verdichtungsstabilen Baumsubstrats.
- Stärkung der Widerstandsfähigkeit der Freiräume, beispielsweise durch den Erhalt wertvoller Lebensräume oder die Schaffung von Wanderungskorridoren.
- Gewinnung von Grundlagenwissen durch Forschung und Risikoanalyse.
- Verwendung von Bodenbedeckern zum Schutz der Böden vor Austrocknung.
- Bei Neuanpflanzungen: Auswahl von Arten, die mit dem veränderten Klima (wärmer und trockener im Sommer) umgehen können.
- Verbesserung des Monitorings zur Früherkennung von klimabedingten Veränderungen der Artenzusammensetzung.
- Sensibilisierungskampagne für private Eigentümer/innen von grünen Freiräumen über Auswirkungen und Anpassungsmassnahmen.
- Fördern der Stresstoleranz der Grünflächen durch klimaangepasste Pflege.

Die Reihenfolge der Auflistung zeigt wiederum die Priorisierung aufgrund der Einschätzung der Expertinnen und Experten am Workshop. Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf den Umbau und die Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern.

Die Massnahme besteht aus zwei Elementen: Verjüngung und Umbau. Die Verjüngung von Beständen soll die Widerstandskraft und die Anpassungsfähigkeit der Wälder sichern. Insbesondere Schutzwälder (die es auch im Grossraum Zürich gibt) mit kritischer Stabilität und ungenügender Verjüngung werden so in stabile, anpassungsfähige Bestände überführt. Zur beschleunigten Verjüngung sind mehrere Pflegeeingriffe beim den Wald notwendig. Darüber hinaus soll der Wald auch umgebaut werden, das heisst durch gesetzliche Anforderungen oder freiwillige Leitlinien soll sichergestellt werden, dass jene Baumarten gefördert werden, die die Risiken des Klimawandels reduzieren. So ist im Grossraum Zürich ein naturnaher Mischwald mit einem hohen Anteil an einheimischen Laubhölzern besser an höhere Temperaturen und Trockenheit angepasst als reine oder gemischte Nadelwälder.

Durch den Umbau und die Verjüngung der bestehenden Wälder wird die Widerstandskraft des Ökosystems Wald generell verbessert, und es wird sichergestellt, dass die nachgefragten Leistungen der Wälder auch langfristig erbracht werden können. Die Verbesserung der Widerstandskraft des Ökosystems Wald ist jedoch nicht nur aufgrund des Klimawandels angezeigt, sondern beispielsweise auch zur Förderung der Biodiversität im Wald. Bemühungen zur Verjüngung und zum Umbau des Waldes werden bereits heute auf verschiedenen Ebenen umgesetzt. Der Klimawandel ist somit auch eine weitere Motivation, diese Anstrengungen weiterzubringen.

Die Nachhaltigkeitsbeurteilung (vgl. Kasten auf S. 57) zeigt für die Massnahme «Umbau und Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern» folgendes Bild:



Die Beurteilung in der Dimension Gesellschaft ist positiv, weil durch den Umbau und die Verjüngung anpassungsfähige und widerstandsfähige Wälder entstehen, wodurch die Handlungsspielräume für zukünftige Generationen erhalten bleiben. Die Massnahme führt überdies zu einer Erhöhung der Biodiversität sowie zu einer grösseren Vielfalt der Naturräume, was die positive Beurteilung in der Dimension Umwelt massgeblich erklärt. Die Beurteilung der volkswirtschaftlichen Dimension ist etwas komplexer, da die Auswirkungen vielschichtig sind.

Besonders temperaturanfällige Fichten werden durch robustere Baumarten ersetzt, was den Rückgang von Holzernteerträgen teilweise verhindern kann. Fichtenholz kann jedoch durch die Holzverarbeitende Industrie nur teilweise resp. nur unter Schwierigkeiten durch andere Holzarten substituiert werden, insbesondere weil Prozesse und Maschinen auf Fichtenholz ausgerichtet sind. Trotzdem ist für die Industrie eine Substitution der Holzarten besser als der Wegfall der Fichtenholzerträge, ohne dass andere Arten vermehrt genutzt werden können.

Die ökologische Qualität des Waldes kann durch die Massnahme längerfristig gesichert werden. Dadurch bleibt die Ökosystemleistung «Erholungsnutzen des Waldes» für die Haushalte erhalten (vergleiche Exkurs auf S. 57). Eine grobe Schätzung des Wertes dieser Ökosystemleistung lässt sich für den Untersuchungsperimeter vornehmen und weist einen beachtlichen Nutzen aus (je nach Methode und Quelle zwischen 100 und 470 Mio. Franken pro Jahr, vgl. econcept 2013). Die Massnahme sichert zudem längerfristig die CO₂-Speicherung, die durch den Wald gewährleistet wird, und wirkt dem Wegfall von Schutzwäldern entgegen. Auch wenn diese Leistungen weniger klar monetarisiert werden können, ist anzunehmen, dass die Werte nicht unerheblich sind.

Auf der anderen Seite ist die Umsetzung der Massnahme relativ komplex, aufwendig und muss in mehreren Schritten durchgeführt werden. Dabei sind erhebliche Kosten für die Waldeigentümer/innen zu erwarten. Diese Kosten lassen sich basierend auf den verfügbaren Informationen nicht genau schätzen und isolieren. Aufgrund der vielfältigen und zum Teil beachtlichen Nutzen, die die Volkswirtschaft direkt oder indirekt über die Ökosystemleistung aus dem Wald bezieht, wird die Nachhaltigkeit auch in der volkswirtschaftlichen Dimension insgesamt positiv eingeschätzt.

Beurteilung von Anpassungsmassnahmen im Kontext des Klimawandels

Unterschiedliche Ansätze stehen zur Verfügung, um Anpassungsmassnahmen bezüglich des Klimawandels zu beurteilen. Ein gängiger Ansatz besteht darin, die Kosten und Nutzen in Geldeinheiten gegeneinander abzuwägen. Dabei werden in der Regel klassische Monetarisierungskonzepte wie «Cost-Benefit Analysis» oder «Benefit Transfer» angewendet, um diejenigen ökonomischen Effekte abzuschätzen, für die kein Marktpreis verfügbar ist (vgl. UBA 2012, UNFCCC 2011). Es zeigt sich jedoch, dass der Ansatz einer rein monetären Bewertung der Kosten und Nutzen im Zusammenhang mit Anpassungsmassnahmen relativ rasch an konzeptionelle und praktische Grenzen stösst und deshalb mit anderen Beurteilungsmethoden ergänzt werden sollte.

Für die angestrebte umfassende Bewertung der Anpassungsmassnahmen bietet sich das Konzept der Nachhaltigkeitsbewertung an. Dieses stellt eine ausgewogene Berücksichtigung verschiedener Zieldimensionen gesellschaftlichen Handelns sicher und ermöglicht dadurch eine transparente Begründung von Entscheidungen.

Die im Rahmen der vorliegenden Studie entwickelte Nachhaltigkeitsbeurteilung für Anpassungsmassnahmen basiert auf bestehenden Bewertungskonzepten, die im In- und Ausland für unterschiedliche Zwecke bereits verwendet werden. Die entwickelte Nachhaltigkeitsbeurteilung zeichnet sich bei der Beurteilung der einzelnen Indikatoren durch eine Methodenpluralität aus, d.h. es werden je nach Kriterium respektive Indikator unterschiedliche Datenquellen und Beurteilungskonzepte

(z.B. monetäre, physisch-quantitative, qualitative) verwendet. Eine ausführliche Beschreibung und Diskussion der Methodik findet sich in econcept 2013.

In der Bewertungsdimension Volkswirtschaft sind auch die Ökosystemleistungen enthalten. Das sind jene Leistungen der Ökosphäre, die einen klaren Wohlfahrtsbezug haben, also direkt oder indirekt von Menschen genutzt und wertgeschätzt werden. Dies entspricht der klassischen volkswirtschaftlichen Perspektive, die die Wohlfahrt in den Mittelpunkt der Betrachtungen stellt (vgl. econcept/BAFU 2011 und econcept/BAFU 2009).

Interpretation der Resultate und Grenzen der Bewertungsmethodik

Die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführten Beurteilungen entsprechen einer ersten Einschätzung der vorgeschlagenen Anpassungsmassnahmen und sind teilweise mit grossen Unsicherheiten behaftet. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass die identifizierten Anpassungsmassnahmen noch zu wenig detailliert ausgearbeitet sind, die ganz konkrete Ausgestaltung jedoch oft entscheidend ist für die (ungewollten) Auswirkungen. Bei der Umsetzung der Massnahmen muss somit im Einzelfall entschieden werden, ob die hier geschaffenen Entscheidungsgrundlagen genügend sind, oder ob weitere Abklärungen durchgeführt werden müssen. Bei umfassenden Veränderungen der regulatorischen Grundlagen ist die Durchführung einer vertieften Folgeabschätzung ohnehin vorgesehen.

*In Zukunft werden
Hitzewellen in ihrer Frequenz,
Intensität und Dauer insbesondere
im Sommer zunehmen, sodass
gegen Ende des Jahrhunderts jeder
zweite Sommer mindestens so
warm wird wie jener extreme
Sommer im Jahr 2003.*



6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Auf den Punkt gebracht. Der Klimawandel ist bereits heute spürbar und wird sich im Grossraum Zürich bis 2060 weiter verstärken. Darauf basierend führt die Studie zu folgenden Schlussfolgerungen:

6.1 Schlussfolgerungen

Hochwasser, Trockenheit, Hitzewellen und Durchschnittstemperatur werden im Grossraum Zürich aufgrund des Klimawandels zukünftig zunehmen. In allen drei untersuchten Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit werden bis ins Jahr 2060 zahlreiche Auswirkungen auf den Menschen und seine Systeme sowie auf Pflanzen und Tiere erwartet. Die erwarteten Veränderungen und Auswirkungen können schleichend passieren oder aber plötzlich auftreten. Folgende Tabelle zeigt, welche Gefahren und Effekte im Grossraum Zürich Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf in den drei Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit verursachen:

Tabelle 4: Die Punkte zeigen, welche Gefahren und Effekte im Grossraum Zürich Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf in den drei Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit verursachen.

Gefahren und Effekte, die Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf verursachen	Freiraum	Gebäude	Gesundheit
Zunahme von Hochwasserereignissen und Verschiebung der Hochwassersaison ins Winterhalbjahr	●	●	
Zunehmendes Risiko von Trockenperioden und Dürren im Sommer	●		
Zunahme von Hitzewellen in ihrer Frequenz, Intensität und Dauer im Sommer	●	●	●
Zunehmende Durchschnittstemperatur in allen Jahreszeiten	●		●

Für die beiden Gefahren Hochwasser und Hitzewellen können die Auswirkungen im Grossraum Zürich basierend auf heutigem Datenmaterial geografisch lokalisiert werden. Die Auswirkungen von Trockenperioden und zunehmender Durchschnittstemperatur werden den gesamten Grossraum Zürich in etwa gleich stark betreffen.

Der Klimawandel bringt auch vereinzelte Chancen mit sich. Die Risiken überwiegen aber. Neben den Risiken bringt der Klimawandel auch Chancen mit sich. Als Folge der steigenden Temperaturen wird beispielsweise im Winter die benötigte installierte Leistung der Heizungen in den Gebäuden abnehmen, und es wird weniger Heizenergie benötigt. Insgesamt überwiegen die zu erwartenden Risiken die möglichen Chancen jedoch deutlich.

Die Folgen des Klimawandels werden durch sozioökonomische Entwicklungen verstärkt. Für viele Auswirkungen durch klimabedingte Gefahren und Effekte gilt, dass sie nicht nur durch den künftigen Klimawandel, sondern auch aufgrund der zu erwartenden sozioökonomischen Entwicklung verstärkt werden: Die zunehmende Bevölkerung führt zu mehr betroffenen Personen, die Zunahme der Beschäftigten zu mehr betroffenen Arbeitsplätzen, die Zunahme der Siedlungsfläche und der inneren Verdichtung zu mehr betroffener Infrastruktur und Gebäuden. Diese Entwicklungen

werden die Empfindlichkeit des Grossraumes Zürich gegenüber dem Klimawandel erhöhen und dadurch seine Auswirkungen verstärken.

Ganz besonders gelten diese Überlegungen für Unwetter/Gewitter sowie Sturm/Orkan: Wie sich Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan unter dem Klimawandel zukünftig entwickeln, ist basierend auf dem heutigem Wissensstand in der Klimaforschung unklar. Trotzdem gehen wir davon aus, dass die Auswirkungen durch diese beiden Gefahren zukünftig zunehmen werden. Grund dafür sind die sozioökonomischen Entwicklungen, die die Auswirkungen verstärken werden.

Von den Auswirkungen des Klimawandels sind spezifische Personengruppen besonders betroffen. Vom Klimawandel werden je nach Auswirkung unterschiedliche Personengruppen im Grossraum Zürich direkt und/oder indirekt betroffen sein. Dazu gehören in den Bereichen Freiraum und Gebäude die Eigentümer/innen, Betreiber/innen und Nutzer/innen der Freiräume bzw. der Gebäude. Im Bereich Gesundheit werden sensible Bevölkerungsgruppen wie Seniorinnen und Senioren, Kleinkinder, schwangere Frauen, chronisch Kranke, Allergiker/innen sowie Personen, die sich oft im Freien aufhalten, besonders betroffen sein.

Anpassung an den Klimawandel ist möglich. Für ausgewählte Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf wurden Massnahmen hergeleitet, mit denen sich der Grossraum Zürich an den Klimawandel anpassen kann (vgl. Kapitel 5). Dabei wurden zahlreiche Anpassungsmassnahmen beschrieben, die von verschiedenen Akteuren umgesetzt werden können. Die Massnahmen bilden eine Grundlage für die nächsten Schritte in Richtung Anpassung an den Klimawandel. Diese Ausführungen zeigen, dass Anpassung an den Klimawandel im Grossraum Zürich möglich ist. Sie zeigt zudem, dass verschiedene der beschriebenen Anpassungsmassnahmen teilweise oder in Ansätzen bereits in laufenden Prozessen und Aktivitäten umgesetzt werden. Dabei stellte sich jedoch heraus, dass diese möglichen Anpassungsmassnahmen häufig im Rahmen anderer Aktivitäten und Zielsetzungen geplant oder umgesetzt werden. Dazu gehören beispielsweise die Förderung der Biodiversität in urbanen Freiräumen, der Schutz von Personen und Gütern vor Hochwasser oder energetische Massnahmen im Gebäudebereich. Diese Massnahmen sind auch im Sinne der Anpassung an den Klimawandel zielführend bzw. die Anpassung an den Klimawandel kann die Motivation verstärken, die Umsetzung der Massnahmen weiter voranzutreiben.

Anpassungsmassnahmen werden überwiegend positiv beurteilt. Von den ermittelten Anpassungsmassnahmen wurde eine Auswahl einer ersten Nachhaltigkeitsbeurteilung unterzogen. Die Beurteilungsmethodik – eine themaspezifische Multikriterienanalyse in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft – wurde im Rahmen der vorliegenden Studie entwickelt. Die Beurteilung der ausgewählten Anpassungsmassnahmen zeigt, dass diese aus gesellschaftlicher, ökologischer und häufig auch aus volkswirtschaftlicher Perspektive positiv zu beurteilen sind (vgl. Kapitel 5). Da insbesondere die komplexeren Massnahmen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht im Detail ausgearbeitet sind, muss die vorliegende Beurteilung im Einzelfall aktualisiert und gegebenenfalls vertieft werden, sobald eine Konkretisierung der Massnahme vorliegt.

Die volkswirtschaftlichen Nutzen können in vielen Fällen die Kosten aufwiegen.

Die positive erste Beurteilung gilt in vielen Fällen auch für die Beurteilungsdimension Volkswirtschaft: Dies deutet darauf hin, dass die volkswirtschaftlichen Kosten der Massnahmen in vielen Fällen durch die gleichermassen volkswirtschaftlich relevanten Nutzen mindestens aufgewogen werden. Beispielsweise für die Etablierung eines Warndienstes bzw. für die Durchführung von Informations- und Sensibilisierungskampagnen bei Hitzewellen sind die Kosten um ein Vielfaches kleiner als der geschätzte gesamtwirtschaftliche Nutzen durch die Vermeidung von Todesfällen und Krankheitskosten.

Weiter gilt es zu beachten, dass im Rahmen der vorliegenden Studie die wohlfahrtsbezogenen Ökosystemleistungen der Beurteilungsdimension Volkswirtschaft zugeordnet wurden und nicht der Dimension Umwelt. Zudem sind die durchgeführten Beurteilungen besonders in der Dimension Volkswirtschaft mit grossen Unsicherheiten behaftet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die analysierten Anpassungsmassnahmen noch nicht detailliert ausgearbeitet sind.

Eine Nachhaltigkeitsbeurteilung eignet sich besonders gut für Anpassungsmassnahmen.

Betreffend Beurteilungsmethodik hat sich herausgestellt, dass sich eine umfassende Beurteilung mittels einer Multikriterienanalyse in den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit für Anpassungsmassnahmen besonders gut eignet. Einerseits da die Anpassungsmassnahmen in der Regel alle drei Dimensionen betreffen, andererseits weil durch die Multikriterienanalyse unterschiedliche Beurteilungskonzepte miteinander verbunden werden können. Zusätzlich kann mit der im Studienverlauf entwickelten Beurteilungsmethodik sichergestellt werden, dass alle relevanten Fragestellungen in allen Beurteilungsdimensionen adäquat adressiert werden.

Anpassungsmassnahmen können zu Konflikten, aber auch zu Synergien mit anderen Zielsetzungen führen.

Die Umsetzung von Anpassungsmassnahmen findet in einem politischen und gesellschaftlichen Umfeld mit unterschiedlichen Zielsetzungen statt. Dabei kann es zu Konflikten zwischen den Zielen der Anpassung und anderen Zielen kommen. Es können sich aber auch Synergien ergeben. Dazu nachfolgend ausgewählte Beispiele aus dem Grossraum Zürich:

Im Bereich *Freiraum* besteht ein Zielkonflikt zwischen der Anpassungsmassnahme «Erhalt bestehender Freiräume im Siedlungsgebiet» und dem raumplanerischen Ziel «Verdichtung»: Der Erhalt bestehender grüner und blauer Freiräume, insbesondere im urbanen und bereits dicht besiedelten Raum, dient der Stabilisierung bzw. Verminderung des Wärmeinseleffekts. Verdichtung ist eine Antwort auf die steigende Nachfrage nach Räumen, Gebäuden und Infrastruktur, ausgelöst durch das Bevölkerungs-, Wirtschafts- und Siedlungswachstum. Gemäss der Vorlage zur Richtplanrevision des Kantons Zürich (Vorlage 4882 des Regierungsrates vom 28. März 2012) sollen mindestens 80 Prozent des künftigen Bevölkerungszuwachses auf die sogenannten Handlungsräume «Stadtlandschaft» und «urbane Wohnlandschaft» entfallen. Eine ähnliche Stossrichtung verfolgt die Kulturlandinitiative, die in ihrer Umsetzung bedingt, dass der bestehende Siedlungsraum weiter verdichtet wird. Verdichtung passiert durch Ausbau in die Höhe, aber auch durch Ersatzneubauten und Erweiterungsbauten, die häufig mehr Grundfläche zulasten der die Gebäude umgebenden grünen Freiräume benötigen,

oder durch Neubauten auf bisherigem Freiraum. Das Ziel der Verdichtung im urbanen Grossraum Zürich erhöht somit den Druck auf bestehende grüne und blaue Freiräume. Dadurch entsteht ein Zielkonflikt mit der Massnahme zur Anpassung an den Klimawandel, die die Freihaltung bzw. den Erhalt bestehender Freiräume vorsieht.

Auch im Bereich *Gebäude* ist mit Zielkonflikten umzugehen. Die moderne Architektur arbeitet mit Elementen, die die Sensitivität von Gebäuden gegenüber dem Klimawandel erhöhen. Beispiele dafür sind Glasfassaden, durch die im Sommer die Räume so stark aufgeheizt werden, dass ohne Kühlung nicht mehr produktiv gearbeitet werden kann. Filigrane und verletzbare Elemente an der Gebäudehülle, wie Sonnenstoren, Lammellenstoren und Rollläden, erhöhen die Empfindlichkeit der Gebäude gegenüber bereits heute relevanten Gefahren wie Unwetter, Hagel, Sturm etc. Dies gilt ebenfalls für die an der Gebäudehülle installierten Solaranlagen. Sonnenstoren können aber gerade zur Anpassung an den Klimawandel installiert worden sein. Die Installation von Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energie entspricht übergeordneten energiepolitischen Zielsetzungen wie dem langfristigen Energieziel des Kantons Zürich (Senkung der CO₂-Emissionen auf 2,2 Tonnen pro Kopf und Jahr bis 2050) oder Zielen diverser Gemeinden im Untersuchungsperimeter (z.B. Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft der Stadt Zürich). So zeigen sich auch im Bereich Gebäude Zielkonflikte, namentlich zwischen moderner Architektur, energiepolitischen Zielsetzungen und der Anpassung an den Klimawandel.

Im Bereich *Gesundheit* ergeben sich keine analogen Zielkonflikte wie oben beschrieben. Vielmehr geht es hier darum, Synergien mit anderen Aktivitäten und Programmen zu schaffen. Übergeordnetes Ziel im Bereich Gesundheit ist es, die Rahmenbedingungen im Sinne von «Gesundheit für alle» zu erhalten bzw. weiter zu optimieren. Aufgrund von Hitzewellen und der zunehmenden Durchschnittstemperatur ist mit relevanten Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen zu rechnen. Massnahmen für die gesamte Bevölkerung und besonders für betroffene Personengruppen stehen im Zentrum. Die demografische Alterung wird dazu führen, dass die sensible Personengruppe der über 65-Jährigen in den kommenden Jahren zunehmen wird. Im Bereich Gesundheit sind somit Synergien zu schaffen und zu nutzen, um «Gesundheit für alle» auch bei verändertem Klima gewährleisten zu können.

Der Klimawandel und die Anpassung an den Klimawandel werden zur Normalität. Der Klimawandel und die damit verbundene Temperaturzunahme und Niederschlagsänderung sind schleichende, langfristige Prozesse. Durch die erwarteten Veränderungen der mittleren Temperatur und Niederschläge werden aber auch die Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen beeinflusst. Insgesamt werden Effekte und Gefahren zunehmen. Die Gesellschaft wird mit allen diesen Veränderungen umgehen müssen.

Entsprechend den schleichenden, langfristigen Effekten werden viele Anpassungen an den Klimawandel ebenfalls schleichend und langfristig vor sich gehen, sei es in Form der Anpassung der Lebensstile (z.B. Verhaltensänderungen), von Investitionen (z.B. technologische Massnahmen) oder auch von Abläufen und Prozessen (z.B. betriebswirtschaftliche oder politische Massnahmen). Mit der erwarteten Zunahme von Gefahren werden jedoch bewusst geplante Anpassungsmassnahmen notwendiger denn je.

6.2 Empfehlungen

Wir empfehlen den vom Klimawandel betroffenen Akteuren aus dem Grossraum Zürich folgende Punkte:

Einfache und unproblematische Massnahmen sofort umsetzen. Einfache, unproblematische und auch kostengünstige Massnahmen («low-hanging fruit») können und sollen sofort umgesetzt werden. In diese Kategorie gehören zum Beispiel Massnahmen aus dem Bereich Gesundheit wie die *Etablierung eines Warndienstes bei Hitzewellen*, z.B. über einen SMS-Alarm für Risikogruppen, über eine Smartphone-App oder Radioansagen oder die Massnahme *Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen*, beispielsweise durch breit angelegte Informationskampagnen oder gezielte Sensibilisierung von besonders gefährdeten Personengruppen. Ein weiteres Beispiel für eine unproblematische Massnahme ist die *verbesserte Ausbildung von Baufachleuten in Bezug auf klimaangepasstes Bauen*, die im Rahmen des üblichen Überarbeitungsprozesses von Ausbildungsangeboten umgesetzt werden könnte.

Mit der Planung und Umsetzung von langfristigen Massnahmen jetzt beginnen.

Massnahmen, die viele Akteure umfassen, kostenintensiv sind und/oder in Bereichen mit langfristiger Planungs- und Lebensdauer liegen (z.B. Raumplanung, Gebäude, Umbau von Wäldern etc.) können nicht kurzfristig umgesetzt werden. Wir empfehlen hier langfristige proaktive Überlegungen und Konzepte und eine umfassende Bewertung von Anpassungsmassnahmen, um sich keine möglichen Optionen zu verbauen und um allfällige Zielkonflikte und Synergien zu erkennen und berücksichtigen zu können. In die Kategorie dieser Massnahmen fallen beispielsweise die *Freihaltung bestehender Freiräume* sowie der *Umbau und die Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern*.

Anpassung an den Klimawandel standardmässig in Projekte, Prozesse und Massnahmen integrieren.

Bei Projekten und Prozessen in Bereichen, wo durch den Klimawandel Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf erwartet werden, empfehlen wir, schon ab der Planungsphase standardmässig geeignete Anpassungsmassnahmen zu evaluieren und im Sinne des Vorsorgeprinzips gegebenenfalls zu integrieren (derartige Anpassungen sind in der Regel kostengünstiger als nachträgliche). Auch bei Massnahmen, die primär einer anderen Zielsetzung als der Klimaanpassung dienen, aber auch in deren Sinne zielführend sind, soll der Aspekt der Klimaanpassung verstärkt bzw. hinreichend integriert werden.

Zu diesem Zweck werden in einem ersten Schritt Grundlagen zu den relevanten Auswirkungen und möglichen Anpassungsmassnahmen benötigt. Im vorliegenden Bericht sind die relevanten Auswirkungen für die Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit beschrieben. In einem zweiten Schritt soll bei der Konzeptionierung und Umsetzung der Projekte, Prozesse und Massnahmen der Klimawandel mitgedacht und entsprechend berücksichtigt werden. Vorschläge für Anpassungsmassnahmen für ausgewählte Auswirkungen finden sich im vorliegenden Bericht bzw. in der ungekürzten Fassung der Studie (econcept 2013). Für eine umfassende Sammlung möglicher Anpassungsmassnahmen wäre es hilfreich, Leitfäden und/oder Checklisten pro Bereich zu erstellen, ähnlich wie zum Beispiel das bestehende Handbuch für den Gebäudebereich «Bauen, wenn das Klima wärmer wird» (BFE 2007).

Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen den Akteuren zur Erarbeitung und Umsetzung von Anpassungsmassnahmen.

Damit die betroffenen Personengruppen und Entscheidungsträger/innen im Grossraum Zürich handeln können, müssen die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels mit grossem Handlungsbedarf und die möglichen Anpassungsmassnahmen bekannt sein. Der vorliegende Bericht und die zugehörigen wissenschaftlichen Ausführungen (econcept 2013) liefern diese Grundlagen für die drei betrachteten Bereiche. Wir empfehlen, betroffene Personengruppen und Entscheidungsträger/innen bereichsspezifisch gezielt zu informieren und einen Erfahrungsaustausch zwischen den Akteuren zu ermöglichen. Dazu kann beispielsweise die Thematik der Klimaanpassung in bereichsspezifischen Veranstaltungen aufgenommen und diskutiert werden, Treffen zwischen Gemeinden, dem Kanton Zürich und/oder weiteren betroffenen Akteuren (z.B. Gebäudebesitzer/innen, private Parkbetreiber/innen, Gesundheitsinstitutionen) können dem Erfahrungsaustausch dienen, und eine kantonale Informationsstelle kann Auskünfte geben und Fachwissen bündeln.

Verminderung des Klimawandels bleibt trotzdem prioritäres Ziel – auch im Grossraum Zürich.

Obwohl eine Anpassung an den Klimawandel in den untersuchten Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit im Grossraum Zürich möglich ist und die Anpassungsmassnahmen überwiegend positiv beurteilt werden, sind Anstrengungen zur Verminderung des Klimawandels weiterhin notwendig. Anpassungsmassnahmen können die Auswirkungen durch den Klimawandel abschwächen und das Leben mit dem Klimawandel erträglicher machen, doch gehen sie dem Problem des Klimawandels nicht auf den Grund.

Der Zeithorizont für die vorliegende Studie ist das Jahr 2060, längerfristige Auswirkungen des Klimawandels wurden nicht analysiert. Da das Klimasystem verzögert auf die Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen reagiert, werden die tatsächlichen Auswirkungen der heutigen CO₂-Konzentrationen erst in einigen Jahren bis Jahrzehnten spürbar sein. Die Verminderung von Treibhausgasemissionen, mit dem Ziel, die Erderwärmung zu reduzieren, ist der einzige Ansatz, um die Ursachen der Auswirkungen zu bekämpfen. Aus diesem Grund muss an erster Stelle die Verminderung der Treibhausgasemissionen stehen. Dies auch im Sinne des nachhaltigen Handelns, das zum Ziel hat, dass zukünftige Generationen dieselben Voraussetzungen und Möglichkeiten haben, wie wir sie heute vorfinden. Der heutigen Generation empfehlen wir deshalb, dazu beizutragen, dass die globale Treibhausgaskonzentration nicht ungebremst zunimmt.

Tabelle 5: Perimeter (Gemeinden des betrachteten urbanen Grossraums Zürich).

A-1 Gemeinden im Projektperimeter

Bezirk	Gemeinden	Postleitzahl
Zürich	Zürich	8000–8098
Horgen	Kilchberg	8802
	Adliswil	8134
	Rüschlikon	8803
	Thalwil	8800
Meilen	Zollikon	8702
	Zumikon	8126
	Küsnacht	8700
	Erlenbach	8703
Dietikon	Schlieren	8952
	Oberengstringen	8102
	Unteringstringen	8103
	Urdorf	8902
	Dietikon	8953
	Geroldswil	8954
Uster	Dübendorf	8600
	Wangen-Brüttisellen	8306
	Fällanden	8117
	Schwerzenbach	8603
	Volketswil	8604
	Greifensee	8606
	Uster	8610–8613
Winterthur	Winterthur	8400–8411
Bülach	Bülach	8180
	Bachenbülach	8184
	Kloten	8302
	Bassersdorf	8303
	Dietlikon	8305
	Opfikon	8152
	Wallisellen	8304
Dielsdorf	Niederglatt	8172
	Rümlang	8153
	Niederhasli	8155
	Regensdorf	8105–8106
	Buchs	8107
	Dielsdorf	8157
	Dällikon	8108

Albedo	Die Albedo bezeichnet den prozentualen Anteil der von einer Oberfläche zurückgestrahlten/reflektierten solaren Strahlung. Während schneebedeckte Oberflächen eine hohe Albedo haben, ist die Albedo bei von Vegetation bedeckten Oberflächen und Ozeanen gering.
Anpassung	Initiativen und Massnahmen zur Verringerung der Empfindlichkeit natürlicher und menschlicher Systeme gegenüber tatsächlichen oder zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels (BAFU 2012a).
Anpassungsfähigkeit	Die Gesamtheit der Fähigkeiten, Ressourcen und Institutionen eines Landes oder einer Region, um wirksame Massnahmen zur Anpassung umzusetzen (BAFU 2012a).
Emissionsszenario	Zur Erstellung von Klimaprojektionen werden die Klimamodelle mit verschiedenen Emissionsszenarien über die zukünftige Entwicklung der Treibhausgasemissionen gekoppelt. Die Emissionsszenarien gehen davon aus, dass die zukünftige demografische, wirtschaftliche und technologische Entwicklung eine unmittelbare Auswirkung auf den weiteren Verlauf des Treibhausgasausstosses haben, wodurch sie den Klimawandel unterschiedlich stark vorantreiben. Die neusten Klimaszenarien für die Schweiz (CH2011 2011) wurden für drei unterschiedliche Emissionsszenarien erstellt: <i>A2-Szenario:</i> Dieses Szenario des IPCC beschreibt eine äusserst heterogene Welt. Der Fokus liegt auf der Autarkie und der Bewahrung lokaler Identitäten. Die wirtschaftliche Entwicklung ist vorwiegend regional orientiert, und das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und technologische Veränderungen sind bruchstückhafter und langsamer als in anderen Emissionsszenarien. Regionale Fertilitätsmuster konvergieren nur sehr langsam, was eine stetig zunehmende Bevölkerung zur Folge hat. Die Emissionen von Treibhausgasen nehmen unter diesem Szenario stark zu. <i>A1B-Szenario:</i> Dieses Szenario beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr schnellem wirtschaftlichem Wachstum, einer Weltbevölkerung, die Mitte des 21. Jahrhunderts kulminiert und danach rückläufig ist, und einer raschen Einführung von neuer und effizienterer Technologie. Das A1B ist charakterisiert durch eine ausgewogene Nutzung von fossilintensiven und nicht fossilen Energiequellen. Unter diesem Szenario steigen die Treibhausgasemissionen anfänglich, nehmen aber mit der rückläufigen Weltbevölkerung ab Mitte des 21. Jahrhunderts wieder ab. <i>RCP3PD-Szenario:</i> wurde zusammen mit anderen Szenarien für den bevorstehenden fünften Sachstandsbericht (Assessment Report) des IPCC entwickelt. Es stellt ein Stabilisierungsszenario dar, denn es geht von starken Vermeidungsmassnahmen aus und illustriert Ende des Jahrhunderts eine Stabilisation der CO₂-eq-Konzentration in der Atmosphäre nahe bei 450ppm. In diesem Szenario kann eine Erwärmung von 2 Grad verhindert werden, und es entspricht dem Ziel, das die Mitgliedsländer des UNFCCC in Mexiko beschlossen haben.

Exposition

Die Exposition beschreibt das Ausmass und die Art der Betroffenheit einer Region bezüglich des Klimawandels bzw. inwieweit die Region von Änderungen der Klimaparameter (z.B. Temperatur, Niederschlag) betroffen ist. Es besteht eine positive Korrelation zwischen der Exposition einer Region und ihrer Vulnerabilität. Das heisst, je stärker eine Region gegenüber den Klimaänderungen exponiert ist, desto verwundbarer ist sie.

IPCC

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ist eine zwischenstaatliche Sachverständigengruppe für Klimaänderungen. Das IPCC trägt die Ergebnisse der Forschungen in den verschiedenen Disziplinen zusammen, insbesondere der Klimatologie. Es betreibt selbst keine Forschung, sondern bildet eine kohärente Darstellung der Forschungsergebnisse in sogenannten Wissensstandberichten ab (englisch: IPCC Assessment Reports). Die Berichte des IPCC werden in Arbeitsgruppen erstellt und vom Plenum akzeptiert. Alle beteiligten Forscher/innen können in drei aufeinanderfolgenden Versionen Kommentare, Kritik und Vorschläge einbringen. Mehr als hundert Forscher/innen haben dies getan; unabhängige Review Editors achten darauf, dass in der Endfassung alles angemessen berücksichtigt ist.

Klimabedingte Gefahren und Effekte

Klimabedingte Gefahren sind plötzlich auftretende Ereignisse wie zum Beispiel Hochwasser. Klimabedingte Effekte dagegen sind schleichende Entwicklungen, wie zum Beispiel die Zunahme der Durchschnittstemperatur. Aufgrund des Klimawandels werden sich die Intensität und Auftretenshäufigkeit dieser Gefahren und Effekte verändern.

Klimamodell

Eine numerische Darstellung des Klimasystems, die auf den physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften seiner Bestandteile, ihren Wechselwirkungen und Rückkopplungsprozessen basiert. Klimamodelle werden als Forschungsinstrument verwendet, um das Klima zu untersuchen und zu simulieren, aber auch für operationelle Zwecke, einschliesslich monatlicher, saisonaler und jahresübergreifender Klimaprognosen (BAFU 2012a).

Klimaszenario

Eine plausible und häufig vereinfachte Beschreibung des zukünftigen Klimas, die auf einer in sich konsistenten Reihe klimatologischer Beziehungen beruht und ausdrücklich für die Verwendung bei der Untersuchung der potenziellen Auswirkungen des anthropogenen Anteils des Klimawandels erstellt wurde (BAFU 2012a).

Klimawandel

Änderung des Klimas im Verlauf der Zeit, die aufgrund einer Änderung im Mittelwert oder im Schwankungsbereich seiner Eigenschaften identifiziert werden kann und die über einen längeren Zeitraum von typischerweise Jahrzehnten oder noch länger andauert. Klimawandel kann durch interne natürliche Schwankungen, äussere Antriebe oder andauernde anthropogene Veränderungen in der Zusammensetzung der Atmosphäre oder der Landnutzung zustande kommen (BAFU 2012a).

Kyoto-Protokoll

Das Kyoto-Protokoll wurde 1997 als Zusatzprotokoll mit dem Ziel des Klimaschutzes zur Ausgestaltung der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) beschlossen. Das 2005 in Kraft getretene Abkommen legt erstmals völkerrechtlich verbindliche Zielwerte für den Ausstoss von Treibhausgasen in den Industrieländern fest, welche die hauptsächliche Ursache der globalen Erwärmung sind.

Sensitivität

Die Sensitivität ist die Empfindlichkeit, die ein System gegenüber der Belastung durch den Klimawandel aufweist. Sie ist beispielsweise abhängig von der Bevölkerungsstruktur, von der Anzahl und Art der ansässigen Unternehmen oder von der vorhandenen Infrastruktur, die vom Klimawandel potenziell betroffen werden. Es besteht eine positive Korrelation zwischen der Empfindlichkeit einer Region und ihrer Vulnerabilität. Das heisst, je empfindlicher eine Region, desto verwundbarer ist sie.

UNFCCC

Die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen ist ein internationales Umweltabkommen mit dem Ziel, die anthropogene Störung des Klimasystems zu verhindern, globale Erwärmung zu verlangsamen sowie ihre Folgen zu mildern. Die Rahmenkonvention wurde 1992 in New York verabschiedet und trat 1994 in Kraft. Ein wichtiger Meilenstein war die Erarbeitung des Kyoto-Protokolls. Das Sekretariat, das die Umsetzung der Konvention begleitet, hat seinen Sitz in Bonn.

Literatur

<i>Avenir Suisse</i> 2013	Die Kosten der Abstinenz , URL: http://www.avenir-suisse.ch/?p=28 605 [Stand: 30.7.2013]	<i>EBP</i> 2011	Anpassung an den Klimawandel im Kontext städtischen Handelns . Erste Auslegeordnung und möglicher Handlungsbedarf für die Stadt Zürich, Zürich.
<i>BAFU</i> 2012a	Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder, Erster Teil der Strategie des Bundesrates, Bundesamt für Umwelt, Bern.	<i>ETH</i> 2012	ETH Klimablog, Klimawissen , Glossar. URL: http://blogs.ethz.ch/klimablog/klimawissen/glossar/ [Stand: 19.7.2012]
<i>BAFU</i> 2012b	Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer . Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Bundesamt für Umwelt, Bern. UmweltWissen Nr. 1217: 76 S.	<i>Expertinnen- und Experten-Workshop</i> 2012	1. Expertinnen- und Experten-Workshop , 12. November 2012 (Teilnehmer/innen in econcept 2013, Anhang)
<i>BAFU</i> 2011	Anpassung an die Klimaänderung in Schweizer Städten , Grundlagendokument I. Bundesamt für Umwelt, Bern.	<i>Expertinnen- und Experten-Workshop</i> 2013	2. Expertinnen- und Experten-Workshop , 18. März 2013 (Teilnehmer/innen in econcept 2013, Anhang)
<i>BAFU</i> 2009	Rutschungen, Ursachen . Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention, Bern.	<i>Factsheets</i> 2012	Workshop über Klimawandel in Schweizer Städten , Factsheets zu den Themen Gesundheit, Infrastrukturen/Gebäude, Grünflächen, Wasserwirtschaft und Stadtentwicklung, Ernst Basler+Partner, Dialog Umwelt, bio-eco.
<i>BAFU/ARE</i> 2011	Pilotprojekt Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz , Schlussbericht. Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.	<i>Grün Stadt Zürich</i> 2006	Das Grünbuch der Stadt Zürich , integral planen – wirkungsorientiert handeln, Zürich
<i>Baudirektion Kanton Zürich</i> 2012	«Informationsveranstaltung Sanierung Kreisel Zentrum (Löwenkreisel) und Bachdurchlässe» Präsentation Baudirektion Kanton Zürich. URL: http://www.bassersdorf.ch/documents/sanierung_kreisel_zentrum_infoveranstaltung_2012-01-31.pdf [Stand: 26.2.2013]	<i>Infras, Ecologic, Rütter+Partner</i> 2007	Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (internationale Einflüsse), im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Zürich/Berlin/Rüschlikon.
<i>BFE</i> 2007	Bauen wenn das Klima wärmer wird , Bundesamt für Energie, Bern.	<i>IPCC</i> 2013	Climate Change 2013, The Physical Science Basis . Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
<i>BFS</i> 2010	Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2010–2060 . Bundesamt für Statistik BFS, Neuchâtel.	<i>Kanton Basel-Stadt</i> 2011	Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt , Handlungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf aufgrund der Klimaänderung in Basel-Stadt, Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt.
<i>BMU</i> 2008	Klimawandel in den Alpen, Fakten – Folgen – Anpassung . Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.	<i>Kanton Zürich</i> 2012a	Standortförderung, Amt für Wirtschaft und Arbeit , Kanton Zürich. URL: http://www.awa.zh.ch/internet/volkswirtschaftsdirektion/awa/de/standort/ansaessige_unternehmen.html [Stand: 11.7.2012]
<i>CH2011</i> 2011	Swiss Climate Change Scenarios CH2011 , published by C2SM, Meteo Swiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp.	<i>Kanton Zürich</i> 2012b	Kantonale Bevölkerungsstatistik, Statistisches Amt, Kanton Zürich , Direktion der Justiz und des Innern. URL: http://www.statistik.zh.ch/internet/justiz_inneres/statistik/de/home.html [Stand: 2.10.2012]
<i>Climate-Press</i> 2003	Erste Spuren der Klimaänderung in der Pflanzen- und Tierwelt , Climate-Press, Hintergründe aus der Klima- und Global-Change-Forschung, 2003.	<i>Kanton Zürich</i> 2012c	Statistisches Amt des Kantons Zürich, Kantonale Bevölkerungsstatistik (nach wirtschaftlichem Wohnsitzbegriff), Zürich.
<i>econcept/BAFU</i> 2011	Indikatoren für Ökosystemleistungen : Systematik, Methodik und Umsetzungsempfehlungen für eine wohlfahrtsbezogene Umweltberichterstattung. Bundesamt für Umwelt, Bern.	<i>Kanton Zürich</i> 2012d	Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Raumentwicklung, Abteilung Geoinformation, GIS-Zentrum; Daten Gebäudevolumen , 2004 S.A. Gerster; Daten Hochwassergefahrenkarte, 2012, Ch. Schuler.
<i>econcept/BAFU</i> 2009	Wohlfahrtsbezogene Umweltindikatoren . Eine Machbarkeitsstudie zur statistischen Fundierung der Ressourcenpolitik. Bundesamt für Umwelt, Bern.	<i>Kanton Zürich</i> 2012e	Hochwasserschutz an Sihl, Zürichsee und Limmat , Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich.
<i>econcept</i> 2013	Der Klimawandel im Grossraum Zürich – Auswirkungen und Anpassungsoptionen. Wissenschaftliche Grundlagen. econcept im Auftrag der ZKB, Zürich. www.econcept.ch/klimawandel-zuerich-grundlagen.pdf	<i>Kanton Zürich</i> 2011	Kanton Zürich in Zahlen 2011 , Statistisches Amt des Kantons Zürich, Zürich.
<i>econcept</i> 2011	Anpassung an die Klimaänderung im Berggebiet – Fallstudie Saastal. econcept AG im Auftrag der Gemeinden des Saastals, von hotelleriesuisse, Kanton Wallis, Netzwerk Wasser im Berggebiet, Schweizer Berghilfe, Schweizerischer Versicherungsverband, WWF Schweiz.	<i>Kanton Zürich</i> 2010	Statistisches Amt des Kantons Zürich 2010 : Regionalisierte Bevölkerungsprognosen für den Kanton Zürich, Prognoselauf 2010.
<i>Ecoplan</i> 2005	Branchenszenarien Schweiz . Langfristszenarien zur Entwicklung der Wirtschaftsbranchen mit einem rekursiv-dynamischen Gleichgewichtsmodell (SWISSGEM), Bern.	<i>Kanton Zürich</i> 2009	Raumplanungsbericht 2009 , Bericht des Regierungsrates an den Kantonsrat, Zürich.
		<i>MeteoSchweiz</i> 2012	Klima heute – Trends Schweiz . Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie. URL: http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/trends_schweiz.html [Stand: 20.7.2012]

MeteoSchweiz 2013 **Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht**, Fachbericht MeteoSchweiz, 243, 36 S.

MKULNV 2011 **Handbuch Stadtklima – Massnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel**. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV), Düsseldorf.

NZZ 2011 **«Hochwasserschutz in Winterthur»**, Neue Zürcher Zeitung, 10. Januar 2011, Zürich.

OcCC 2012 **Klimaziele und Emissionsreduktion**. Eine Analyse und politische Vision für die Schweiz, Bern.

OcCC/Proclim 2007 **Klimaänderung und die Schweiz 2050**, Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft, Bern.

OECD 2007 **Klimawandel in den Alpen, Anpassung des Wintertourismus und des Naturgefahrenmanagements**. Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Paris.

Parlow E., Scherer D., Fehrenbach U. 2010 **Klimaanalyse der Stadt Zürich (KLAZ)**, Wissenschaftlicher Bericht, erstellt im Auftrag des Umwelt- und Gesundheitsschutzes der Stadt Zürich.

RZU, 2009 **Entwicklung der Einwohner und Beschäftigten 1980–2025**. Bisherige Entwicklung, Ziele und Prognosen für das RZU-Gebiet, die Regionen, den Verdichtungsraum und den Kanton Zürich, Faltblatt, Regionalplanung Zürich und Umgebung.

SCNAT 2007 **Hotspot Biodiversität und Klimawandel**, Biodiversität: Forschung und Praxis im Dialog, Informationen des Forum Biodiversität Schweiz.

Stadt Zürich 2012a **Nachhaltigkeitsmonitoring der Stadt Zürich**, Online-Publikation, Zürich.
URL: <http://www.nachhaltigkeitsmonitoring.ch> [Stand: 4.7.2012]

Stadt Zürich 2012b **Bevölkerungsszenarien Stadt Zürich, 2011–2025**, Statistik Stadt Zürich.

Stadt Zürich 2012c **Grün Stadt Zürich, Freiraumplanung**, E-Mail Daniel Keller, 1.10.2012, Zürich.

Stadt Zürich 2011a **Gesundheitsbericht der Stadt Zürich 2011**, Koordinationsgruppe Gesundheitsförderung, Zürich.

Stadt Zürich 2011b **Klimaanalyse Stadt Zürich (KLAZ)**, Ergebnisbericht Grundlagenarbeit und Massnahmenvorschläge aus stadtklimatischer Sicht, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich.

TA 2012 **«Stadt Zürich ist eines der grössten Risikogebiete der Schweiz»**, Tages-Anzeiger, 4.6.2012, Zürich.

UBA 2012 **Kosten und Nutzen von Anpassungsmassnahmen an den Klimawandel** – Analyse von 28 Anpassungsoptionen in Deutschland, Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau.

UNFCCC 2011 **Assessing the Costs and Benefits of Adaptation Options** – An Overview of Approaches, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn.

Zürcher Unterländer 2012 **«Dielsdorf hat Hochwassergefahr gebannt»**. URL: http://www.zuonline.ch/artikel_77398.html [Stand: 26.2.2013]

