

Wissenschaftsforum ZKB

Klimawandel im Grossraum Zürich: Auswirkungen und Anpassungsmassnahmen

Wissenschaftliche Grundlagen – Schlussbericht
22. Oktober 2013



Erarbeitet durch

econcept AG, Gerechtigkeitsgasse 20, CH-8002 Zürich
www.econcept.ch / + 41 44 286 75 75

Begleitgruppe

Blum János, Bankpräsidium ZKB
Bretschger Lucas, Professor für Ressourcenökonomie, ETH Zürich
Butterling Melanie, Bundesamt für Raumentwicklung ARE (ab Dezember 2012)
Caduff Christian, Gebäudeversicherung Zürich, GVZ (ab Dezember 2012)
Dürr Lucius, Schweizerischer Versicherungsverband SVV
Friedli Dominique, Gesamtkoordination ZKB, Teil Veröffentlichung (bis Dezember 2012)
Gehrig Regula, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (ab Januar 2013)
Herren Thomas, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (bis Dezember 2012)
Hohmann Roland, Nationale Anpassungsstrategie an die Klimaänderung, Bundesamt für Umwelt BAFU
Liniger Mark, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (ab März 2013)
Lüscher Adrian, Gesamtkoordination ZKB, Teil Forschung
Natrup Wilhelm, Kantonsplaner, Kanton Zürich
Saint Mark, Gesamtkoordination ZKB, Teil Veröffentlichung (ab Januar 2013)
Tschanz Karl, Leiter Umweltschutzfachstelle, Stadt Zürich

Wir danken den Mitgliedern der Begleitgruppe für Ihre wertvolle und engagierte Mitarbeit.

Autoren/innen econcept AG

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

Bildnachweis

Freibad Oberer Letten, Zürich: Yago Veith
Grandma with grandson: Fotolia
Trinkwasser: Fotolia
Bau des PrimeTowers, Zürich: Stevesgallery

Dateiname: 1266_be_klimawandel_im_grossraum_zürich_20131022_wissenschaftlich.docx
Speicherdatum: 21. Oktober 2013

Inhalt

	Zusammenfassung	i
1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Projektidee	1
1.2	Aufbau der Studie	3
2	Systemgrenze und Methodik	6
2.1	Systemgrenze	6
2.1.1	Der Untersuchungsperimeter Grossraum Zürich	6
2.1.2	Die drei analysierten Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit	7
2.2	Methodik	7
3	Analytische Grundlagen	9
3.1	Der Klimawandel im Grossraum Zürich	9
3.1.1	Bisherige Beobachtungen in der Schweiz	9
3.1.2	Klimaszenarien für den Grossraum Zürich	10
3.1.3	Gefahren und Effekte im Grossraum Zürich	15
3.2	Sozioökonomisches Szenario für den Grossraum Zürich	17
3.2.1	Bevölkerung	17
3.2.2	Beschäftigte	18
3.2.3	Siedlung und Infrastruktur	18
3.3	Die Sensitivität des Grossraums Zürich	19
3.3.1	Bevölkerung	19
3.3.2	Wirtschaftsstandort	21
3.3.3	Versiegelte Flächen und Infrastrukturanlagen	23
3.3.4	Stadtklima	24
4	Auswirkungen des Klimawandels auf drei für den Grossraum Zürich relevante Bereiche	31
4.1	Auswirkungen des Klimawandels auf den Freiraum	31
4.1.1	Grüner Freiraum	32
4.1.2	Blauer Freiraum	33
4.1.3	Grauer Freiraum	35
4.1.4	Übersicht über die klimabedingten Auswirkungen im Bereich Freiraum	35
4.2	Auswirkungen des Klimawandels auf Gebäude	37
4.2.1	Auswirkungen auf Gebäude	37
4.2.2	Auswirkungen auf das Raumklima / Menschen	37
4.2.3	Auswirkungen auf den Energiebereich	38
4.2.4	Übersicht über die klimabedingten Auswirkungen im Bereich Gebäude	38
4.3	Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit	38

4.3.1	Direkte Auswirkungen	39
4.3.2	Indirekte Auswirkungen	39
4.3.3	Übersicht über die klimabedingten Auswirkungen im Bereich Gesundheit	41
5	Bestimmung der Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf für den Grossraum Zürich	42
5.1	Priorisierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die drei Bereiche	42
5.2	Geographische Lokalisierung der Auswirkungen des Klimawandels im Grossraum Zürich	45
5.2.1	Hochwasser	45
5.2.2	Unwetter/Gewitter	48
5.2.3	Trockenheit	49
5.2.4	Hitzewelle	50
5.2.5	Zunahme Durchschnittstemperatur	54
5.2.6	Sturm/Orkan	55
5.3	Synthese: Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf im Grossraum Zürich	55
6	Ermittlung und Beurteilung von Anpassungsmassnahmen für den Grossraum Zürich	58
6.1	Ermittlung und Priorisierung von Anpassungsmassnahmen	58
6.1.1	Auswahl von zwei relevanten Auswirkungen pro Bereich	58
6.1.2	Ermittlung der Anpassungsmassnahmen und deren Priorisierung	59
6.2	Vertiefte Beurteilung der prioritären Anpassungsmassnahmen	64
6.2.1	Beurteilung von Anpassungsmassnahmen im Kontext des Klimawandels	64
6.2.2	Beschreibung der entwickelten Nachhaltigkeitsbeurteilung	68
6.2.3	Resultate der Beurteilung der Anpassungsmassnahmen	70
6.2.4	Diskussion	80
7	Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Forschungsbedarf	83
7.1	Schlussfolgerungen	83
7.2	Empfehlungen	87
7.3	Weiterer Forschungsbedarf	89
	Anhang	91
A-1	Untersuchungsperimeter	91
A-2	Gefahren und Effekte	92
A-3	Teilnehmende am 1. Workshop, 12. November 2012	94
A-4	Teilnehmende am 2. Workshop, 18. März 2013	95
A-5	Priorisierung der Auswirkungen von Gefahren und Effekte auf die drei Bereiche	96
A-6	Beurteilung der Massnahmen (Tabellen)	98

Glossar	115
Literatur	118

Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt untersucht, wie der erwartete Klimawandel auf den urbanen Grossraum Zürich¹ wirkt und wie empfindlich der Grossraum Zürich darauf reagiert. Für die drei Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit werden die Auswirkungen des Klimawandels analysiert und beschrieben. Für ausgewählte Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf werden mögliche Anpassungsmassnahmen aufgezeigt und diese einer Nachhaltigkeitsbeurteilung in den Dimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft unterzogen. Die Studie schliesst mit Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

Der erwartete Klimawandel im Grossraum Zürich

Im Rahmen der vorliegenden Studie gehen wir von einem Klimaszenario aus, welches 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. Basierend auf diesen Annahmen und gemäss den aktuellen Klimamodellierungen, wird im Grossraum Zürich bis ins Jahr 2060 die jahreszeitliche Mitteltemperatur um 1.4 bis 3.1° C zunehmen (gegenüber 1980-2009). Die Niederschläge werden im Sommer um 1,6 bis 19,2 Prozent abnehmen. Über die erwartete Niederschlagsänderung im Frühjahr, Herbst und Winter sind gemäss heutigem Wissensstand keine Aussagen möglich. Für Intensivniederschläge wird eine tendenzielle Zunahme im Sommer, Herbst und Winter erwartet.

Zusätzlich werden aufgrund der Klimamodelle für die relevanten klimatischen Gefahren im Grossraum Zürich die folgenden zukünftigen Veränderungen erwartet:

Gefahren ²	Zukünftige Veränderung unter dem erwarteten Klimawandel bis 2060
Starker Schneefall	unklar
Hochwasser	➔ Verlängerung der Hochwasserzeit und deren Verschiebung ins Winterhalbjahr, Zunahme der Häufigkeit von grossen Hochwasserereignissen
Erdrutsch / Hangmure	➔ Tendenzielle Zunahme von Erdrutschen und Hangmuren
Unwetter / Gewitter	unklar
Allgemeine Trockenheit	➔ Zunehmendes Risiko von Trockenperioden und Dürren im Sommer
Kältewellen	➔ Abnehmende Frequenz und Dauer ➔ Intensive Kälteperioden sind jedoch immer noch möglich.
Hitzewellen	➔ Zunahme in Frequenz, Intensität und Dauer, insbesondere im Sommer
Sturm / Orkan	unklar

¹ Der Grossraum Zürich entspricht dem urbanen Raum im Gebiet Uster – Winterthur – Bülach – Dietikon/Schlieren – Thalwil, inklusive der Stadt Zürich im Zentrum.

² Die Definitionen der verschiedenen Gefahren beruhen auf der Methodik gemäss BAFU / ARE 2011.

Die Sensitivität des Grossraums Zürich

Wie stark die Auswirkungen der Klimaveränderung im Grossraum Zürich spürbar sind, hängt auch von dessen 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.

Auswirkungen des Klimawandels

Der Klimawandel wirkt sich unterschiedlich auf die drei Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit aus:

Auswirkungen auf die Freiräume: In den grünen, bepflanzten Freiräumen wird sich der Klimawandel zukünftig auf die Artenzusammensetzung auswirken und wärme- und trockenheitsliebende Arten begünstigen. Durch Hitze und Trockenheit kann die Anfälligkeit von Pflanzen gegenüber Schadorganismen und Krankheiten steigen. Trocknet der Boden aus, kann dies zu einer Abnahme des Abkühlungseffektes durch Verdunstung führen. Die Zunahme der Hitzewellen lässt zudem erwarten, dass zukünftig die Menschen die Freiräume häufiger und intensiver nutzen und auch ihre Ansprüche an die Ausgestaltung der Freiräume steigen werden. Schliesslich kann eine Zunahme der Hochwasser Schäden in den Freiräumen verursachen.

Auch in Gewässern wird mit einer Verschiebung der Lebensräume und Veränderung der Artenzusammensetzung gerechnet. Zudem muss davon ausgegangen werden, dass der Zürichsee in Zukunft nur noch unvollständig durchmischt wird. Dies kann zu einem verringerten Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser und zur Ausbreitung giftiger Algen, mit Folgen für laichende Fische führen. Für den Menschen kann sich dadurch die Trinkwasseraufbereitung aufwändiger gestalten, Filter von Wärmepumpen können verstopfen, Fischerträge abnehmen, etc.

Hitzewellen, Trockenheit und verändertes Niederschlagsregime können besonders im Sommer zu Niedrigwasser beitragen und dadurch die Schadstoffkonzentration und Temperatur im Wasser erhöhen. Dies kann mit negativen Folgen für Fauna und Flora verbunden sein. Die Auswirkungen für den Menschen sind in den Bereichen der Trinkwasserqualität, der Energiewirtschaft, der Wasserwirtschaft, der Landwirtschaft und der Schifffahrt, zudem betreffen sie die Erholungssuchenden.

An Orten mit einem hohen Anteil von grauen Freiräumen (z.B. Strassen und Plätze), können Hitzewellen zu einer Intensivierung des Wärmeinseleffektes führen. Zudem können Hochwasserereignisse durch einen hohen Anteil an versiegelten Flächen zu stärkeren Überschwemmungen führen.

Auswirkungen auf Gebäude: Im Bereich der Gebäude sind aufgrund von Hochwasser und Erdbeben in Zukunft vermehrt Schäden am gesamten Bau und/oder an der Gebäudehülle zu erwarten. Durch die zunehmende Trockenheit muss mit Schäden an der Bausubstanz aufgrund von Bodensetzungen gerechnet werden. Aufgrund der erwarteten Abnahme von Kältewellen kann hingegen von weniger Schäden am Gebäude (Aussenleitungen, Wärmepumpen, etc.) ausgegangen werden.

Aufgrund der Hitzewellen wird von einer erhöhten Raumtemperatur im Sommer und als Folge von einer Abnahme der Arbeitsproduktivität ausgegangen. Im Sommer wird somit mit einem erhöhten Kühlbedarf gerechnet. Die zunehmende Durchschnittstemperatur dürfte hingegen eine Abnahme der benötigten Heizenergie und der installierten Heizleistungen im Winterhalbjahr bewirken.

Auswirkungen auf die Gesundheit: Hitzewellen wirken sich direkt auf die Gesundheit aus und können zu Herz-Kreislaufproblemen, Hitzeschlägen, Dehydration oder gar Todesfällen führen. Aufgrund von Hochwasser können Verletzungen, Todesfälle und auch psychische Folgen zunehmen.

Durch die Zunahme von Hitzewellen werden auch zahlreiche indirekte Auswirkungen erwartet. Beispiele sind die Zunahme von Atemwegserkrankungen und Toten aufgrund des Anstiegs der Ozonbelastung, die kürzere Lebensmittelhaltbarkeit und das erhöhte Risiko für Lebensmittelvergiftungen, eine verminderte Arbeitsproduktivität und Schlafqualität oder negative Auswirkungen durch Pilzspuren durch die vermehrte Kühlung mittels Klimaanlage. Die Zunahme der Durchschnittstemperatur kann durch die Verlängerung der Pollensaison und die Möglichkeit zur Etablierung neuer Allergene (z.B. Neophyten) zu einer zunehmenden Belastung für Allergiker führen. Durch die Zunahme von krankheitsübertragenden Vektoren (z.B. Zecken, Stechmücken) werden sich auch die vektorbedingten Infektionskrankheiten stärker ausbreiten. Schliesslich soll aber nicht vergessen werden, dass die wärmeren Temperaturen zu längeren und häufigeren Aufenthalten im Freien führen und dadurch die Lebensqualität und Lebensfreude zunehmen kann.

Schliesslich kann die zunehmende Trockenheit, das veränderte Niederschlagsregime, oder auch Hochwasser die Trinkwasserqualität negativ beeinflussen und sich somit auf die menschliche Gesundheit auswirken.

Grösster Handlungsbedarf im Grossraum Zürich

Um den beschriebenen Auswirkungen entgegenzuwirken, braucht es Anpassung. Der grösste Handlungsbedarf im Grossraum Zürich in den Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit besteht aufgrund folgender Gefahren und Effekte³: Hochwasser, Trockenperioden, Hitzewellen und zunehmende Durchschnittstemperatur.

³ Die Definitionen von Gefahren und Effekten beruhen auf der BAFU/ARE-Methodik 2011.

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

Die Definitionen von Gefahren und Effekten beruhen auf der BAFU/ARE-Methodik 2011.

Für viele Auswirkungen 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 inneren Verdichtung zu mehr betroffener Infrastruktur und Gebäuden. Diese Entwicklungen werden die Empfindlichkeit des Grossraumes Zürich gegenüber dem Klimawandel erhöhen und dadurch dessen 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. Aus diesem Grund werden die Auswirkungen in Zusammenhang mit diesen Gefahren in der vorliegenden, klimafokussierten Studie nicht weiter vertieft. Trotzdem gehen wir davon aus, dass die Auswirkungen durch Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan zukünftig zunehmen werden. Grund dafür sind die sozioökonomischen Entwicklungen, welche die Auswirkungen verstärken werden.

Die Gefahren und Effekte mit grösstem Handlungsbedarf können unterschiedliche Auswirkungen auf die betroffenen Bereiche haben. Da das Spektrum an Auswirkungen relativ breit ist, wird für die Ermittlung von Anpassungsmassnahmen auf zwei ausgewählte Auswirkungen pro Bereich fokussiert: Im Bereich Freiraum wird die zunehmende Nutzung von grünen und blauen Freiräumen aufgrund der Zunahme von Hitzewellen betrachtet, sowie die veränderten Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere als Auswirkungen zunehmender Durchschnittstemperatur. Im Gebäudebereich wird auf die durch Hitzewellen erhöhten Raumtemperaturen und den dadurch verursachten Kühlbedarf fokussiert, sowie auf die möglichen Gebäudeschäden durch Hochwasser. Im Bereich Gesundheit werden die direkten gesundheitlichen Auswirkungen von Hitzewellen auf den Menschen im Detail betrachtet, sowie die zunehmende Belastung für Allergiker die durch die längere Pollensaison und neue Allergene aufgrund der zunehmenden Durchschnittstemperatur verursacht werden.

Ermittlung und Beurteilung von Anpassungsmassnahmen

Für diese beiden oben beschriebenen Auswirkungen pro Bereich wurde eine Vielzahl von Anpassungsmassnahmen ermittelt und durch Experten/innen 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 bestehen beispielsweise folgende Anpassungsmassnahmen:

- *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.

Für die veränderte Artenzusammensetzung als Folge der zunehmenden Durchschnittstemperatur wurden u.a. folgende Massnahmen beschrieben:

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

Um der klimabedingten Zunahme der Raumtemperatur und des Kühlbedarfs im Sommer 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 durch Hochwasser verursachte Schäden an Gebäuden zu verhindern, wurden u.a. folgende Anpassungsmassnahmen als prioritär erachtet:

- *Berücksichtigung der zukünftigen klimatischen Entwicklung bei der Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen.*
- Bauliche Schutzmassnahmen bei Neubauten gegen Hochwasser am Gebäude
- Bessere Ausbildung von Baufachleuten in Bezug auf klimaangepasstes Bauen.

Um den direkten gesundheitlichen Folgen von Hitzewellen entgegenzuwirken, bestehen beispielsweise folgende Anpassungsmassnahmen:

- *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.*

- *Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen, beispielsweise durch breit angelegte Informationskampagnen oder gezielte Sensibilisierung von besonders gefährdeten Personengruppen.*

Um der zunehmenden Belastung für Allergiker durch die längere Pollensaison und neue Allergene aufgrund der zunehmenden Durchschnittstemperatur entgegen zu wirken, werden u.a. folgende Anpassungsmassnahmen beschrieben:

- Informationen zum Pollenflug in den Wetterprognosen einschliessen, Warnung der Bevölkerung
- Information der Bevölkerung und spezifischer Akteursgruppen
- Information der Ärzte/innen und des Pflegepersonals

Ausgewählte Anpassungsmassnahmen (oben 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. die Freihaltung bestehender Freiräume oder gesetzliche 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 führen zu Konflikten, aber auch zu Synergien mit anderen Zielsetzungen. 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. Beispiel aus dem Grossraum Zürich ist der Zielkonflikt zwischen der Anpassungsmassnahme «Erhalt bestehender Freiräume im Siedlungsraum» und dem raumplanerischen Ziel der 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 Niederschläge werden aber auch die Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen beeinflusst. Insgesamt werden Effekte *und* Gefahren zunehmen. Entsprechend der schleichenden, langfristigen Effekte werden viele Anpassungen an den Klimawandel ebenfalls schleichend und langfristig passieren. Mit der Zunahme von Gefahren werden immer mehr auch bewusst geplante Anpassungen notwendig werden. Die Gesellschaft wird mit 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 und Ergänzung von Warndiensten bei Hitzewellen*, z.B. über einen SMS-Alarm für Risikogruppen, über ein 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 Beurteilung 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 im Grossraum Zürich handeln können, müssen die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels mit grossem Handlungsbedarf und die möglichen Anpassungsmassnahmen bekannt sein. Der vorliegende Bericht liefert diese Grundlagen für die drei betrachteten Bereiche. Wir empfehlen, betroffene Personengruppen und Entscheidungsträger 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 *immer* die Verminderung der Treibhausgasemissionen stehen. Dies auch im Sinne des nachhaltigen Handelns, welche voraussetzt, dass zukünftige Generationen dieselben Voraussetzungen und Möglichkeiten haben, wie wir sie heute vorfinden. Für die heutige Generation ergibt sich daraus die Forderung, dazu beizutragen, dass die Treibhausgaskonzentration nicht ungebremst zunimmt.

1 Einleitung

In den folgenden Kapiteln werden die Motivation für dieses Forschungsprojekt, die Projektidee und Zielsetzung, die Projektorganisation sowie der Aufbau der Studie beschrieben.

1.1 Motivation und Projektidee

Der Klimawandel ist sowohl global (IPCC 2013) als auch in der Schweiz (CH2011) bereits heute feststellbar. Dies zeigt sich unter anderem durch den mittleren jährlichen Temperaturanstieg. Aufgrund der weiter zunehmenden Treibhausgasemissionen weltweit wird es immer schwieriger, das Ziel der internationalen Klimapolitik noch erreichen zu können (z.B. IEA 2011). Dieses sieht vor, die globale Erwärmung auf weniger als 2 °C⁴ gegenüber dem Niveau vor Beginn der Industrialisierung zu begrenzen. Es muss mit grosser Wahrscheinlichkeit mit einer höheren künftigen Erderwärmung gerechnet werden.

Auf urbane Räume wirkt sich der zu erwartende Klimawandel wegen den hohen Siedlungsdichten, den hohen Wirtschaftsleistungen, der Konzentration von komplexen Infrastrukturanlagen und dem hohen Anteil an versiegelten Flächen in besonderem Masse aus. So können beispielsweise zunehmende Temperaturen besonders im Sommer zu Wärmeinseln in Städten und zu einer Verringerung der Luftfeuchtigkeit führen – beide Auswirkungen können die Gesundheit der Stadtbewohner/innen und die Wirtschaftsleistung der Unternehmen beeinträchtigen. Intensivniederschläge können in Städten und Siedlungen wegen dem hohen Schadenspotenzial mit hohen Kosten verbunden sein.

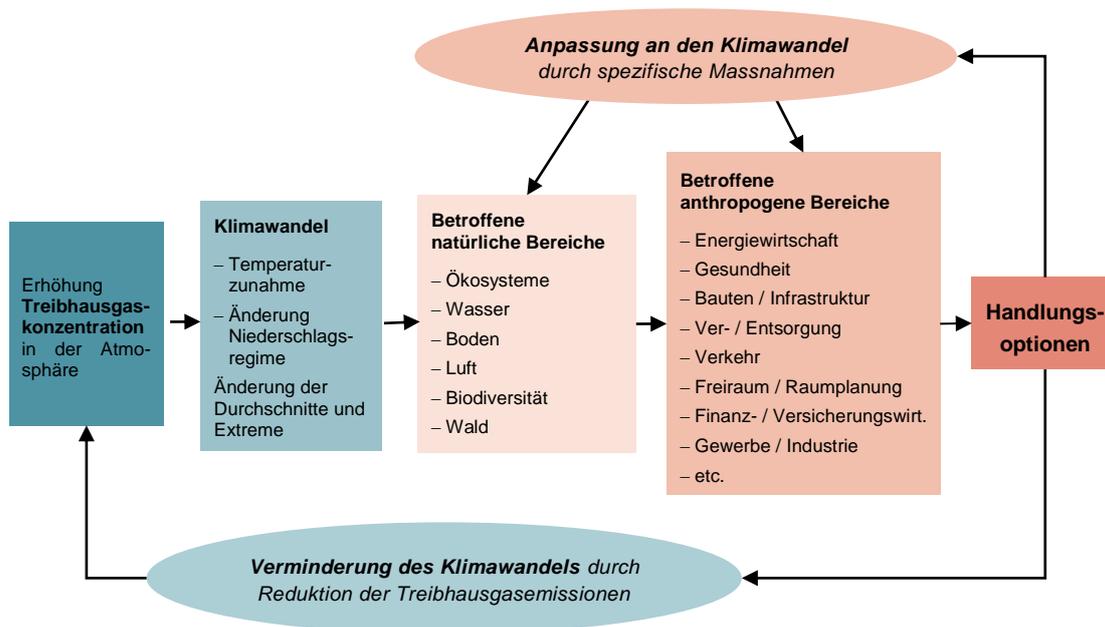
Um auf solche Herausforderungen zu reagieren, gibt es zwei relevante Handlungsoptionen:

- 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.

Folgendes Wirkungsschema zeigt den Zusammenhang zwischen Klimawandel, Auswirkungen auf natürliche und anthropogene Bereiche sowie den beiden Handlungsoptionen:

⁴ 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.

Wirkungsschema «Klimawandel, Auswirkungen und Handlungsoptionen»



BAFU/econcept

Figur 1: Wirkungsschema Klimawandel, Auswirkungen auf das Klima in Stadt- und Siedlungsgebieten sowie mögliche Handlungsoptionen (BAFU/econcept).

In der Schweiz und auf internationaler Ebene laufen seit rund 20 Jahren Bemühungen zur Verminderung der Treibhausgasemissionen. Die bisher ergriffenen Massnahmen auf globaler Ebene reichen jedoch nicht aus, 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 der Treibhausgase fehlt.

Die beschriebene Situation macht deutlich, dass Anpassungsmassnahmen einen hohen Stellenwert haben. Sie können regional und national beschlossen und kurz- bis mittelfristig umgesetzt werden. Zudem können ihre Wirkungen direkt regionalen und nationalen Nutzen schaffen. Anpassungsmassnahmen dienen der Reduktion künftiger klimabedingter Risiken für die Bevölkerung, für natürliche und anthropogene Systeme sowie zur Sicherung von getätigten Investitionen. Im Sinne des Vorsorgeprinzips kommt ihnen in der international blockierten Situation bezüglich der Klimaschutzziele grosse Bedeutung bei der Verminderung künftiger Klimarisiken zu.

Während für den Alpenraum bereits einige Studien bezüglich der Anpassung an den Klimawandel existieren (z.B. OECD, 2007; BMU, 2008), sind bis anhin erst vereinzelte Studien verfügbar, welche die Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Anpassungsmassnahmen für einen urbanen Raum analysieren (z.B. MKULNV 2010, Kanton Basel-Stadt 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 Topographie. 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. Sie werden in ihrem Alltag vom Klimawandel betroffen sein.

Im Hinblick auf die künftigen Auswirkungen des Klimawandels, sowie die Massnahmen die zu ihrem Umgang erforderlich sind, besteht im urbanen Raum eine Wissenslücke, welche den Ausgangspunkt für die vorliegende Studie darstellt.

Die Projektidee bzw. Zielsetzung für die vorliegende Studie wurde wie folgt festgelegt:

Im Rahmen der Studie werden die Auswirkungen des Klimawandels auf den urbanen Grossraum Zürich (Figur 3) analysiert. Dabei liegt der Fokus auf den drei Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit. Für die Auswirkungen mit dem grössten Handlungsbedarf werden mögliche Anpassungsoptionen aufgezeigt und betreffend ihrer Nachhaltigkeit für Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft evaluiert.

1.2 Aufbau der Studie

Im Kapitel 2 wird die **Systemgrenze** der vorliegenden Studie definiert (Unterkapitel 2.1). Dazu gehört einerseits der Untersuchungsperimeter, andererseits die Definition der drei betrachteten Bereiche. Zusätzlich wird in diesem Kapitel das schrittweise Vorgehen im Rahmen des Projektes schematisch dargestellt und das **Vorgehen** bezüglich der angewandten **Methoden** beschrieben (Unterkapitel 2.2).

Um Möglichkeiten und Strategien zur Anpassung an den Klimawandel aufzeigen zu können, werden im Kapitel 3 die analytischen Grundlagen beschrieben. Dabei steht die Frage im Zentrum, wie stark der Grossraum Zürich in Zukunft vom Klimawandel betroffen sein wird. Dies ist nicht nur von der Änderung klimatischer Parameter abhängig, sondern auch von den Charakteristiken und Prozessen innerhalb des Raumes, welche die Schadenshöhe in ökonomischer, ökologischer und sozialer Hinsicht bestimmen und das Bewältigungspotenzial beeinflussen. Somit wird im Grundlagenkapitel einerseits das Ausmass und die Art der Betroffenheit des Grossraumes Zürich vom **Klimawandel** beschrieben (Unterkapitel 3.1), also inwieweit die Region von Änderungen der Klimaparameter (Temperatur und Niederschlag) und Extremereignissen betroffen ist. Andererseits wird auch die **sozioökonomische Entwicklung** der Region beschrieben (Unterkapitel 3.2), um die Auswirkungen durch den Klimawandel auch vor diesem Hintergrund beurteilen zu können. Und schliesslich spielt auch die **Sensitivität** (Unterkapitel 3.3) des Grossraumes Zürich eine wichtige Rolle. Diese beschreibt die Empfindlichkeit eines Systems, bzw. einer Region gegenüber den Auswirkungen durch den Klimawandel. 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. Inwiefern sich die Sensitivität gegenüber dem Klimawandel in Zukunft verändern wird, ist abhängig von der sozioökonomischen Entwicklung.

Im Kapitel 4 werden die **Auswirkungen des Klimawandels** auf die drei Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit beschrieben. Dabei wird erläutert, wie sich die durch den Klimawandel veränderten Gefahren und Effekte auf die drei Bereiche Freiraum (Unterkapitel 4.1), Gebäude (Unterkapitel 4.2) und Gesundheit (Unterkapitel 4.3) auswirken.

Für welche der beschriebenen Auswirkungen in den drei Bereichen **Handlungsbedarf** besteht, wird im Kapitel 5 bestimmt. Dazu wurden in einem ersten Schritt mit Hilfe von Relevanzmatrizen die Auswirkungen in den drei Bereichen Freiräume, Gebäude und Gesundheit in Relevanzklassen eingeteilt (Unterkapitel 5.1). In einem zweiten Schritt wurden die als «sehr relevant» bewerteten Auswirkungen geografisch lokalisiert. Dazu wurden die vorhandenen räumlichen Daten des heutigen Auftretens der Gefahren und Effekte mit bereichsrelevanten räumlichen Daten zu bestehenden Sensitivitäten kombiniert (Unterkapitel 5.2). Aus der Synthese (Unterkapitel 5.3) ergibt sich so eine geografisch gewichtete Priorisierung des Handlungsbedarfs im Grossraum Zürich.

Im Kapitel 6 werden für die Auswirkungen mit dem grössten Handlungsbedarf mögliche **Anpassungsmassnahmen** aufgezeigt. Diese werden in einem Workshop durch Experten/innen priorisiert (Unterkapitel 6.1). Anschliessend werden die prioritären Anpassungsoptionen mit einer eigens entwickelten Methodik anhand von Nachhaltigkeitskriterien umfassend beurteilt (Unterkapitel 6.2).

Das Kapitel 7 fasst abschliessend **Schlussfolgerungen, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf** aus der Studie «Der Klimawandel im Grossraum Zürich – Auswirkungen und Anpassungsoptionen» zusammen.

Die folgende Figur 2 stellt den beschriebenen Studienaufbau schematisch dar:

Schematische Darstellung des Studienaufbaus



Figur 2: Studienaufbau

2 Systemgrenze und Methodik

In diesem Kapitel werden die Systemgrenze, das Vorgehen und die im Rahmen des Projektes angewandten Methoden beschrieben.

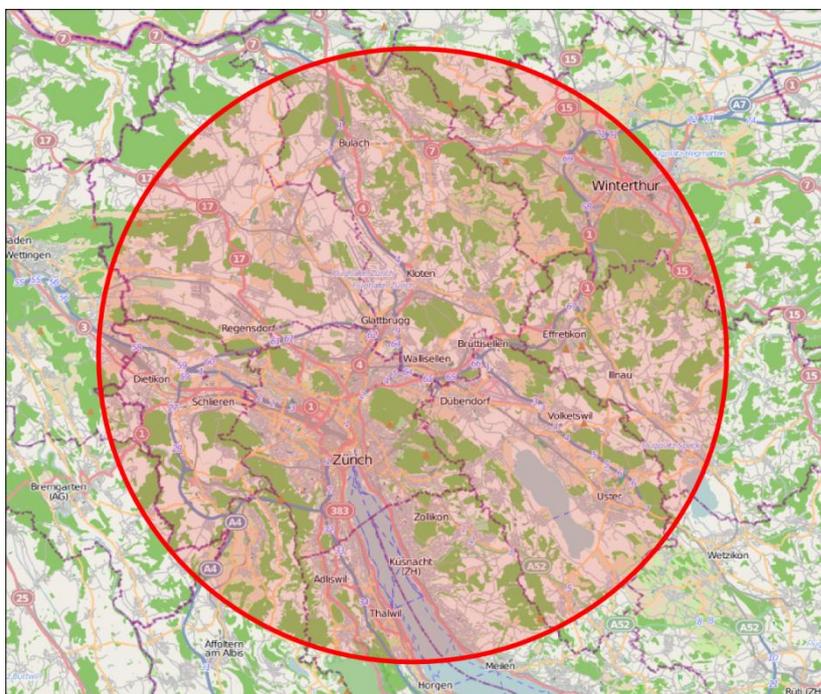
Im ersten Unterkapitel zur Systemgrenze werden der Untersuchungsperimeter «Grossraum Zürich» definiert sowie die drei analysierten Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit kurz beschrieben (Unterkapitel 2.1). Anschliessend wird das Vorgehen anhand der wichtigsten Arbeitsschritte und deren zeitlichen Staffelung skizziert (Unterkapitel 2.2). Im Unterkapitel 2.2 wird schliesslich auf die verwendeten Methoden eingegangen.

2.1 Systemgrenze

2.1.1 Der Untersuchungsperimeter Grossraum Zürich

Das Untersuchungsgebiet «Grossraum Zürich» entspricht in der vorliegenden Studie dem urbanen Raum im Gebiet Uster – Winterthur – Bülach – Dietikon/Schlieren – Thalwil, inklusive der Stadt Zürich im Zentrum. Folgende Grafik gibt einen Überblick über den Untersuchungsperimeter:

Grossraum Zürich



econcept

Figur 3: Der Grossraum Zürich wird in der vorliegenden Studie wie folgt definiert: Uster – Winterthur – Bülach – Dietikon/Schlieren – Thalwil, inklusive der Stadt Zürich im Zentrum.

Für die Analysen und Auswertungen wurden die Gemeinden bestimmt, die den urbanen Raum innerhalb des Perimeters definieren (vgl. Anhang A-1).

2.1.2 Die drei analysierten Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde entschieden, sich auf drei ausgewählte Bereiche zu fokussieren. Es sind dies 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 deren 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, welche 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. Betrachtet werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gebäude, das Raumklima sowie den Energiebereich.

Gesundheit

Im Bereich Gesundheit stehen die direkten und indirekten Folgen des Klimawandels auf 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.

2.2 Methodik

Ein relevanter Teil der vorliegenden Studie basiert auf Literaturanalysen aktueller, wissenschaftlicher Ergebnisse sowie Experten/innen-Wissen, welches im Rahmen von Workshops, Gesprächen und schriftlichem Austausch abgeholt wurde. Zudem wurde teilweise auf methodische Ansätze aus der «Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz» zurückgegriffen, die im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE) entwickelt wurde (BAFU/ARE 2011). Von dieser Methode konnten verschiedene Systematiken und Ansätze übernommen werden, auf welche an den entsprechenden Stellen jeweils verwiesen wird. Die vorliegende Studie ist jedoch weiterreichend, sodass die BAFU/ARE-Methode nicht alle Fra-

gestellungen abdecken konnte. Aus diesem Grund kommen weitere methodische Ansätze zum Einsatz, welche jeweils im Rahmen der betreffenden Kapitel beschrieben werden.

Folgende Aufzählung gibt einen groben Überblick über die verwendeten Methoden:

- Kapitel 3: Analytische Grundlagen: *Literatur- und Dokumentenanalyse, internes und externes Experten/innen-Wissen*
- Kapitel 4: Auswirkungen des Klimawandels auf drei für den Grossraum Zürich relevante Bereiche: *Literatur- und Dokumentenanalyse, internes und externes Experten/innen-Wissen*
- Kapitel 5: Bestimmung der Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf für den Grossraum Zürich: *Experten/innen-Workshop, Datenanalyse, Synthesearbeit*
- Kapitel 6: Ermittlung und Beurteilung von Anpassungsoptionen für den Grossraum Zürich: *Literatur- und Dokumentenanalyse, Experten/innen-Workshop, konzeptionelle Arbeiten, Beurteilung mittels einer Multikriterienanalyse in den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (Gesellschaft, Umwelt, Volkswirtschaft)*
- Kapitel 7: Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Forschungsbedarf: *Synthese und redaktionelle Arbeit*

3 Analytische Grundlagen

Die Erarbeitung der analytischen Grundlagen umfasst den bisher beobachtbaren und den zukünftigen Klimawandel, das sozioökonomische Szenario sowie die bestehenden Sensitivitäten des Grossraums Zürich.

Die Grundlagen für dieses Kapitel bildeten Literatur- und Dokumentenanalysen sowie internes und externes Experten/innen-Wissen. Neben den neusten verfügbaren Klimaszenarien für die Schweiz (CH2011, 2011; MeteoSchweiz, 2013b) wurden zahlreiche weitere Daten und Studien des Kantons, von Gemeinden und weiterer lokaler Quellen verwendet.

3.1 Der Klimawandel im Grossraum Zürich

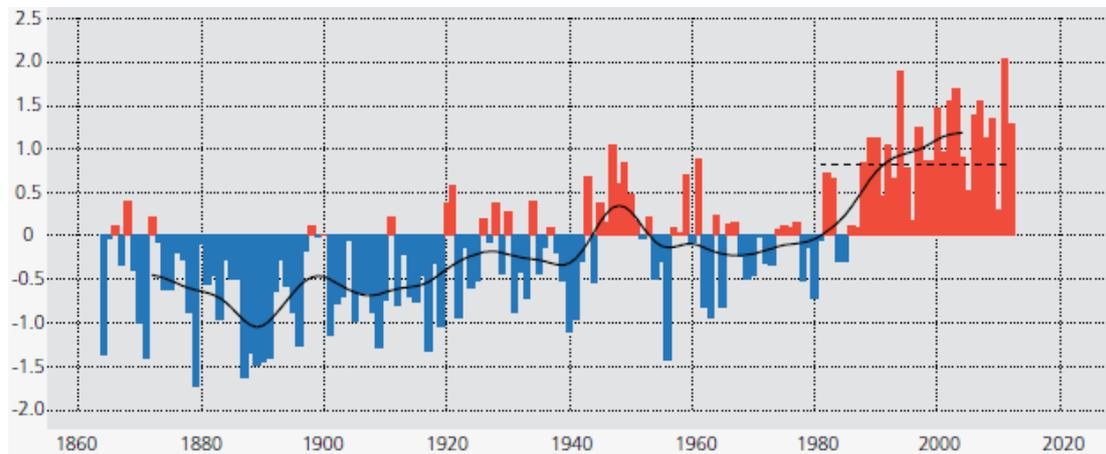
Ausgehend von den bisherigen Beobachtungen der Klimaänderungen wird im Hauptteil dieses Kapitels die zukünftige Klimaentwicklung in der Schweiz und insbesondere im Grossraum Zürich beschrieben. Der Beschrieb des zu erwartenden Klimawandels für den Grossraum Zürich entstand basierend auf den neusten verfügbaren Klimaszenarien für die Schweiz (CH2011, 2011; MeteoSchweiz, 2013b) sowie in Zusammenarbeit mit Meteo Schweiz und weiteren Fachexperten/innen.

Das Unterkapitel 3.1.3 systematisiert den bisher beobachtbaren und zukünftigen Klimawandel gemäss der BAFU/ARE-Methodik in den Kategorien «Gefahren und Effekte» (BAFU/ARE 2011). Diese Gefahren und Effekte dienen im Verlaufe der Studie der systematischen Beschreibung der Auswirkungen des Klimawandels und der Bestimmung des Handlungsbedarfs.

3.1.1 Bisherige Beobachtungen in der Schweiz

In den vergangenen 100 Jahren (1912-2011) konnte schweizweit eine mittlere Temperaturzunahme von 1,5° C beobachtet werden. Diese Erwärmung hat sich in den letzten 50 Jahren stark beschleunigt und ist ungefähr 1,6-mal grösser als die durchschnittliche Erwärmung der Nordhalbkugel (MeteoSchweiz, 2013b). Diese Temperaturzunahme ist Grund für den Rückgang der Gletscher und der Schneebedeckung, sowie für die Abnahme der Frosttage. Im Gegenzug konnte in den letzten 50 Jahren eine Zunahme der Sommertage im Flachland beobachtet werden (MeteoSchweiz, 2013b). Im Gegensatz zu der klaren Temperaturzunahme in der Vergangenheit, sind die beobachteten Niederschlagsentwicklungen statistisch nicht signifikant, weshalb klare Aussagen bezüglich der Niederschlagsänderung nur schwer möglich sind. Grund dafür ist die grosse regionale, saisonale und jährliche Variabilität des Niederschlags.

Abweichungen der mittleren Jahrestemperatur vom Durchschnitt der Jahre 1961 bis 1990 in der Schweiz



Figur 4: Verlauf der Temperatur in der Schweiz seit Beginn der systematischen Messungen im Jahre 1864. Dargestellt in rot und blau ist die jährliche Abweichung der Temperatur von der Periode 1961 bis 1990. Die schwarze Kurve zeigt den geglätteten Verlauf und die gestrichelte Linie das Niveau des Mittels 1981 bis 2010. (MeteoSchweiz 2013)

3.1.2 Klimaszenarien 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, welche unterschiedliche zukünftige Entwicklungen der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration aufzeigen unter Berücksichtigung zukünftiger demographischer, wirtschaftlicher und technologischer Entwicklungen (vgl. dazu auch Ausführungen im Glossar).

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

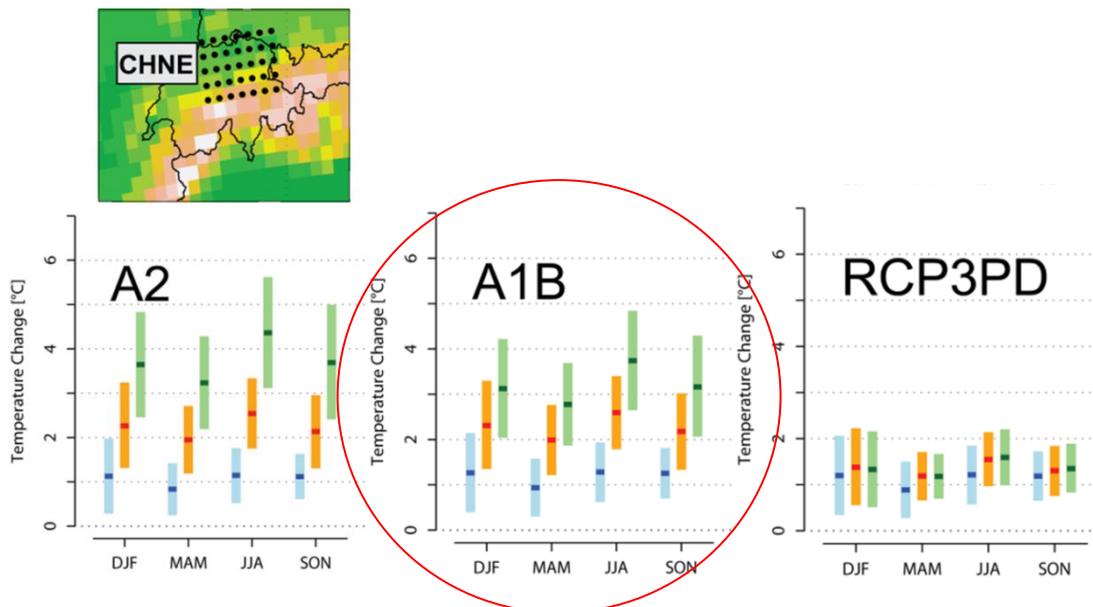
Um die projizierte Klimaveränderung für den Grossraum Zürich zu beschreiben, stützen wir uns einerseits auf die neusten verfügbaren Klimaszenarien für die Schweiz (CH2011, 2011), in der die Schweiz in drei Regionen: Nordostschweiz, Nordwestschweiz und Südschweiz eingeteilt wird. Dabei fokussieren wir auf den Ergebnissen für die Nordostschweiz. Andererseits ziehen wir die regionale Übersicht der Klimaszenarien (MeteoSchweiz, 2013b) 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 von 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 deutliche stärker ausfallen dürfte als in den restlichen Jahreszeiten (MeteoSchweiz, 2013b).

Projizierte zukünftige Temperaturänderungen Region Nordostschweiz



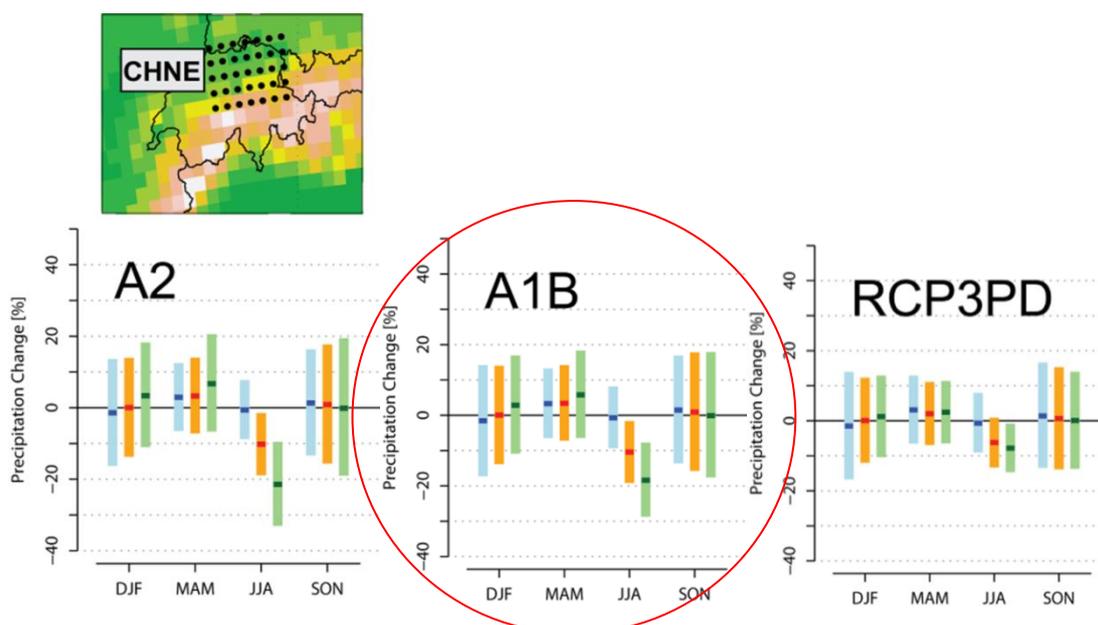
Figur 5: Projizierte zukünftige Temperaturänderungen (° C) für die drei verschiedenen Szenarien (A2, A1B, RCP3PD), für die Region Nordostschweiz (CHNE) und die vier Jahreszeiten: Winter (DJF: Dezember-Februar), Frühling (MAM: März-Mai), Sommer (JJA: Juni-August) und Herbst (SON: September-November). Projektionen entsprechen einem 30-jährigen Durchschnitt, zentriert um 2035 (blau), 2060 (orange) und 2085 (grün) und in Bezug auf die Referenzperiode von 1980-2009 (CH2011, 2011: 33).

Erwartete Niederschlagsänderungen

Basierend auf den aktuellen Klimamodellierungen ist es schwierig, eindeutige Tendenzen betreffend zukünftiger Niederschlagsmuster auszumachen. Einerseits trägt die natürliche Variabilität des Klimas zur Unsicherheit bei, andererseits die geografische Lage der Schweiz innerhalb Europas: Da die Schweiz während den 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 zwischen 1.6 und 19.2 Prozent voraus (CH2011, 2011).

Projizierte zukünftige Niederschlagsänderungen



Figur 6: Projizierte zukünftige Niederschlagsänderungen für die drei verschiedenen Szenarien (A2, A1B, RCP3PD), 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 2035 (blau), 2060 (orange) und 2085 (grün) und in Bezug auf die Referenzperiode von 1980-2009 (CH2011, 2011: 37).

In Figur 5 und Figur 6 wird ersichtlich, dass die Wahl des Emissionsszenarios keinen erkennbaren Einfluss auf die Temperatur- und Niederschlagsprojektionen für die Projektion zentriert um 2035 (blau) hat. Grund dafür ist die Trägheit des Klimasystems und die Ähnlichkeit der zugrunde liegenden Emissionsszenarien bis 2035. Dadurch fallen die Klimaprojektionen für den Zeitraum bis 2035 für viele Szenarien gleich aus (CH2011). Nach 2035 werden die Unterschiede zunehmend sichtbar, so auch für die Projektion zentriert um 2060 (orange), die den Zeithorizont der vorliegenden Studie darstellt.

Extremereignisse

Als Extremereignisse gelten jene Ereignisse, die an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Jahreszeit selten⁵ auftreten. In jüngster Vergangenheit hat die Schweiz mehrere extreme Wetterereignisse mit schweren sozioökonomischen und ökologischen Folgen erlebt, so zum Beispiel der Wintersturm «Lothar» im Jahr 1999 und der 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

⁵ 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).

teilweise oder gar nicht in den Modellen erfasst (z.B. Hagel und Tornados), weshalb die zukünftige Änderung unsicher ist (MeteoSchweiz, 2013b).

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.

Für die Zukunft wird eine Zunahme von Hitzewellen voraus gesagt, sodass gegen Ende des Jahrhunderts jeder zweite Sommer mindestens so warm wäre wie jener extreme Sommer im 2003 (Schär et al., 2004). Gleichzeitig wird auch eine Zunahme von warmen Nächten projiziert.

Auch für den Winter werden Wärmeeinbrüche vorausgesagt, wohingegen extreme Kälteperioden seltener auftreten werden. Die Schneefallgrenze wird sich nach oben verschieben, was, auf Kosten des Schneefalls, zu häufigeren Niederschlägen in Form von Regen führen wird. Dieser Effekt könnte das Überschwemmungsrisiko während dem Winterhalbjahr erhöhen, insbesondere im Flachland und im Jura (CH2011, 2011).

Aussagen über die künftige Entwicklung von Extremereignissen wie Intensivniederschlägen, Stürmen, Trockenperioden, etc. sind nur beschränkt möglich. Die Robustheit der Projektionen variieren je nach Ereignis: Während eine zukünftige Zunahme von Hitzewellen im Sommer und eine Abnahme von Kälteperioden im Winter mit grosser bis sehr grosser Sicherheit vorausgesagt werden, ist das Verständnis der Änderungsprozesse für Starkniederschlagsereignisse und Trockenperioden mässig. Tendenziell dürften Intensivniederschläge und Trockenperioden eher zunehmen, wobei sich die Zunahme von Trockenperioden auf den Sommer beschränkt. Betreffend Winterstürmen wird ein selteneres Auftreten erwartet, dafür wird tendenziell eine stärkere Intensität erwartet. Das wissenschaftliche Verständnis dieses Änderungsprozesses ist allerdings gering, gleich wie für die zukünftige Entwicklung von Hagelstürmen und Tornados, welches kleinräumige Prozesse sind und deshalb von den Modellen nicht ausreichend abgebildet werden können (CH2011, 2011; MeteoSchweiz, 2013b).

Einen Überblick über die beobachteten Veränderungen in der Vergangenheit und die erwarteten Entwicklungen von Extremereignissen liefert folgende Tabelle 2.

Extremereignis	Prozessbasierte Erwartung ⁶	Beobachtete Veränderungen in den vergangenen Jahrzehnten	Projektierte Veränderungen	Level des wissenschaftlichen Verständnis ⁷
Sommerhitzewellen	Zunehmende Frequenz und Intensität; Verstärkung durch Bodentrockenheit	Zunehmende Frequenz und Dauer	Zunehmende Frequenz, Intensität und Dauer	hoch – sehr hoch
Winterkältewellen	Generelle Abnahme zusammen mit der Erwärmung, potenziell verstärkt durch die Albedo des Schnees	Schwach abnehmende Frequenz und Dauer	Abnehmende Frequenz und Dauer, intensive Kälteperioden sind aber auch unter zukünftigem Klima möglich	mittel – hoch
Intensivniederschläge	Intensiver aufgrund der grösseren Wasserspeicherkapazität warmer Luft	Zunehmende Frequenz von starken Winterniederschlägen	Schwache Tendenz in Richtung vermehrten Intensivniederschlägen im Herbst, potenzielle Zunahme im Sommer und Winter	mittel
Trockenperiode	Vergrössertes Risiko von Sommer Dürre aufgrund verstärkter Verdunstung	Keine robusten Trends, schwache Tendenz in Richtung zunehmender Frequenz in der Südschweiz	Tendenz in Richtung zunehmendem Risiko von Trockenperioden und Dürren im Sommer	mittel
Winterstürme	Intensivierung der Wirbelstürme aufgrund der grösseren latenten Wärmefreisetzung	Keine robusten Trends	Keine kohärente Evidenz für Veränderungen, vereinzelte Modelle tendieren zu abnehmender Frequenz, aber zunehmender Intensität	niedrig
Hagel	Kein klares Zeichen, mehrere gegenläufige Effekte	Schwache Zunahme der Versicherungsansprüche aufgrund von Hagelschäden	Keine modellierte Evidenz für Veränderungen	sehr niedrig
Tornados	Kein klares Zeichen, konkurrierende Effekte	Keine Evidenz für Veränderungen	Keine modellierte Evidenz für Veränderungen	sehr niedrig
Intensiver Schneefall im Flachland	Kein klares Zeichen, wärmere Winter und Niederschlagszunahme sind gegenläufige Faktoren in den niederen Lagen	Keine Evidenz für Veränderungen	Keine modellierte Evidenz für Veränderungen	niedrig

Tabelle 2: Beobachtete Veränderungen in der Vergangenheit und erwarteten Entwicklungen von Extremereignissen, inklusive der Robustheit der Projektionen. (Quelle: CH2011, 2011:48, aus dem Englischen übersetzt)

⁶ Die erwarteten Veränderungen unter zunehmender atmosphärischer Treibhausgas-Konzentration, basierend auf dem aktuellen Verständnis der physikalischen Prozesse

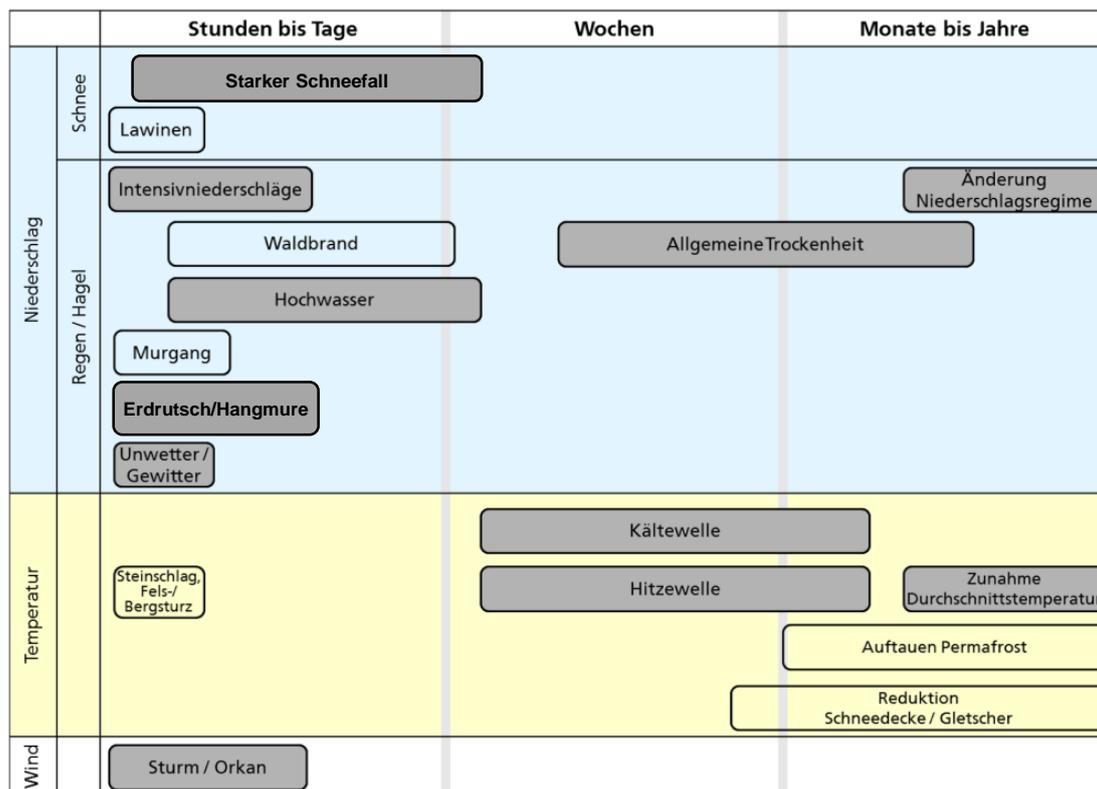
⁷ Level des wissenschaftlichen Verständnis: Dies ist ein 5-stufiger Index (sehr hoch, hoch, mittel, gering, sehr gering) um das wissenschaftliche Verständnis zu charakterisieren. Der Index repräsentiert eine subjektive Experteneinschätzung der Verlässlichkeit der Schätzung, indem Faktoren wie die Signifikanz der Beobachteten Änderungen involviert werden, die Unsicherheiten bezüglich der Modellunsicherheit, die Übereinstimmung verschiedener Modelle und das theoretische Prozessverständnis.

3.1.3 Gefahren und Effekte im Grossraum Zürich

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 (= Effekte), wie den im Unterkapitel 3.1.2 beschriebenen Veränderungen der Durchschnittstemperatur und des Niederschlags, und den plötzlich auftretenden Ereignissen (= Gefahren), wie die im gleichen Unterkapitel beschriebenen Extremereignisse. Unter dem Klimawandel wird sich die Intensität und Auftretenshäufigkeit der Gefahren und Effekte verändern.

Folgende Figur zeigt kurz-, mittel- und langfristige Gefahren und Effekte. Die grau hinterlegten Gefahren und Effekte sind jene, die für den betrachteten Projektperimeter relevant sind.

Gefahren und Effekte nach dem Zeitraum ihres Auftretens



Figur 7: Kurz-, mittel- und langfristige Gefahren und Effekte. Die für den Projektperimeter besonders relevanten Aspekte sind grau hinterlegt (angepasst, nach BAFU / ARE, 2011 und BAFU, 2011a). «Gefahren» werden als plötzlich auftretende Ereignisse definiert, wie zum Beispiel Hochwasser, «Effekte» als schleichenden Entwicklungen, wie zum Beispiel die Zunahme der Durchschnittstemperatur.

Eine detaillierte Beschreibung der in obiger Figur grau hinterlegten Gefahren und Effekte findet sich in Anhang 2.

Die Gefahren und Effekte verändern unter dem Klimawandel teilweise ihre Intensität, ihre Auftretenshäufigkeit und/oder ihre Dauer. Nachfolgende Tabelle gibt Hinweise zu den erwarteten Veränderungen:

Gefahr/Effekt	Veränderung der Gefahr/Effekt unter Klimawandel
Starker Schneefall	Bezüglich der zukünftigen Veränderung von intensivem Schneefall bestehen grosse Unsicherheiten (vgl. Tabelle 1). 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 5-7 Tage abnehmen werden (MeteoSchweiz, 2013b).
Hochwasser	Der Klimawandel wird Auswirkungen auf die Abflüsse haben: 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 steigen ⁸ (BAFU, 2012b). Die tendenzielle Zunahme von Intensivniederschlägen (vgl. Tabelle 1) könnte die Situation zusätzlich verschärfen.
Erdrutsch / Hangmure	Intensivniederschläge können u.a. Auslöser für Rutschungen und Hangmuren sein (BAFU, 2009). Aufgrund der tendenziell zunehmenden Intensivniederschläge im Grossraum Zürich kann zukünftig von einer tendenziellen Zunahme von Rutschungen und Hangmuren ausgegangen werden (eigene Einschätzung).
Unwetter/Gewitter (Hagel, Blitz, Böen, Intensivniederschlag)	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, welche von den Klimamodellen nicht ausreichend abgebildet werden können (vgl. Kapitel 3.1.2).
Änderung im Niederschlagsregime	Für die Nordostschweiz sagt das A1B-Szenario bis 2060 für den Sommer eine Abnahme der Niederschläge voraus (vgl. Kapitel 3.1.2). Bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Niederschläge während den Jahreszeiten Herbst, Winter und Frühling sind gemäss heutigem Wissensstand keine Aussagen möglich.
Allgemeine Trockenheit	Betreffend Trockenheit zeigen die Modelle in Richtung zunehmendes Risiko von Trockenperioden und Dürren im Sommer (vgl. Tabelle 1).
Kältewelle	Betreffend Kältewellen lassen die Modelle eine abnehmende Frequenz und Dauer erwarten. Intensive Kälteperioden sind aber auch unter dem zukünftigen Klima möglich (vgl. Tabelle 1).
Hitzewelle	Unter dem Klimaszenario (A1B) werden Hitzewellen in ihrer Frequenz, Intensität und Dauer insbesondere im Sommer zunehmen (vgl. Tabelle 1).
Zunahme Durchschnittstemperatur	Die Klimamodelle prognostizieren eine weitere Zunahme der Durchschnittstemperaturen für alle Jahreszeiten (vgl. Kapitel 3.1.2).
Sturm/Orkan	Gemäss heutigem Wissensstand sind keine Aussagen bezüglich der zukünftigen Entwicklung von Stürmen / Orkanen unter dem Klimawandel möglich.

Tabelle 3: Veränderung der für das vorliegende Projekt relevanten Gefahren und Effekte unter dem Klimawandel im Grossraum Zürich.

Starker Schneefall, Hochwasser, Erdrutsch / Hangmuren und Unwetter/Gewitter sind Gefahren welche in engem Zusammenhang mit Intensivniederschlägen stehen. Für Intensivniederschläge wird eine tendenzielle Zunahme während allen Jahreszeiten erwartet.

Die Gefahren und Effekte – und wie sie sich unter dem Klimawandel verändern – dienen im Rahmen dieser Studie der systematischen Beschreibung der Auswirkungen des Kli-

⁸ 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).

mawandels (vgl. Kapiteln 4.1 bis 4.3) und der Bestimmung des Handlungsbedarfs (vgl. Kapitel 5).

3.2 Sozioökonomisches Szenario für den Grossraum Zürich

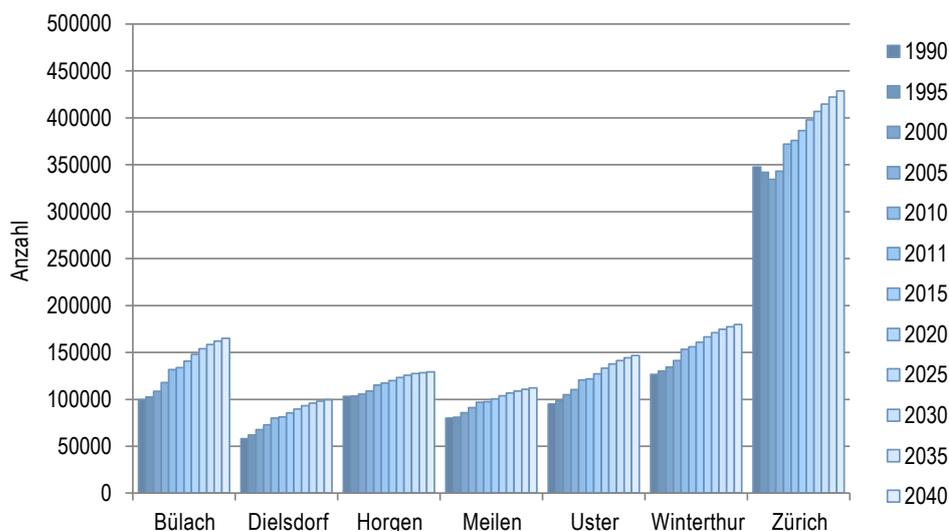
Für alle Auswirkungen durch Gefahren und Effekte gilt, dass sie sich neben der Verstärkung durch den Klimawandel zukünftig auch aufgrund der sozioökonomischen Entwicklung im Grossraum Zürich verstärken können. Konkret bedeutet dies, dass sich zukünftig beispielsweise die Auswirkungen durch Hochwasser 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. Dieses 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.

3.2.1 Bevölkerung

Die Bevölkerung im Kanton Zürich hat in den letzten Jahren jährlich zugenommen. Die Bevölkerungsprognosen 1990-2040 des Kantons Zürich beruhen auf der Fortsetzung dieser Entwicklungen. Weiter gehen sie davon aus, dass die momentan 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. Aufgrund fehlender entsprechender Daten für den Kanton Zürich, gehen wir für den Grossraum Zürich ab 2040 ebenfalls von einer weiteren Abnahme des Bevölkerungswachstums und ab 2050 von einer Stagnation aus.

Bevölkerungsprognosen in den betrachteten Züricher Bezirken 1990-2040



econcept

Figur 8: Bevölkerungsprognosen der betrachteten Bezirke 1990-2040, Prognoselauf 2012 (STAT), (Quelle: Statistisches Amt des Kantons Zürich)

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 demographische Alterung stattfinden. Gründe dafür sind die steigende Lebenserwartung und die insgesamt niedrige Geburtenrate. Zudem kommen geburtsstarke Jahrgänge in den kommenden Jahren ins Rentenalter. In der Stadt Zürich zeigt sich hingegen ein anderes Bild (Stadt Zürich, 2012b): Es wird erwartet, dass die Zunahme der Altersgruppe der über 80-jährigen am geringsten ausfallen wird. Grund dafür ist die Abwanderung von älteren Personen und die Zuwanderung von jungen Erwachsenen.

3.2.2 Beschäftigte

Der Kanton Zürich prognostiziert in den Jahren 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 Jahre 2035 ein überproportionales Wachstum des tertiären Sektors und ein entsprechend unterproportionales Wachstum der anderen Wirtschaftssektoren erwartet. Da im Grossraum Zürich ein überdurchschnittlicher 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.

3.2.3 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 aktuel-

ler 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). Gegenläufige Entwicklungen zur Ausdehnung der Siedlungsfläche 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.

3.3 Die Sensitivität des Grossraums Zürich

Wie stark die Auswirkungen des Klimawandels (negative als auch positive) im Grossraum Zürich spürbar sind, hängt nebst der beschriebenen Exposition (Unterkapitel 3.1) des Gebiets auch von dessen Sensitivität ab. Diese beschreibt die *heutige* Empfindlichkeit eines Systems, bzw. einer Region gegenüber den Gefahren und Effekten. Inwiefern sich die Sensitivität *in Zukunft* verändern wird, ist zu einem grossen Teil abhängig von der sozioökonomischen Entwicklung (Unterkapitel 3.2). Denn diese wird die unterschiedlichen Faktoren, die zu einer erhöhten Empfindlichkeit einer Region gegenüber Gefahren und Effekten beitragen, beeinflussen. Die für den Grossraum Zürich besonders relevanten Faktoren, nämlich (1) die Bevölkerung, (2) der Wirtschaftsstandort, (3) die versiegelten Flächen und die Infrastrukturanlagen sowie (4) das Stadtklima, werden in den nachfolgenden Kapiteln kurz beschrieben.

Für die Entwicklung und den Beschrieb der Sensitivitäten, wurden Daten und Studien des Kantons, der Stadt Zürich und weiterer lokaler Quellen verwendet.

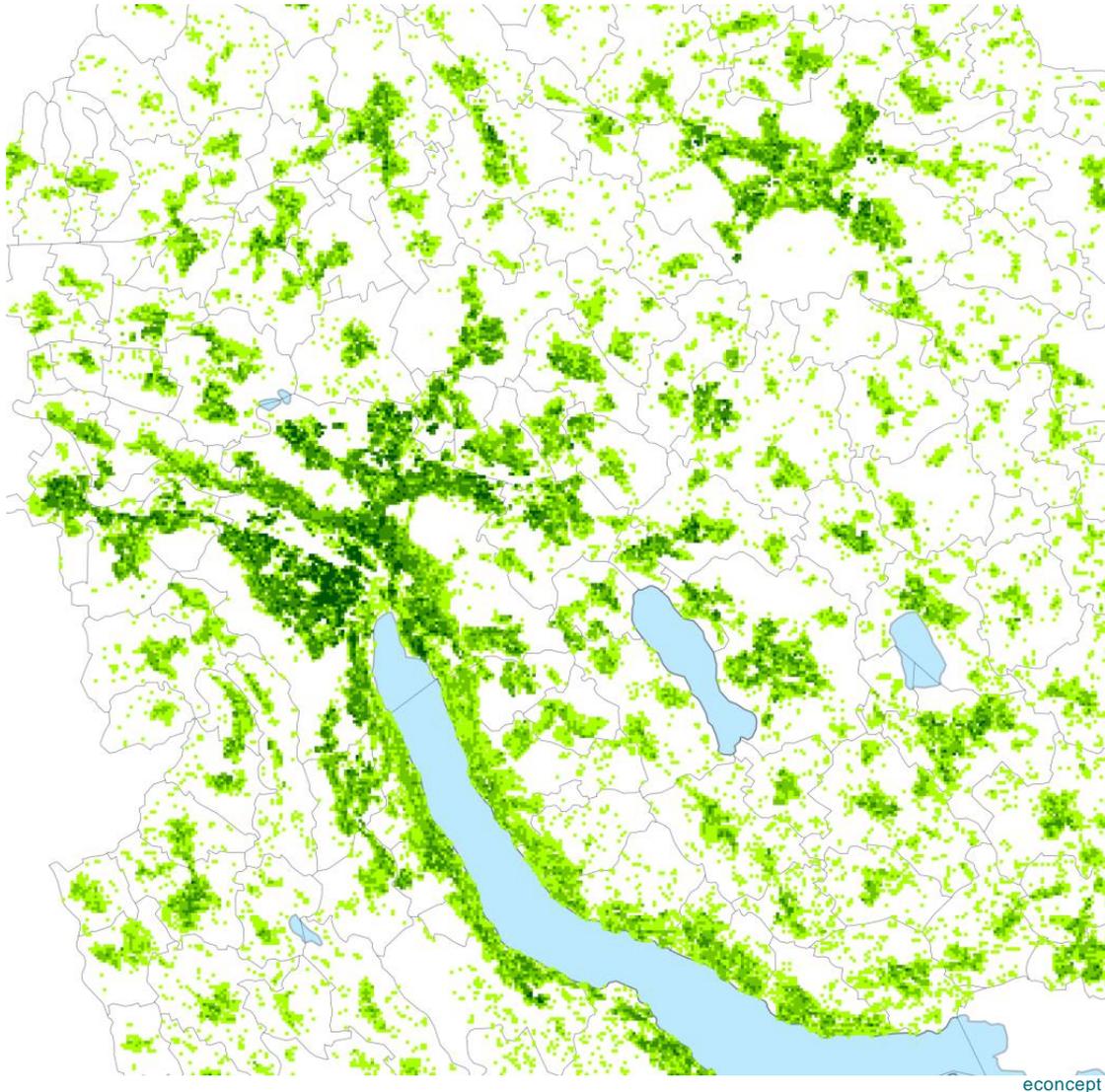
3.3.1 Bevölkerung⁹

Der in dieser Studie betrachtete urbane Grossraum Zürich ist geprägt durch eine hohe Bevölkerungsdichte. Die Stadt Zürich hat mit rund 42 Einwohnern/ha die höchste Bevölkerungsdichte des Kantons. Wie in der Figur 9 ersichtlich, weisen auch die anderen betrachteten Gemeinden des Grossraums Zürich eine hohe Bevölkerungsdichte auf (z.B. Winterthur mit 15 Einwohner/ha).

Die hohe Bevölkerungsdichte stellt bereits heute eine Empfindlichkeit der Region gegenüber dem Klimawandel dar, da im betrachteten Raum viele Personen leben und von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein werden. Das gemäss sozioökonomischem Szenario erwartete weitere Bevölkerungswachstum (Unterkapitel 3.2) trägt zu einer zukünftigen Verstärkung dieser Sensitivität bei.

⁹ In der vorliegenden Studie wird die Bevölkerung nach zivilrechtlichem Wohnsitzbegriff definiert.

Bevölkerungsdichte Grossraum Zürich



Figur 9: Bevölkerungsdichte (Einwohner/ha) im Grossraum Zürich, grün: je dunkler desto grösser
(Quelle: Kanton Zürich 2012c)

Ist der Anteil an verletzlichen Personen (wie ältere Menschen, Kranke, schwangere Frauen und Säuglinge) in der Bevölkerung gross, erhöht dies die Empfindlichkeit zusätzlich (siehe dazu auch Kapitel 4.3).

Betrachtet man die Altersstruktur in den verschiedenen Gemeinden und vergleicht man sie mit dem durchschnittlichen Anteil der über 65-jährigen, der im Jahr 2011 im gesamten Kanton bei 16 Prozent lag, heben sich insbesondere die Seeufergemeinden (Bezirke Horgen und Meilen) mit einem überdurchschnittlichen Anteil an älteren Leuten ab. Die Städte Winterthur und Uster, sowie das Limmattal und das Glatttal liegen im Durchschnitt, die Stadt Zürich mit 17 Prozent etwas darüber (Kanton Zürich, 2012b).

Aus der Betrachtung der Geburtenrate können 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 (Kanton Zürich, 2012b). Im betrachteten Perime-

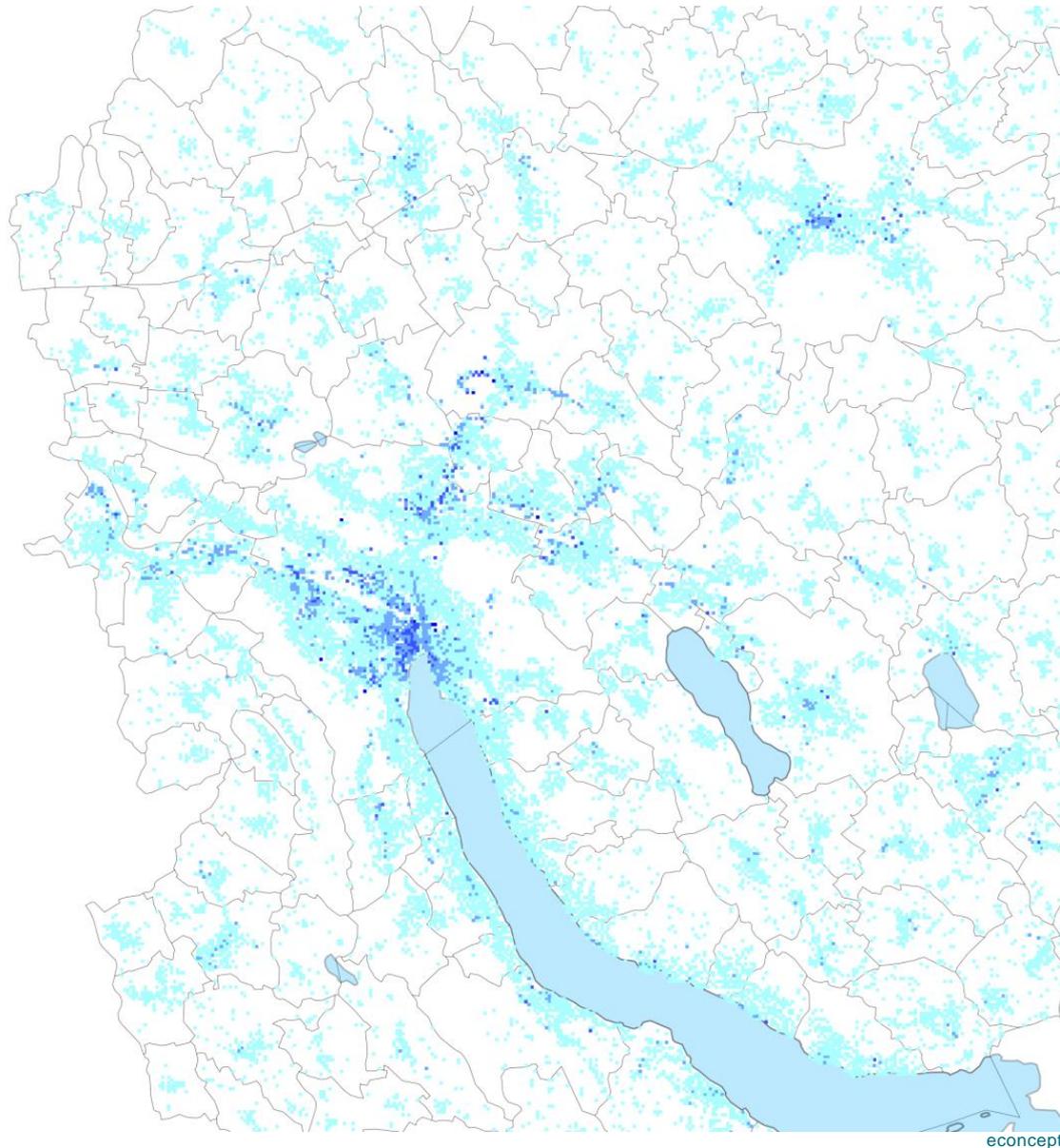
ter konnte im Jahr 2010 eine, im Vergleich zum Kanton, überdurchschnittliche Anzahl Geburten registriert werden.

Die demographische Entwicklung gemäss sozioökonomischem Szenario (Unterkapitel 3.2.1) wird ebenfalls zu einer Verstärkung der Sensitivität «Bevölkerung» beitragen.

3.3.2 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). Die Dichte an Beschäftigten ist stellenweise sehr gross, wie nachfolgende Figur 10 aufzeigt. Durch die überdurchschnittliche wirtschaftliche Stärke (Wertedichte) 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 (siehe auch Kapitel 4.3). Andererseits sind von den tendenziell zunehmenden Intensivniederschlägen, Hitzewellen und möglichen Überschwemmungen besonders viele Unternehmen und deren Infrastruktur betroffen (siehe auch Kapitel 4.2).

Beschäftigtendichte im Grossraum Zürich



Figur 10: Beschäftigtendichte (Anzahl Beschäftigte/ha) im Grossraum Zürich, blau: je dunkler desto grösser (Quelle: BFS, 2013)

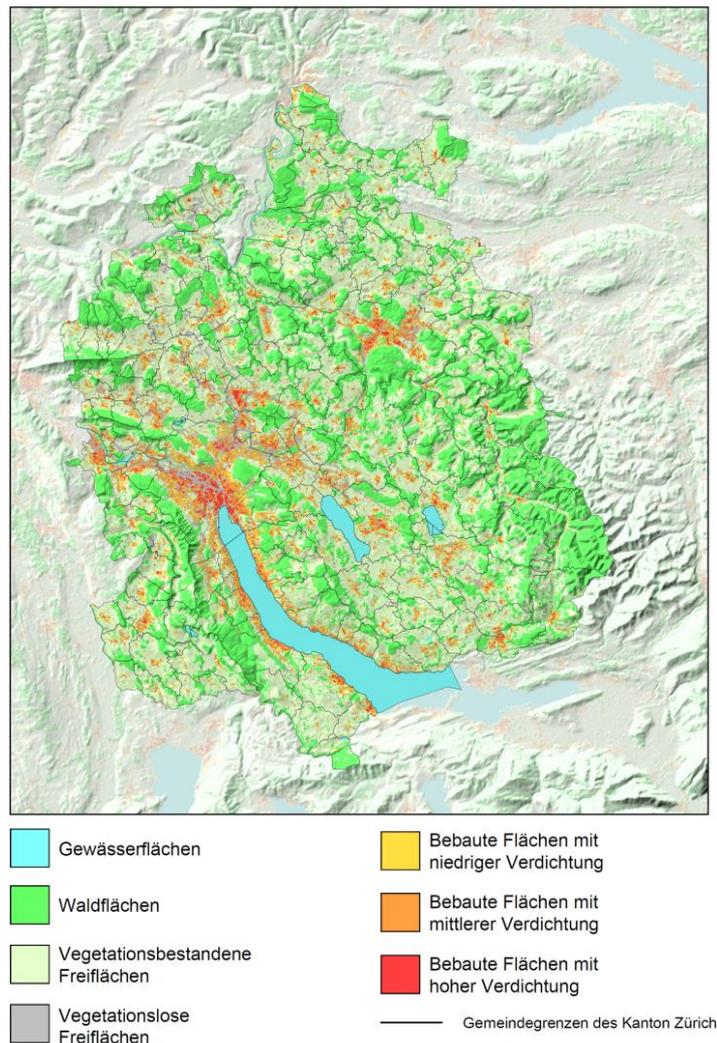
Wir gehen davon aus, dass die Wirtschaftsbeziehungen des Grossraums Zürich mit der übrigen Welt über den Gütertausch (Export und Import sowie Dienstleistungshandel) zur Empfindlichkeit der Region gegenüber dem Klimawandel beitragen. Wenn es durch den Klimawandel zu wirtschaftlichen Einbussen kommt in Ländern, mit denen der Grossraum Zürich verflochten ist, kann davon ausgegangen werden, dass sich dies auf den Grossraum Zürich auswirkt und ihn weiter empfindlich macht¹⁰.

¹⁰ Für detaillierte Informationen bezüglich den Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft durch internationale Einflüsse, siehe Infras et al., 2007

3.3.3 Versiegelte Flächen und Infrastrukturanlagen

Die versiegelte (bebaute) Fläche nahm in der jüngeren Vergangenheit schweizweit stetig zu. Alleine in der Stadt Zürich ist mehr als ein Drittel der gesamten Bodenfläche versiegelt, Ende 2011 waren es 37.1% (Berechnung ohne die Gewässerflächen) (Stadt Zürich, 2012a). Davon betroffen sind nebst den Städten selber auch deren Ballungsgebiete, wie in Figur 11 ersichtlich wird.

Arealtypen Kanton Zürich



Figur 11: Darstellung der verschiedenen Arealtypen des Kantons Zürich. Darauf sind die bebauten (stark versiegelten) Flächen ersichtlich (Quelle: Stadt Zürich, 2011b)

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 einen wesentlichen Beitrag zum Wärmeinseleffekt im urbanen Raum leisten (siehe Kapitel 3.3.4). 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 dem Bau von Gebäuden und Infrastruktur. Der Grossraum Zürich verfügt über zahlreiche materiell hochwertige und für das wirtschaftliche und gesellschaftliche Funktionieren wichtige Infrastrukturanlagen. Dazu zählen beispielsweise Bahnhöfe, ein für die gesamte Schweiz bedeutendes Schienen- und Strassennetz, der Flughafen, Ver- und Entsorgungsinfrastrukturanlagen (Stromnetz, Gasnetz, Trinkwasser- und Abwassersysteme etc.), Infrastruktur und Gebäude für Kultur, Bildung, Forschung, Sport, zahlreiche Standorte namhafter Firmen etc. Die hohe Dichte entsprechender 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 beeinträchtigt werden kann.

Unter dem sozioökonomischen Szenario (Unterkapitel 3.2), das von einer weiteren inneren Verdichtung und teilweiser Ausdehnung der Siedlungsfläche ausgeht, wird sich auch die Sensitivität des Grossraumes Zürich aufgrund der «versiegelten Flächen» in Zukunft verschärfen.

3.3.4 Stadtklima

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

Städte und urbane Regionen haben ein charakteristisches Lokalklima, welches 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:

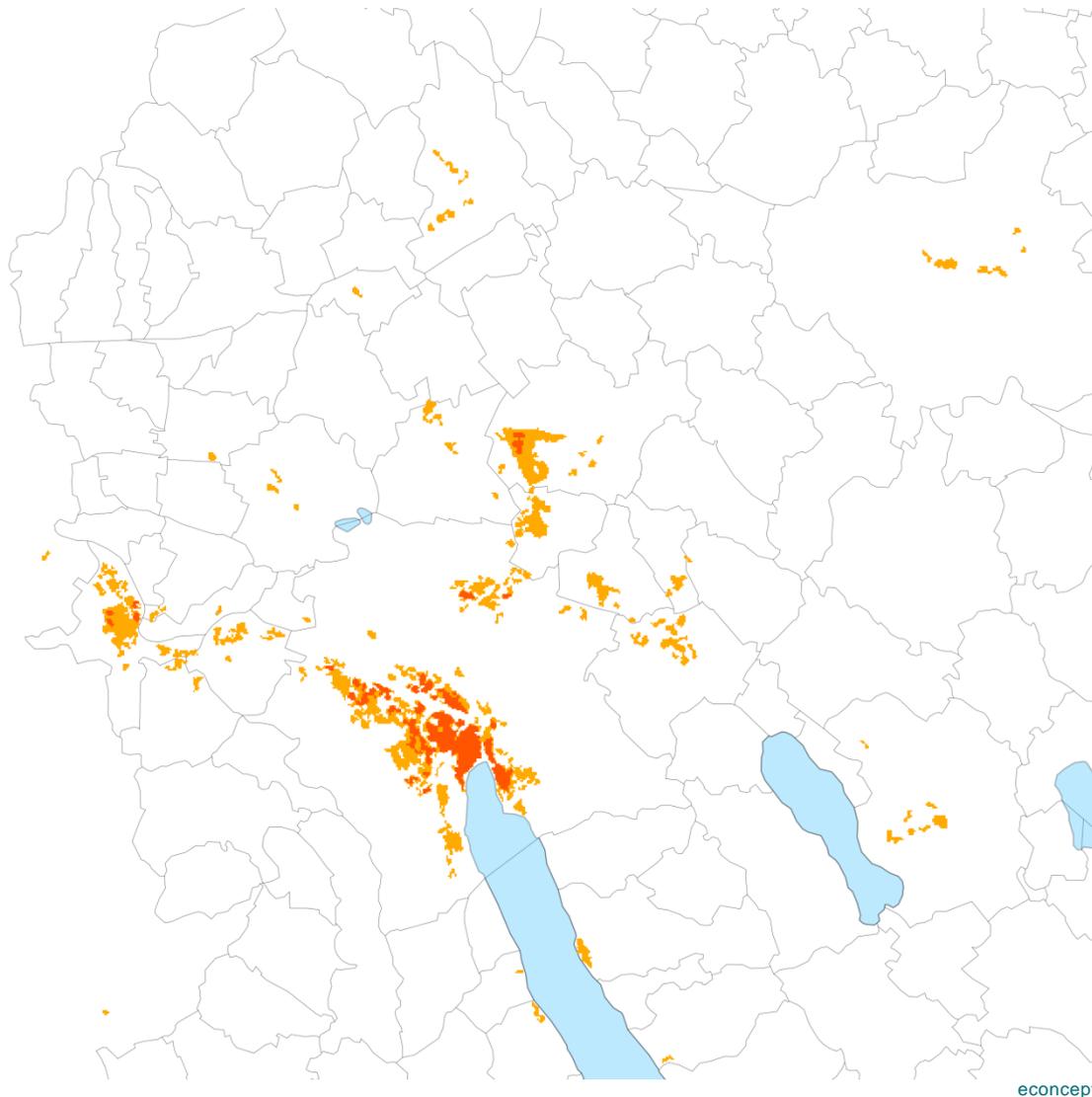
Die städtische Wärmeinsel

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 12) 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 verdunstet werden 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 der Zunahme von Hitzeperioden werden sich der Wärmeinseleffekt und damit die Situation im betroffenen urbanen Raum verschärfen. Hitzeperioden mindern das Wohlbefinden während dem Aufenthalt 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). (Siehe auch Kapitel 4.3).

Lokale Wärmebelastung



Figur 12: Heutige lokale Wärmebelastung¹¹ im Grossraum Zürich (orange-rot: je dunkler desto grösser) (Quelle: Stadt Zürich, 2012c).

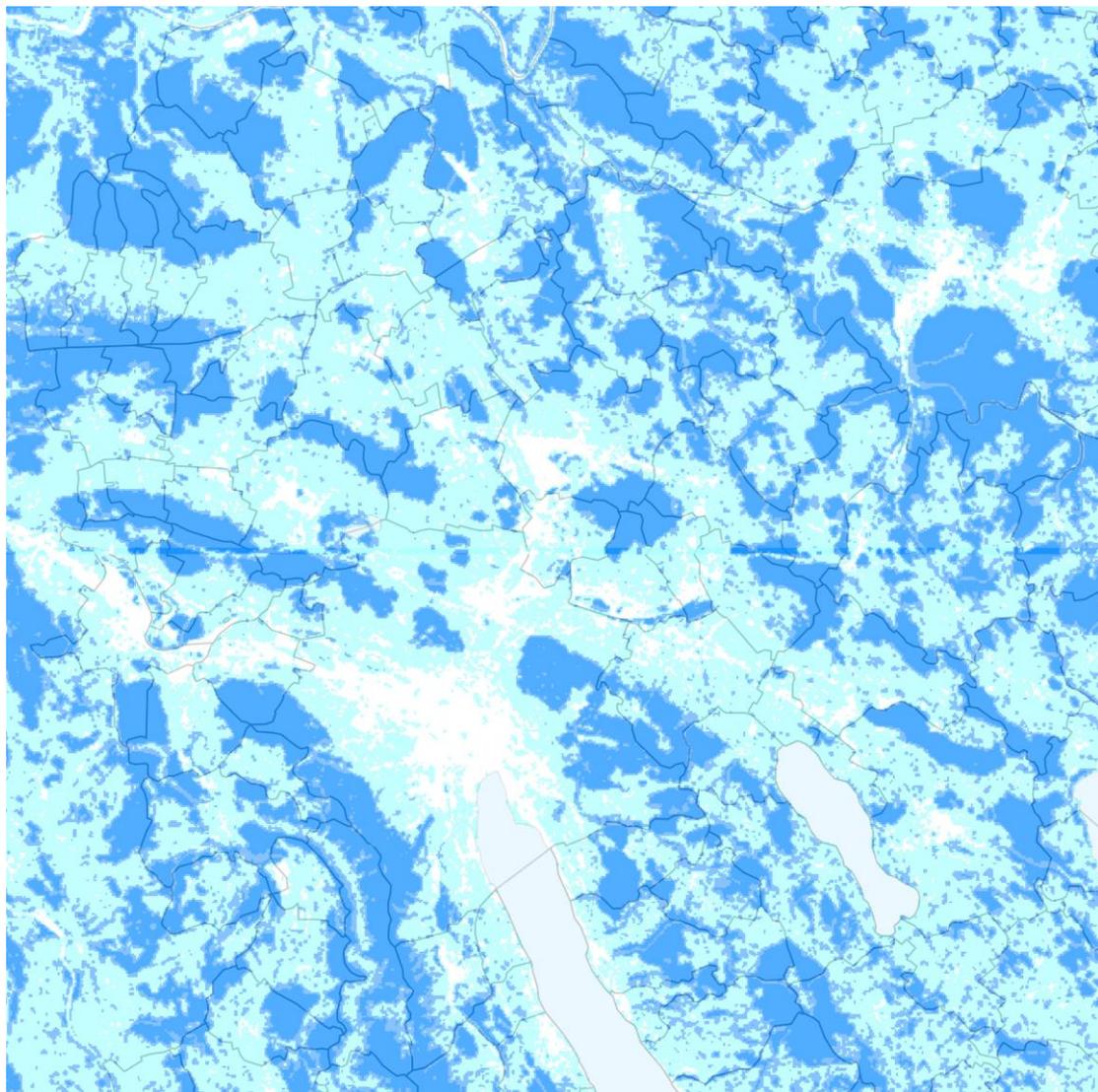
Die städtische Durchlüftung

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-Seewind-Effekt und das umgebende Relief lässt Berg-Talwind-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 kann die Durchlüftung die lufthygienische Belastung reduzieren, da die Luftschadstoffe abtransportiert werden. Damit eine solche Durchlüftung zustande kommt, ist eine ausreichende Kaltluftproduktion (Figur 13) für den Kaltlufttransport (Durchlüftung)

¹¹ Als Indikator für eine lokal erhöhte Wärmebelastung wird der nächtliche Wärmestrom unter autochthonen Witterungsbedingungen herangezogen (Parlow et al., 2010)

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, welche für die Kaltluftproduktion notwendig ist, 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 Grossraums Zürich dar.

Kaltluftproduktion



econcept

Figur 13: Kaltluftproduktion (= Flächen wo Kaltluft entsteht), hell-dunkelblau: je dunkler desto grösser (Quelle: Stadt Zürich, 2012c).

Die städtische Lufthygiene

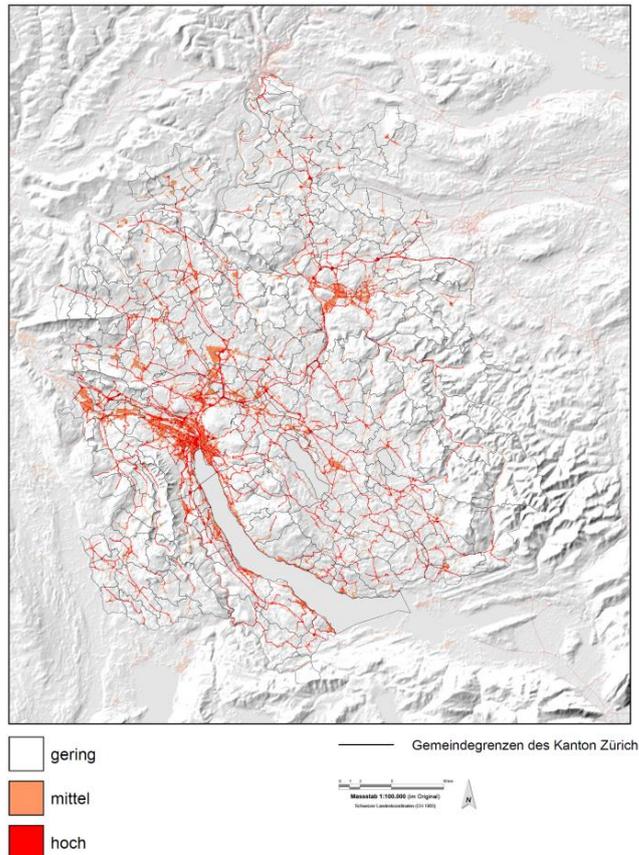
Die Lufthygiene stellt eine weitere Herausforderung für urbane Räume dar und ist Folge der hohen Belastung durch Luftschadstoffe (Feinstaub PM10, Ozon, Stickstoffoxid etc.). In der Stadt Zürich beispielsweise hat sich seit Beginn der regelmässigen Luftschadstoffmessungen anfangs der 80er Jahre die Luftschadstoffbelastung in der Stadt Zürich

zwar deutlich verbessert, doch können die Grenzwerte der schweizerischen Luftreinhalteverordnung (LRV) noch nicht überall eingehalten werden (Stadt Zürich 2011a). 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, welche das zum Beispiel das Klima in der Stadt Zürich aufgrund seiner Muldenlage vor allem im Winter teilweise prägt. Der geringe Luftaustausch als Folge davon erlaubt eine besonders hohe Anreicherung von Luftschadstoffen (Smog-Bildung) (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. Diese ist eine Voraussetzung 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.

Luftbelastung Kanton Zürich



Figur 14: «Modellierte» Luftbelastung heute im Kanton Zürich (Quelle: Stadt Zürich, 2011b)

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. Zur Herausforderung wird der städtische Niederschlag durch das Zusammenspiel der tendenziell zunehmenden Intensivniederschläge, und dem hohen Anteil versiegelter Flächen. Starkregenereignisse können eine negative Wirkung auf das städtische Abflussregime haben und kurzzeitige Überschwemmungen verursachen (MKULNV, 2011). Dies betrifft sowohl die Bäche als auch die Ableitung von Oberflächenabfluss. Zudem stellt die Überflutung des Schwemmkegels der Sihl eines der grössten Hochwasserrisiken der Schweiz dar (TA, 2012a). Überschwemmungen durch Oberflächenabfluss, Bäche, den See oder die Sihl treffen in dicht besiedeltem Raum auf hohe verletzliche Werte. Schon geringe Wassertiefen richten hohe Schäden an.

Gefahrenkarte Hochwasser / Massenbewegungen¹²



Figur 15: Gefahrenkarte Hochwasser / Massenbewegung (Quelle: Kanton Zürich 2012d)
 orange-rot = Hochwassergefahrenzone (je dunkler desto grösser); oliv = Gefahr der Massenbewegung (je dunkler desto grösser)

Auch Abnahme von Niederschlag im Sommer im Grossraum Zürich stellt eine Herausforderung dar. So kann die Kombination von fehlendem Niederschlag mit einer schlechten Durchlüftung zur Akkumulation von Schadstoffen in der Stadtatmosphäre kommen.

¹² «Der Hauptprozess Massenbewegungen umfasst Sturz- und Rutschungsprozesse. Für die Gefahrenkartierung Naturgefahren des Kantons Zürich werden unter dem Hauptprozess Massenbewegungen die vier Unterprozesse Stein- schlag/Blockschlag, Rutschungen permanent, Rutschungen spontan und Hangmuren unterschieden» (Kanton Zürich, 2011:3)

4 Auswirkungen des Klimawandels auf drei für den Grossraum Zürich relevante Bereiche

Die Beschreibung der Auswirkungen des Klimawandels umfasst drei für den Grossraum Zürich relevante Bereiche: die Freiräume, die Gebäude und die Gesundheit. Dabei wird in den nachfolgenden Kapiteln 4.1 bis 4.3 beschrieben, wie sich die unter dem Klimawandel veränderten Gefahren und Effekte (vgl. Kapitel 3.1.3) auf diese drei ausgewählten Bereiche auswirken. Beispielsweise kämpfen diverse Pflanzen und Tiere mit der zunehmenden Trockenheit, Hochwasser führen zu Schäden an Gebäuden und Hitzewellen haben gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen.

Die Beschreibung der Auswirkungen des Klimawandels basiert auf einer umfassenden Literaturanalyse. Dabei wurden unter anderem die Berichte über die erwarteten Auswirkungen der Klimaänderung auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft (OcCC/Proclim, 2007 und OcCC 2012), die neu erschienene Strategie des Bundesrates zur Anpassung an den Klimawandel (BAFU 2012a), die Studie «Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz» von BAFU und ARE (2011) sowie zahlreiche Quellen mit direktem Bezug zum Grossraum Zürich herangezogen.

4.1 Auswirkungen des Klimawandels auf den 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, Gärten oder Wälder, alle unversiegelten, un bebauten 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, welche nicht mit Gebäuden verbaut sind. Es sind dies im Wesentlichen Strassen, Gehwege, Plätze, Parkplätze, etc.

Der Stellenwert von grünen und blauen Freiräumen in urbanen Gebieten wird im Zusammenhang mit dem Klimawandel zunehmen: Aufgrund der zunehmenden Hitzeperioden steigt der Bedarf nach kühlen und schattigen Plätzen und Bademöglichkeiten. Grüne und blaue Freiräume sind Quellen von Kaltluft, spenden Schatten und Abkühlung. Im Zusammenhang mit einer tendenziellen Zunahme von Intensivniederschlägen dienen die unversiegelten, versickerungsfähigen Flächen als Retentionsflächen zur Entlastung von Abwassersystemen und Vermeidung von lokalen Überschwemmungen (StartClim, 2010). Ausserdem weisen die Stadtbäume und insbesondere auch die Waldbestände eine Filterwirkung für Luftschadstoffe wie Stickoxide, Ozon und Feinstaub auf, was zur allgemeinen Verbesserung der Luftqualität beiträgt. Daneben schützen die Wälder vor Erosion, Steinschlag und Rutschungen.

Der Zustand der Freiräume ändert sich durch den Klimawandel und dadurch auch deren Erholungswert und Unterhaltsbedarf. Dabei betreffen die Auswirkungen des Klimawandels im Bereich der grünen und blauen Freiräume meist erst die Pflanzen und Tiere und anschliessend den Menschen.

4.1.1 Grüner Freiraum

Klimatische Veränderungen machen sich in den grünen Freiräumen heute schon bemerkbar und werden in Zukunft weiter voranschreiten:

Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere

Die erwartete Zunahme der Durchschnittstemperaturen und Hitzeereignisse sowie die Veränderung im Wasserhaushalt (feuchter Herbst und Winter, trockener Sommer), verändern die Bedingungen für Pflanzen. Durch die höheren Temperaturen kommt es beispielsweise zu einer Verschiebung der Frühlingsphasen der Pflanzenentwicklung. Bereits heute beginnt der biologische Frühling (Blattentfaltung, Blütezeit, etc.) in der Schweiz im Mittel 12 Tage früher als vor 50 Jahren (ClimatePress, 2003). Eine weitere Folge von höheren Temperaturen ist eine verstärkte Verdunstung, was zu einem grösseren Wasserbedarf der Pflanzen führt. Wärme- bzw. trockenheitsliebende oder -resistente Pflanzen werden durch diese Veränderungen begünstigt. Einheimische Arten, die nicht genügend wärmeresistent sind, können in unseren Breitengraden nicht mehr bestehen und verschieben sich polwärts, in höhere und kühlere Lagen (ClimatePress, 2003). Aus diesem Grund wird bei den Pflanzen eine Abnahme der lokalen Artenvielfalt erwartet, was längerfristig zur Veränderung der landschaftlichen Eigenart beitragen wird (BAFU, 2012a).

Auch in der Tierwelt wird es zu einer Artenverschiebung kommen: Einheimische Arten, die nicht genügend wärmeresistent sind, können in unseren Breitengraden nicht mehr bestehen und verschieben sich polwärts (ClimatePress, 2003). Jene Arten, die wenig mobil sind oder die auf wenig mobile Arten als Futter oder Wirt angewiesen sind, sind besonders gefährdet und drohen bei uns auszusterben.

Durch die Klimaänderung werden sich Flora und Fauna also stärker südlicher gelegenen Gegenden annähern (OcCC/Proclim, 2007). Eine zusätzliche Gefahr für einheimische Pflanzen und Tiere besteht dabei durch die Zunahme invasiver Arten (Neobiota), welche durch das wärmere Klima begünstigt werden (scnat, 2007). Bereits heute existieren in den Freiräumen fremdländische Arten und immer häufiger treten neue Schädlinge und Krankheitsbilder auf, welche die Gesundheit der Bäume beeinträchtigen (Grün Stadt Zürich, 2006). Es wird angenommen, dass sich auch unter den Neobiota auch zukünftigen Schadorganismen befinden, die sich negativ auf die heimischen Ökosysteme auswirken (BAFU, 2012a). Die negativen Auswirkungen können zusätzlich verstärkt werden, da die Anfälligkeit der heimischen Pflanzen gegenüber Schadorganismen und Krankheiten durch den Klimawandel erhöht wird (Factsheets 2012). Ausserdem muss in den grünen Freiräumen, mit ihrer heutigen Pflanzenzusammensetzung, davon ausgegangen werden,

dass der Klimawandel zu vermindertem Pflanzenwachstum, frühzeitigem Blattwurf, Zweigsterben und einer verkürzten Lebensdauer von Pflanzen führt (Factsheets 2012).

Auch auf das Verhalten der Tiere hat ein verändertes Klima Einfluss: So hat sich beispielsweise die Ankunft vieler Zugvögel im Frühling heute schon um 1-2 Wochen vorverschoben (Climate-Press, 2003). Die Klimaänderung kann zudem dazu führen, dass Interaktionen zwischen Arten (beispielsweise der Blühzeitpunkt und die Präsenz von Bestäubern) oder Räuber-Beute-Beziehungen, nicht mehr funktionieren (BAFU, 2012a).

Schliesslich kann eine tendenzielle Zunahme von Hochwasser und eine mögliche zunehmende Häufigkeit bzw. eine Verstärkung von Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan zu direkten Schäden an Pflanzen und Tieren führen. Ob und wie sich die Gefahren Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan in Zukunft verändern, ist gemäss heutigem Wissensstand jedoch unklar (vgl. Kapitel 3.1.3).

Auswirkungen auf den Menschen

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Pflanzen und Tiere in den Freiräumen, bringen indirekt auch Auswirkungen für den Menschen mit sich, wie folgende Beispiele zeigen:

Durch das verminderte Pflanzenwachstum, frühzeitigen Blattwurf, Zweigsterben und einer verkürzten Lebensdauer von Pflanzen und ihrer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Schadorganismen und Krankheiten dürfte zukünftig der Pflege- und Bewässerungsbedarf der Grünflächen steigen und höhere Kosten für die öffentliche Hand verursachen (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).

Mit der erwarteten Temperaturzunahme und den Hitzeereignissen wird der Nutzungsdruck auf die grünen Freiräume (z.B. zur Abkühlung) sowie die Ansprüche an deren Ausgestaltung steigen (Factsheets 2012). Auch dadurch wird der Pflege- und Unterhaltsbedarf für die öffentliche Hand zunehmen.

Auch eine tendenzielle Zunahme von Hochwasser und eine mögliche zunehmende Häufigkeit bzw. eine Verstärkung von Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan kann zu vermehrten Aufräumarbeiten in den Freiräumen führen. Ob und wie sich die Gefahren Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan in Zukunft verändern, ist gemäss heutigem Wissensstand jedoch unklar (vgl. Kapitel 3.1.3).

4.1.2 Blauer Freiraum

Auch bei blauen Freiräumen sind bereits heute Veränderungen durch den Klimawandel festzustellen: So hat die Temperatur der Wasseroberfläche des Zürichsees seit anfangs der 90er-Jahre gegenüber dem 40-jährigen Mittel um durchschnittlich 0.42° C zugenom-

men (TA, 2012c). Auch der Wasserspiegel ist von klimatischen Einflüssen abhängig. So sank beispielsweise im Sommer 2012 der Wasserspiegel des Zürichsees sowie der Limmat aufgrund einer langen Trockenzeit so stark, dass die Schifffahrt zeitweise eingestellt werden musste (ZSG, 2013).

Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere

Durch die Erwärmung kommt es, gleich wie im grünen Freiraum, auch im blauen zu einer Verschiebung der Lebensräume von Arten. Bereits heute hat sich als Folge der Erwärmung um 0.4–1.6° C in den Schweizer Fliessgewässern in den letzten 25 Jahren die Forellenregion um 100–200 m in der Höhe verschoben (OcCC/Proclim, 2007). Unter dem Klimawandel kann sich die Situation der Wassertemperatur zusätzlich verschärfen durch die Kombination von Niedrigwasser aufgrund von Trockenperioden und Temperaturzunahmen bzw. Hitzewellen. Dadurch werden sich die Lebensräume der Kaltwasserfische verkleinern, während sich jene der Warmwasserfische vergrössern. Gleichzeitig werden sowohl Kalt- als auch Warmwasserfische von den wärmeren Wintertemperaturen 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).

Auch die Pflanzenarten im blauen Freiraum sind von wärmeren Luft- und Wassertemperaturen betroffen. Der thermische Prozess der Durchmischung der Seen, der normalerweise im Frühling durch Winde begünstigt wird, nachdem sich das Wasser im Winter abgekühlt hat, findet aufgrund der wärmeren Winter nicht mehr vollständig statt. Die Erwärmung führt also zu einer stabileren Dichteschichtung und zu einer Abnahme des Sauerstoffgehalts im Tiefenwasser (OcCC/Proclim, 2007). Eine weitere Folge der unvollständigen Durchmischung ist heute bereits im Zürichsee ersichtlich: Die Cyanobakterien (Burgunderblutalge), die früher dank der vollständigen Durchmischung des Sees in die Tiefen transportiert wurden, wo sie durch den Wasserdruck abstarben, konnten sich in den letzten Jahren ausbreiten. Die Ausbreitung der Cyanobakterien hat vielfältige Folgen: Eine davon ist die zusätzliche Abnahme des Sauerstoffgehalts durch die absterbenden Algenblüten in der Tiefe, was dazu führen kann, dass der Bestand der dort laichenden Fische abnehmen wird (TA, 2012c).

Auswirkungen auf den Menschen

Weitere Folgen der Ausbreitung der Cyanobakterien betreffen den Menschen: Einerseits produzieren die Bakterien giftige Stoffe, was dazu führt, dass das Seewasser für die Trinkwasserversorgung mit aufwendigen Verfahren aufbereiten werden muss (NZZ, 2012). Weiter besteht die Gefahr, dass die Algen die Filter von Wärmepumpen verstopfen, die Wärme aus dem Seewasser nutzen (TA, 2012c).

Infolge der Zunahme von Winterniederschlägen, und der durch die wärmeren Temperaturen vorverschobene Schneeschmelze, wird sich auch das Wassermengenregime ändern. In einer Analyse von gemessenen Abflüssen kleiner und mittelgrosser Einzugsgebiete in der Schweiz (Periode 1930–2000) konnte in vielen der untersuchten Flüsse bereits eine Zunahme der Jahresabflüsse festgestellt werden (OcCC/Proclim, 2007). Der Hauptgrund

dafür liegt beim Anstieg der Abflüsse im Winter und Frühling. In Zukunft wird sich das Abflussregime weiter ändern: im Winter wird es höhere und im Sommer geringere Volumina erreichen. Das veränderte Wasserregime wird zahlreiche Auswirkungen auf anthropogene Bereiche wie die Energiewirtschaft, die Wasserwirtschaft, die Landwirtschaft, die Schifffahrt, Erholungssuchende, etc. mit sich bringen.

Auch die tendenziell zunehmenden Trockenperioden im Sommer haben Einfluss auf das Wasserregime und können Niedrigwasser zur Folge haben. Dadurch kann es zu einer erhöhten Schadstoffkonzentration im Wasser kommen. Dies beeinträchtigt einerseits die Wasserfauna und -flora, andererseits könnte dies bei einer Infiltration des Oberflächenwassers ins Grundwasser die Trinkwasserqualität verringern (BAFU, 2012a).

4.1.3 Grauer Freiraum

Eine wichtige klimatische Auswirkung auf den grauen Freiraum sind die Temperaturschwankungen um den Nullpunkt. Diese wirken sich negativ auf den Belag aus (Bildung von Rissen, etc.). Falls sich mit dem Klimawandel zukünftig im Winter die Temperaturen häufiger um den Nullpunkt bewegen (anstatt beispielsweise ganz darunter zu fallen), dürfte dies mit wesentlichen Auswirkungen auf die Beläge verbunden sein.

Eine weitere wichtige Auswirkung zeigt sich aufgrund der erwarteten Zunahme von Hitzewellen im Sommer. Diese führen wegen der Versiegelung des grauen Freiraums zu einer Verstärkung des Wärmeinseleffekts. Ebenfalls aufgrund der Versiegelung werden sich die Effekte der tendenziell zunehmenden Intensivniederschläge weiter negativ auswirken, indem die Gefahr von Überschwemmungen zunimmt.

4.1.4 Übersicht über die klimabedingten Auswirkungen im Bereich Freiraum

Folgende Tabelle zeigt eine Zusammenfassung der klimabedingten Auswirkungen auf den Bereich Freiraum.

Auswirkungsbereich	Gefahren/Effekte	Klimabedingte Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere	Auswirkungen auf Menschen
Grüner Freiraum	steigende Durchschnittstemperatur	Veränderung Artenzusammensetzung (z.B. Begünstigung wärme / trockenheitsliebender Arten, Abnahme einheimischer Arten, Zunahme Neobiota)	
	– steigende Durchschnittstemperatur – Hitzewellen – Allgemeine Trockenheit	Erhöhung der Anfälligkeit der Pflanzen gegenüber Schadorganismen und Krankheiten. Vermindertes Pflanzenwachstum, frühzeitiger Blattwurf, Zweigsterben, verkürzte Lebensdauer	Zunahme Pflege- und Bewässerungsbedarf
	– steigende Durchschnittstemperatur – Hitzewellen – Allgemeine Trockenheit	-	Bodenaustrocknung -> Abnahme Abkühlungseffekt durch Verdunstung
	Hitzewellen	-	Zunehmender Nutzungsdruck und zunehmende Ansprüche an Ausgestaltung der Freiräume
	– Unwetter/Gewitter ¹ – Hochwasser – Sturm/Orkan ¹	Schäden an Pflanzen und Tieren	Aufräumarbeiten
	Starker Schneefall ²	Weniger Schäden an Pflanzen	Weniger Aufräumarbeiten
Blauer Freiraum	steigende Durchschnittstemperatur	Verschiebung der Lebensräume und Veränderung der Artenzusammensetzung	
	steigende Durchschnittstemperatur	Unvollständige Durchmischung Zürichsee -> Verringerter Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser -> Ausbreitung giftiger Algen: Folgen für laichende Fische, etc.	Aufwändige Trinkwasseraufbereitung, Verstopfung der Filter von Wärmepumpen, abnehmende Fischerträge, etc.
	– Hitzewellen – Allgemeine Trockenheit	Erhöhte Schadstoffkonzentration im Wasser bei Niedrigwasser Erhöhung der Wassertemperatur -> Auswirkungen auf Fauna und Flora	Abnahme Trinkwasserqualität
	– Änderung Niederschlagsregime – Trockenheit	Verändertes Abflussregime (Anstieg im Winter; Niedrigwasser im Sommer) -> Auswirkungen auf Fauna und Flora	Auswirkungen auf Energiewirtschaft, Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Schifffahrt, Erholungssuchende, etc.
Grauer Freiraum	– Kältewellen: Temperaturschwankungen um den Nullpunkt	-	Negative Auswirkungen auf den Strassenbelag.
	Hitzewellen	-	Intensivierung des Wärmeinseleffekts
	Hochwasser	-	Zunahme von Überschwemmungen

Tabelle 4 Übersicht der klimabedingten Auswirkungen im Bereich Freiraum.

¹Ob und wie sich die Gefahren Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan in Zukunft verändern, ist gemäss heutigem Wissensstand jedoch unklar (vgl. Kapitel 3.1.3)

²Inwiefern starker Schneefall in Zukunft auftreten wird, ist gemäss heutigem Wissensstand jedoch unklar (vgl. Kapitel 3.1.3).

4.2 Auswirkungen des Klimawandels auf Gebäude

Gebäude sind von den Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Arten betroffen. Einerseits können durch Extremereignisse (Winterstürme, Starkniederschlag, etc.) 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.

4.2.1 Auswirkungen auf Gebäude

Die durch den Klimawandel erwartete tendenzielle Zunahme von Starkniederschlagsereignissen und Hochwasser kann zu Hangrutschungen, Erosionen und Überschwemmungen führen. Davon betroffen sind insbesondere Bauten an Hanglagen und entlang von Fließgewässern, an denen Schäden am Bau oder an der Gebäudehülle verursacht werden können.

Falls Gewitter und Winterstürmen in Zukunft zunehmen (gemäss heutigem Wissensstand noch unklar), könnten Gebäudehüllen stark in Mitleidenschaft gezogen werden. Besonders gefährdet sind dadurch empfindliche Dach- und Fassadenmaterialien wie zum Beispiel Kunststoffe, Bleche und Aussendämmungen (OcCC/Proclim, 2007), sowie Sonnenschutzvorrichtungen und Photovoltaikanlagen (Factsheets, 2012).

Kältewellen können zu Schäden an Aussenleitungen der Gebäude oder Wärmepumpen führen. Da jedoch die Häufigkeit und Dauer von Kältewellen mit dem Klimawandel abnehmen wird (vgl. Tabelle 2), werden auch die damit verbundenen Schadensfälle seltener auftreten. Auch die statischen Probleme bei Vordächern, welche heute bei starkem Schneefall auftreten können (bei zu hoher Schneelast drohen Beschädigungen oder gar der Einsturz (OcCC/Proclim, 2007)), werden tendenziell weniger häufig auftreten, da die Anzahl Tage mit Neuschnee durch den Klimawandel abnehmen wird. Dennoch sind starke Schneefälle auch in Zukunft nicht auszuschliessen, denn deren Entwicklung unter dem Klimawandel ist gemäss heutigem Wissensstand unklar (vgl. Kapitel 3.1.3).

Die häufigeren Trockenperioden beeinflussen den Grundwasserspiegel, was bei grösseren Schwankungen in seltenen Fällen zu Schäden an der Bausubstanz führen kann, beispielsweise durch Bodensetzungen.

Wie stark ein Gebäude durch die Folgen des Klimawandels beschädigt wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dabei sind insbesondere die Standortwahl, die konstruktiven und bautechnischen Eigenschaften sowie der Zustand des Gebäudes ausschlaggebend (BMVBS 2012).

4.2.2 Auswirkungen auf das Raumklima / Menschen

Im Sommer kann es aufgrund der zunehmenden Hitzewellen zu sehr hohen Innenraumtemperaturen kommen. Auch bei gut gedämmten Gebäudehüllen kann die Raumtemperatur stark steigen. Grund dafür können einerseits hohe Energieeinträge durch Sonnenstrahlung sein, 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 (Kapitel 4.3).

4.2.3 Auswirkungen auf den Energiebereich

Die steigenden Temperaturen führen zu erhöhten Raumtemperaturen, sofern keine Gegenmassnahmen ergriffen werden. Als Folge der steigenden Temperaturen und dank besser isolierten Gebäuden, wird im Winter die benötigte installierte Leistung der Heizungen in den Gebäuden abnehmen (Heizungen werden auf Extremereignisse ausgelegt) und es wird weniger Heizenergie benötigt. Im Sommer hingegen wird aufgrund der steigenden Temperaturen und der häufigeren Hitzewellen der Energiebedarf für Kühlung ansteigen.

4.2.4 Übersicht über die klimabedingten Auswirkungen im Bereich Gebäude

Folgende Tabelle zeigt eine Zusammenfassung der klimabedingten Auswirkungen auf den Bereich Gebäude.

Auswirkungs-kategorie	Gefahren/Effekte	Klimabedingte Auswirkungen
Auswirkungen auf Gebäude	– Hochwasser – Sturm/Orkan ¹ – Erdbeben / Hangmure	Schäden an gesamtem Bau oder an Gebäudehülle
	– Unwetter/Gewitter ¹ – Sturm/Orkan ¹	Schäden an Gebäudehülle
	Kältewelle	Abnehmende Schäden am Gebäude (Aussenleitungen, Wärmepumpen, etc.)
	Allgemeine Trockenheit	Schäden an der Bausubstanz durch Bodensetzungen
	Starker Schneefall ²	Statik-Probleme bei Vordächern (Beschädigung, Einsturz)
Auswirkungen auf Raumklima / Menschen	Hitzewelle	Erhöhte Raumtemperatur im Sommer -> Abnahme Arbeitsproduktivität
Auswirkungen auf den Energiebereich	– zunehmende Durchschnittstemperatur – Hitzewelle	Abnahme der benötigten Heizenergie und installierten Leistung bei Heizungen Zunahme des Kühlbedarfs im Sommer
	Kältewelle	Abnahme der benötigten Heizenergie und installierten Leistung bei Heizungen

Tabelle 5 Übersicht der klimabedingten Auswirkungen im Bereich Gebäude.

¹Ob und wie sich die Gefahren Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan in Zukunft verändern, ist gemäss heutigem Wissensstand jedoch unklar (vgl. Kapitel 3.1.3)

²Inwiefern starker Schneefall in Zukunft auftreten wird, ist gemäss heutigem Wissensstand jedoch unklar (vgl. Kapitel 3.1.3).

4.3 Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit

Die gesundheitlichen Konsequenzen des Klimawandels können direkter oder indirekter Natur sein (BUWAL/BAG 2004). Die direkten Auswirkungen entsprechen den unmittelba-

ren Folgen von Extremereignissen (Hitzewellen, Trockenperioden, Hochwasser) auf die Gesundheit der Menschen. Einen indirekten Einfluss auf den Menschen hat der Klimawandel durch Veränderungen der Lebensbedingungen von Krankheitsüberträgern. Ebenfalls eine indirekte Auswirkung auf die menschliche Gesundheit hat die verstärkte klima-induzierte Luftschadstoffbelastung, insbesondere in städtischen Gebieten.

4.3.1 Direkte Auswirkungen

Die erwartete Zunahme von gewissen Extremereignissen durch den Klimawandel hat verschiedene Auswirkungen auf die Gesundheit. Die Zunahme von Hitzewellen ist dabei die wichtigste klimabedingte Veränderung für die menschliche Gesundheit. Das Risiko von Herz-Kreislaufproblemen, Hitzeschlägen, 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, welche zu Atemwegerkrankungen und einer erhöhten Sterblichkeit führen kann. Durch die zunehmende Häufigkeit, Dauer und Intensität von Hitzewellen aufgrund des Klimawandels, wird die Ozonbildung weiter begünstigt.

Durch Extremereignisse wie Überschwemmungen und starke Stürme (wobei gemäss heutigem Wissensstand keine kohärenten Aussagen zur zukünftigen Entwicklung von Stürmen möglich sind) kann es zu Verletzten und Toten kommen. Solche Ereignisse können aber auch gravierende psychische Folgen verursachen (OcCC/Proclim, 2007).

Dank der Zunahme der Durchschnittstemperatur und der daraus folgenden wärmeren Winter, könnte davon ausgegangen werden, dass die Unfallgefahr durch Schnee und Eis abnimmt. Bedenkt man aber, dass sich die Leute Schneefall und Eis weniger gewohnt sein werden und es trotzdem plötzlich zu einem Kälteeinbruch kommt, kann dies zu gehäuften Unfällen führen. In ihrer Gesamtheit könnten sich die Effekte gegenseitig in etwa aufwiegen.

4.3.2 Indirekte Auswirkungen

Die Zunahme von Hitzewellen bringt auch indirekte Auswirkungen mit sich: Durch einen negativen Einfluss der Hitzewellen auf die Arbeitsproduktivität und die Schlafqualität, kann das Wohlbefinden der gesamten Bevölkerung beeinträchtigt werden. Geht man davon aus, dass aufgrund der zunehmenden Hitzewellen vermehrt durch Klimaanlage gekühlt wird, gilt es dem Risiko von Bakterien, Pilzen und Keimen Beachtung zu schenken. Diese können sich insbesondere bei sommerlicher Hitze vermehren und können negative Auswirkung auf die menschliche Gesundheit haben (Experten/innen-Workshop 2012).

Nebst den häufiger auftretenden Hitzewellen, hat auch die schleichende Temperaturzunahme Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Wie in Kapitel 4.1.1 beschrieben, ist aufgrund wärmerer Temperaturen bereits heute 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 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 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 spielt¹³, 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). Berücksichtigt man, dass sich das Freizeitverhalten durch die erhöhten Temperaturen verändern wird und die Leute sich häufiger in kühlen Grünräumen und schattigen Wäldern aufhalten werden, muss diese Entwicklung kritisch beobachtet werden.

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). Während die Lebensmittelsicherheit in Gastronomiebetrieben und Imbissständen durch die Lebensmittelinspektion garantiert ist, gilt es, insbesondere während Hitzeperioden, private Haushalte zu sensibilisieren.

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

Weitere mögliche indirekte Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen können ausgelöst werden durch die längeren Trockenperioden, das sich ändernde Niederschlagsregime und die Hochwasser. Diese veränderten Gefahren und Effekte können Auswirkungen auf das Wasserregime und somit auf die Trinkwasserqualität haben. In der Schweiz funktioniert die Trinkwasserkontrolle jedoch so gut, dass rechtzeitig reagiert werden kann

¹³ 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).

und diese Auswirkungen auf die Gesundheit auch in Zukunft vernachlässigbar ist (Occc/Proclim, 2007).

4.3.3 Übersicht über die klimabedingten Auswirkungen im Bereich Gesundheit

Folgende Tabelle zeigt eine Zusammenfassung der klimabedingten Auswirkungen auf den Bereich Gesundheit.

Auswirkungskategorie	Gefahren/Effekte	Klimabedingte Auswirkungen
Direkte Auswirkungen auf Menschen	Hitzewellen	Zunahme Herz-Kreislaufprobleme, Hitzeschläge, Dehydration, Tote
	<ul style="list-style-type: none"> – Hochwasser – Unwetter/Gewitter¹ – Sturm/Orkan¹ 	Zunahme Verletzte, Tote, psychische Folgen
	Zunahme Durchschnittstemperatur	Gegenläufige Effekte: <ul style="list-style-type: none"> – Weniger Unfälle durch Schnee und Eis, da weniger Kälteperioden. – Mehr Unfälle, weil Leute nicht mehr an Schnee und Eis auf den Strassen gewohnt sind
Indirekte Auswirkungen auf Menschen	Hitzewelle	Anstieg von Ozonbelastung -> Zunahme Atemwegserkrankungen, Tote
	Hitzewelle	Kürzere Lebensmittelhaltbarkeit, Zunahme Lebensmittelvergiftungen bei Privaten
	Hitzewelle	Geringere Arbeitsproduktivität, geminderte Schlafqualität
	Hitzewelle	Vermehrte Kühlung durch Klimaanlage -> allfällige Pilzspuren -> negative Auswirkung auf die menschliche Gesundheit
	Zunahme Durchschnittstemperatur	Längere Pollensaison und neue Allergene -> Zunehmende Belastung für Allergiker
	Zunahme Durchschnittstemperatur	Zunahme von krankheitsübertragenden Vektoren (z.B. Zecken, Stechmücken) -> Zunahme vektorbedingter Infektionskrankheiten
	Zunehmende Durchschnittstemperatur <ul style="list-style-type: none"> – Allgemeine Trockenheit – Verändertes Niederschlagsregime – Hochwasser 	Mögliche Auswirkung auf Trinkwasserqualität -> negative Auswirkung auf menschliche Gesundheit

Tabelle 6 Übersicht der Auswirkungen des Klimawandels im Bereich Gesundheit.

¹Ob und wie sich die Gefahren Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan in Zukunft verändern, ist gemäss heutigem Wissensstand jedoch unklar (vgl. Kapitel 3.1.3)

5 Bestimmung der Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf für den Grossraum Zürich

Das vorhergehende Kapitel zeigt, dass aufgrund des Klimawandels im Grossraum Zürich zahlreiche Auswirkungen erwartet werden. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wo aufgrund dieser Auswirkungen Handlungsbedarf besteht. Um den grössten Handlungsbedarf zu eruieren, wurde zweistufig vorgegangen:

In einem *ersten* Schritt wurden die klimabedingten Gefahren und Effekte, respektive deren Auswirkungen auf die drei Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit priorisiert (Kapitel 5.1). Dabei wurde nach den Kategorien «sehr relevant», «relevant» und «nicht relevant/vernachlässigbar» unterschieden. In einem *zweiten* Schritt wurde die «sehr relevanten» Auswirkungen im Grossraum Zürich wo möglich geografisch lokalisiert. Dazu wurden die vorhandenen räumlichen Daten des heutigen Auftretens der Gefahren und Effekte mit bereichsrelevanten räumlichen Daten zu bestehenden Sensitivitäten kombiniert (Kapitel 5.2). Aus der Synthese ergibt sich so eine geografisch gewichtete Priorisierung des Handlungsbedarfs im Grossraum Zürich (Kapitel 5.3).

5.1 Priorisierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die drei Bereiche

Im ersten Schritt wurde das Ausmass des Handlungsbedarfs anhand einer Priorisierung der Auswirkungen des Klimawandels auf jeden der drei Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit im Grossraum Zürich bestimmt. Dazu wurde, basierend auf der Methode BAFU/ARE 2011, die Kombination von Gefahren und Effekten, respektive deren Auswirkungen auf die drei Bereiche mit Hilfe sogenannter Relevanzmatrizen bewertet und somit auch priorisiert (vgl. Tabelle 7). Die Relevanzmatrizen zeigen auf, welche Gefahren/Effekte relevante Auswirkungen auf die drei Bereiche haben. Dazu wurde jede Kombination von Gefahr/Effekt und Wirkungsbereich in eine von drei Relevanzklassen eingeteilt: sehr relevant, relevant, nicht relevant/vernachlässigbar. Für die Einteilung in die Relevanzklassen wurde nach der BAFU/ARE-Methodik (2011) vorgegangen und folgende Fragen für jede Kombination beantwortet:

- 1 Sind nennenswerte Auswirkungen durch eine Gefahr/Effekt auf einen Wirkungsbereich möglich?
- 2 Sind die möglichen Auswirkungen so gross, dass sie im Vergleich mit anderen Auswirkungen ins Gewicht fallen?

Anhand dieser Methode wurde ein Vorschlag erarbeitet, wie die Relevanzmatrix für die heutige Situation aussehen könnte. Diese wurde im Rahmen eines halbtägigen Workshops mit Experten/innen (siehe Anhang A-3) diskutiert und ergänzt. So wurde beispielsweise die Auswirkung einer Hitzewelle auf die Gesundheit bereits heute als sehr relevant eingestuft, wohingegen die heutigen Auswirkungen allgemeiner Trockenheit auf

die Gesundheit als nicht relevant erachtet wurden. Die Priorisierungen wurden in Form einer Relevanzmatrix (siehe Anhang A-5) übersichtlich dargestellt und begründet.

Um die zukünftigen Auswirkungen der Gefahren und Effekte auf die drei Bereiche bezüglich des Handlungsbedarfs zu priorisieren, wurden anschliessend zwei verschiedene Relevanzmatrizen für das Jahr 2060 erarbeitet. Einerseits wurden für das Jahr 2060 die Veränderungen unter dem sozioökonomischen Szenario (vgl. Unterkapitel 3.2) analysiert, z.B. die Auswirkungen von Hochwasserschäden an Gebäuden bei zunehmender baulicher Verdichtung (Relevanzmatrix siehe Anhang A-5). Andererseits wurden die zukünftigen Auswirkungen der Gefahren und Effekte auf die drei Bereiche unter dem Klimaszenario (vgl. Unterkapitel 3.1.2 und 3.1.3) priorisiert, z.B. die mögliche Auswirkung von tendenziell vermehrten Hochwassersituationen für Gebäuden (Tabelle 7). Die Unterteilung ermöglicht es, die Auswirkungen des Klimawandels auch vor dem Hintergrund der sozioökonomischen Entwicklung zu beurteilen bzw. zu unterscheiden, ob die zukünftigen Auswirkungen durch den Klimawandel und/oder durch die sozioökonomische Entwicklung verstärkt werden. Die beiden Relevanzmatrizen wurden ebenfalls am Workshop mit den Experten/innen diskutiert und anschliessend entsprechend deren Ergänzungen finalisiert.

Der Handlungsbedarf wird überall dort als gross angenommen, wo die Kombination von Gefahr/Effekt mit einem der Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit als «sehr relevant» eingestuft wird. Der Handlungsbedarf aufgrund des Klimawandels, der in der vorliegenden Studie im Zentrum steht, entspricht somit den als sehr relevant beurteilten Auswirkungen je Bereich unter dem Klimawandel 2060 (vgl. nachfolgende Tabelle). Zusätzlich wird die Relevanzbeurteilung gemäss dem sozioökonomischen Szenario miteinbezogen.

Auswirkungsbereich	Intensivniederschläge			Mittlere Niederschläge		Extremtemperaturen		Mittlere Temperatur	Wind	
	Starker Schneefall	Hochwasser	Erdrutsch / Hangmure	Unwetter/Gewitter	Allgemeine Trockenheit	Änderung Niederschlagsregime	Kältewelle	Hitzewelle	Zunahme Durchschnittstemp.	Sturm/Orkan
Freiraum	weiss	rot	weiss	rot	weiss	rosa	weiss	rot	rosa	weiss
Gebäude	weiss	rot	rosa	rot	weiss	rosa	weiss	rot	rosa	rot
Gesundheit	rosa	rosa	rosa	rosa	rosa	rosa	rosa	rot	rot	rosa

Tabelle 7: Relevanzmatrix Auswirkungsbereiche – Gefahren/Effekte. Situation im Jahr 2060 unter Berücksichtigung des **Klimaszenarios** gemäss den Resultaten des Experten/innen-Workshops. **rot**: sehr relevant, **rosa**: relevant, **weiss**: nicht relevant / vernachlässigbar.

Im **Bereich Freiraum** werden Hochwasser bereits heute als relevant beurteilt, da sie Aufräumarbeiten verursachen können. Aufgrund einer möglichen Häufung von Hochwasser unter dem Klimaszenario, werden sie unter diesem Blickwinkel als sehr relevant eingeschätzt. Unwetter/Gewitter werden bereits in der heutigen Situation als sehr relevant

beurteilt, da auch sie für grosse Schäden verantwortlich sein können, die Aufräumarbeiten verursachen. Dies wird sich auch unter dem Klimaszenario nicht verändern (obwohl zum heutigen Zeitpunkt noch unklar ist, ob sich Unwetter/Gewitter in Zukunft verstärken werden) und wird darum ebenfalls als sehr relevant eingeschätzt. Auch die allgemeine Trockenheit, Hitzewellen und die zunehmende Durchschnittstemperatur werden unter dem Klimaszenario als sehr relevant eingeschätzt, da diese bei der einheimischen Fauna und Flora zu Stress führen können und dadurch der Pflege- und Bewässerungsaufwand im Bereich der Freiräume steigt.

Für die zukünftigen Auswirkungen von Unwetter/Gewitter und Hitzewellen schätzen die Experten/innen zusätzlich die sozioökonomische Entwicklung als sehr relevant ein (vgl. Anhang A-5). Dies bedeutet, dass sich in Zukunft die Auswirkungen dieser beiden Gefahren auch aufgrund der sozioökonomischen Entwicklung, wie z.B. dem zunehmenden Versiegelungsdruck, verstärken könnten.

Im **Bereich Gebäude** werden Hochwasser, Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan für die heutige Situation bereits als sehr relevant eingeschätzt, da sie zu grossen Schäden am Bau und den Gebäudehüllen führen können. Die Auswirkungen dieser *bestehenden* Gefahren werden auch in Zukunft als sehr relevant beurteilt. Aufgrund einer möglichen Häufung von Hochwasser unter dem Klimaszenario, können die Auswirkungen dieser Gefahr noch zusätzlich an Relevanz gewinnen. Auch Hitzewellen werden für den Gebäudebereich als sehr relevant eingestuft, sowohl heute, als auch unter dem Klimawandel, da bei hohen Temperaturen im Gebäudeinnern die Arbeitsproduktivität sinkt und der Kühlbedarf steigt.

Für die zukünftigen Auswirkungen aller oben genannten Gefahren, schätzen die Experten/innen zusätzlich die sozioökonomische Entwicklung als sehr relevant ein (vgl. Anhang A-5). Dies bedeutet, dass sich in Zukunft die Auswirkungen dieser Gefahren auch durch die sozioökonomische Entwicklung, wie z.B. das Wirtschafts- und Siedlungswachstum, verstärken könnten.

Im **Bereich Gesundheit** werden die Hitzewellen bereits heute als sehr relevant eingeschätzt, da sich diese besonders negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken, wie der Hitzesommer 2003 zeigte. Unter dem Klimawandel wird die Frequenz, Intensität und Dauer der Hitzewellen zunehmen, weshalb diese Gefahr weiterhin als sehr relevant beurteilt wird. Auch die Zunahme der Durchschnittstemperatur wird unter dem Klimawandel als für die Gesundheit kritisch betrachtet (Verlängerte Pollensaison, Zunahme vektorübertragene Krankheiten, etc.), weshalb auch dort Handlungsbedarf festgestellt wurde.

Für die zukünftigen Auswirkungen durch Hitzewellen schätzen die Experten/innen zusätzlich die sozioökonomische Entwicklung als sehr relevant ein (vgl. Anhang A-5). Dies bedeutet, dass sich in Zukunft die Auswirkung dieser Gefahr einerseits durch den Klimawandel und andererseits durch die sozioökonomische Entwicklung, wie z.B. die Bevölkerungszunahme, verstärken könnte.

Insgesamt zeigt sich, dass die Experten/innen für den Grossraum Zürich und unter dem Klimaszenario die folgenden Gefahren und Effekte bzw. deren Auswirkungen auf die drei Bereiche als sehr relevant einschätzen:

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| — Hochwasser | für Freiraum und Gebäude |
| — Unwetter/Gewitter | für Freiraum und Gebäude |
| — Allgemeine Trockenheit | für Freiraum |
| — Hitzewelle | für Freiraum, Gebäude und Gesundheit |
| — Zunahme Durchschnittstemperatur | für Freiraum und Gesundheit |
| — Sturm/Orkan | für Gebäude |

Dabei ist zu beachten, dass man über die Entwicklung der Gefahren Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan unter dem Klimawandel gemäss heutigem Wissensstand keine Aussage machen kann (vgl. Tabelle 3). Falls sich die zukünftigen Auswirkungen gegenüber heute verstärken werden, ist dies aus heutiger Sicht hauptsächlich auf das sozioökonomische Szenario (Zunahme versiegelter Flächen, Bevölkerungswachstum, Wirtschaftswachstum) und die sich daraus ergebende Zunahme der Sensitivitäten zurückzuführen.

5.2 Geographische Lokalisierung der Auswirkungen des Klimawandels im Grossraum Zürich

Im zweiten Schritt wurden die als sehr relevant bewerteten zukünftigen Auswirkungen der Gefahren und Effekte geografisch lokalisiert. Dazu wurden die vorhandenen räumlichen Daten 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.

Die nachfolgenden Kapitel orientieren sich an den oben aufgelisteten Gefahren und Effekten (vgl. auch Tabelle 7), welche von den Experten/innen unter dem Klimaszenario als sehr relevant eingeschätzt werden.

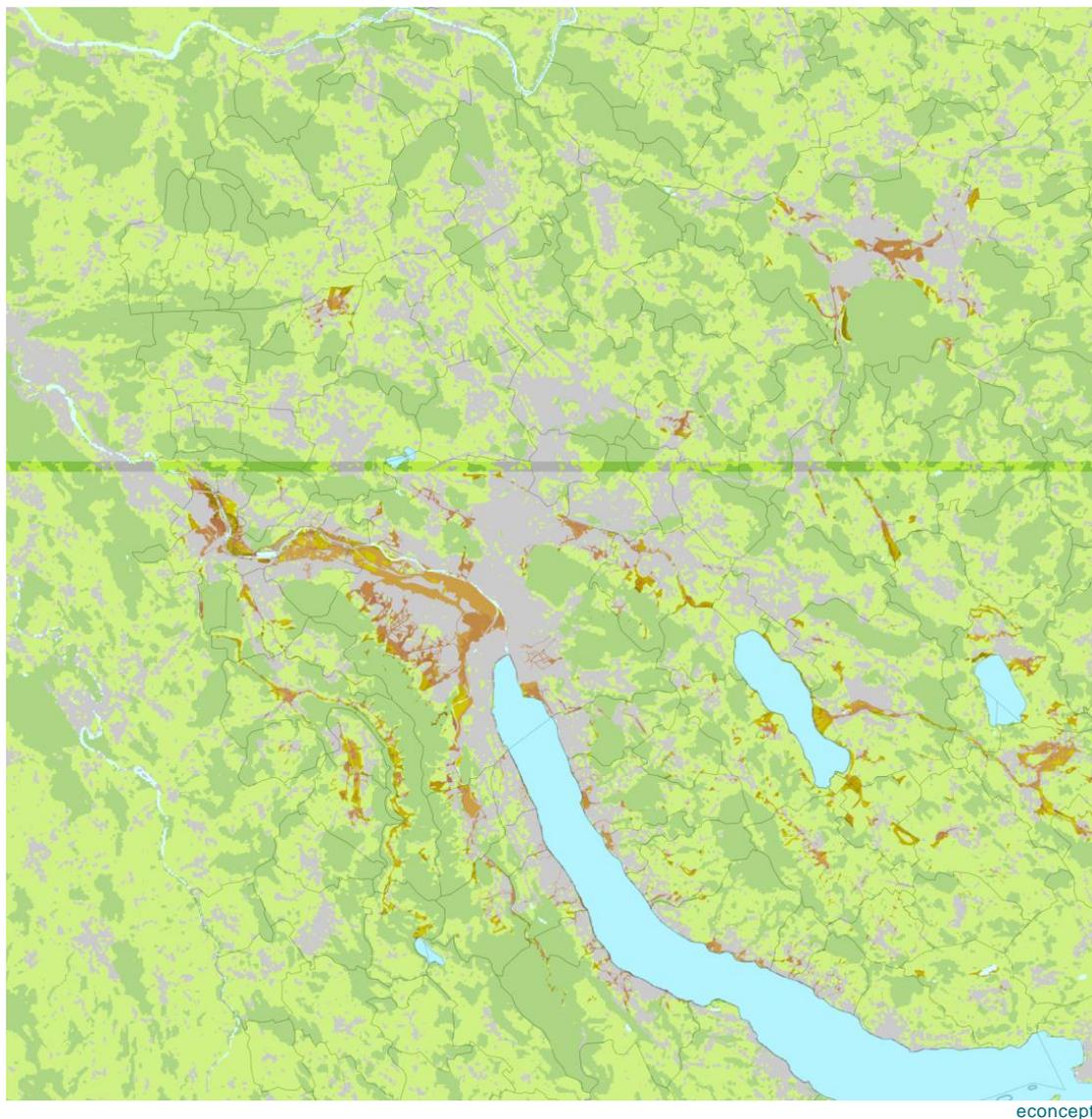
5.2.1 Hochwasser

Die Auswirkungen von Hochwasser werden für die Bereiche Freiraum und Gebäude als sehr relevant beurteilt, weshalb wir davon ausgehen, dass für diese Bereiche grundsätzlich Handlungsbedarf besteht. Um den Handlungsbedarf räumlich zu lokalisieren, wird in der Folge das vorhandene Kartenmaterial analysiert.

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. Tabelle 3). 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 16), 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), welcher durch Uster führt.

Kombination der Hochwassergefahrenkarte und Freiräumen



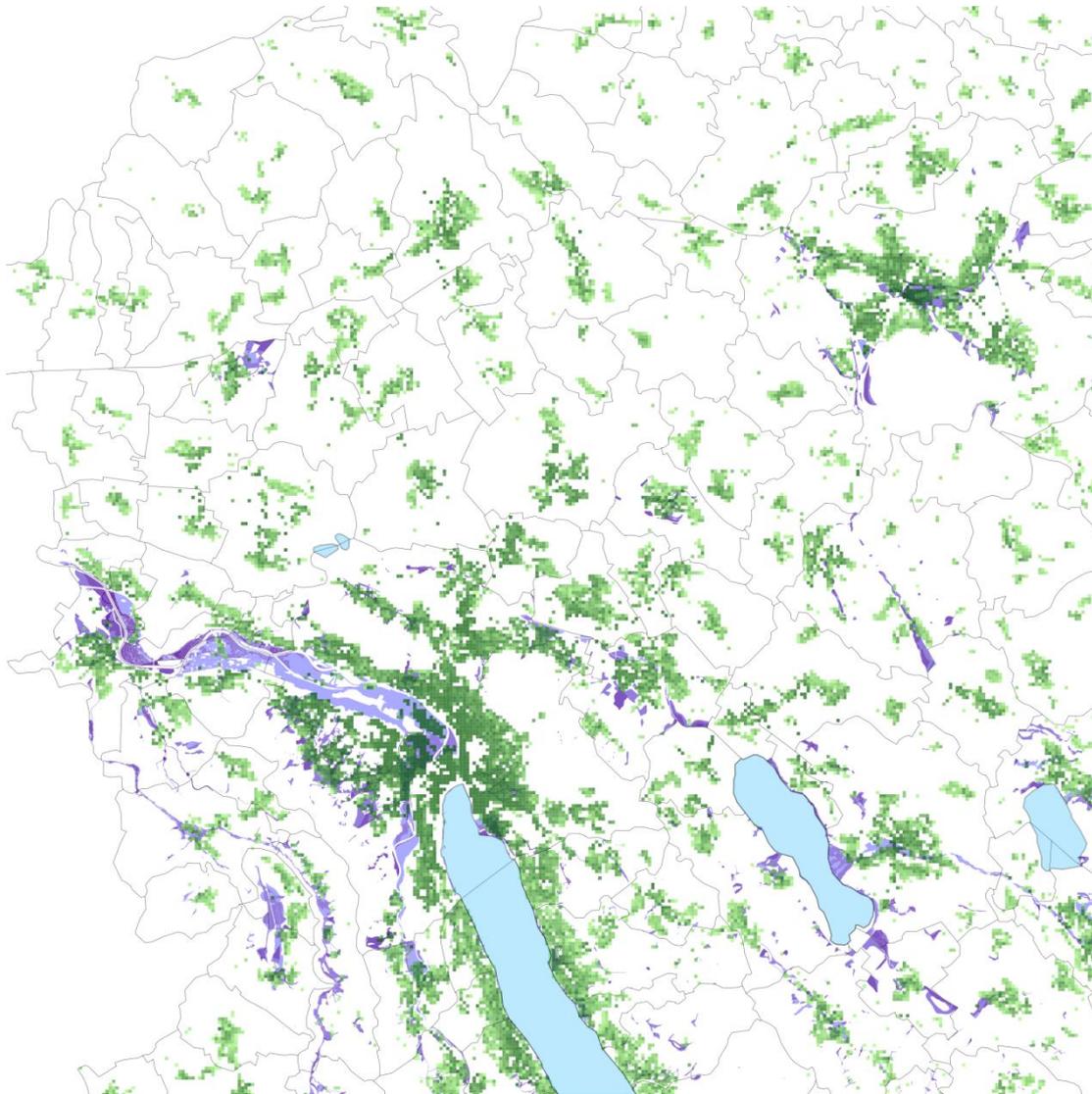
Figur 16: Kombination der Hochwassergefahrenkarte (orange-rot: je dunkler desto grösser), des grünen Freiraums (dunkelgrün = Wald, hellgrün = vegetationsbestandene Freifläche) und der versiegelten / bebauten Fläche (grau)
(Quelle: Kanton Zürich 2012d, Stadt Zürich 2012c)

Bei der Betrachtung der Hochwassergefahrenkarte in Kombination mit der heutigen Gebäudedichte (Figur 17), stellt man fest, dass innerhalb der Stadt Zürich die grösste Emp-

findlichkeit besteht. Das Überflutungsgebiet auf dem Sihl- Schwemmkegel 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 sozio-ökonomische Entwicklung, bzw. die Zahl der Gebäude in Zürich, die sich seit dem letzten grossen Sihl-Hochwasser von 1910 vervielfacht hat (Kanton Zürich, 2012e). Auch im Stadtzentrum von Winterthur besteht eine erhebliche Hochwassergefahr durch die Eulach. Diese trete 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, wie beispielsweise in den Gemeinden Dielsdorf und Bassersdorf. In beiden dieser Gemeinden sind Schutzmassnahmen in Planung oder bereits umgesetzt (Baudirektion Kanton Zürich, 2012; Zürcher Unterländer, 2012).

Kombination von Hochwasser und Gebäudevolumen



econcept

Figur 17: Kombination der Hochwassergefahrenkarte (lila: je dunkler desto grösser) und der Gebäudevolumen (Summe des Gebäudevolumens in der Hektare [in m³], grün: je dunkler desto grösser) (Quelle: Kanton Zürich 2012d)

5.2.2 Unwetter/Gewitter

Die Auswirkungen von Unwetter/Gewitter werden für die Bereiche Freiraum und Gebäude als sehr relevant beurteilt, weshalb wir davon ausgehen, dass für diese Bereiche grundsätzlich Handlungsbedarf besteht. Nachfolgend wird der Handlungsbedarf nach Möglichkeit räumlich lokalisiert.

Unwetter werden in Kapitel 3.1.3 wie folgt definiert: «Ausserordentliche Wettererscheinungen, die mit Gefahren wie Wind und Starkregen verbunden sind, werden als Unwetter bezeichnet. Der Begriff Unwetter ist eine Sammelbezeichnung für extreme Wetterereignisse. In der Meteorologie werden zu den Unwettern alle konvektiv bedingten Ereignisse wie Gewitter, Stürme, Hagel und Starkregen gezählt.»

Als Indikator für die Häufigkeit von Unwettern/Gewittern, greift MeteoSchweiz auf die durchschnittliche Blitztätigkeit zurück. Mit der Blitz- bzw. Gewitterhäufigkeit sind erstens die Blitzschlaggefahr, die Hagelgefahr und schliesslich die Gefahr von kurzzeitigen Intensivniederschlägen (lokale Überschwemmungen) und Gewitterstürmen abgedeckt. Mit der durchschnittlichen Blitztätigkeit 2000-2010 können drei Gefahrenzonen differenziert werden.

- 1 Höchste Blitzschlaggefahr, Hagelgefahr und Intensivniederschlagsgefahr (Gewitterniederschlag) sowie Gewittersturm-Gefahr: Gewitterzug entlang des Alpennordrandes, d.h. südlicher Kanton Zürich Region Hirzel, Wädenswil, Stäfa, Zürcher Oberland
- 2 Mittlere Blitzschlaggefahr, Hagelgefahr und Intensivniederschlags-Gefahr (Gewitterniederschlag) sowie Gewittersturm-Gefahr: Gewitterzug aus Südwesten über den Grossraum Zürich und Winterthur
- 3 Geringste Blitzschlaggefahr, Hagelgefahr und Intensivniederschlagsgefahr (Gewitterniederschlag) sowie Gewittersturm-Gefahr: Zürcher Unterland (Bezirke Dielsdorf und Bülach)

Der untersuchte Perimeter «Grossraum Zürich» liegt hauptsächlich in der mittleren Gefahrenzone, die Gemeinden in den Bezirken Dielsdorf und Bülach gar in der geringsten.

Obwohl gemäss heutigem Wissensstand keine Aussage bezüglich der zukünftigen Entwicklung von Unwettern/Gewittern gemacht werden kann (vgl. auch Kapitel 3.1), werden die Auswirkungen dieser Gefahr auf die beiden Bereiche Freiraum und Gebäude als sehr relevant eingeschätzt. Grund dafür ist, dass die Auswirkungen von Unwetter/Gewitter heute schon als sehr relevant beurteilt werden. In Zukunft wird diese hohe Relevanz erhalten bleiben und unter Umständen durch die sozioökonomischen Entwicklungen weiter verstärkt.

5.2.3 Trockenheit

Die Auswirkungen von Trockenheit werden für den Bereich Freiraum als sehr relevant beurteilt, weshalb wir davon ausgehen, dass für diesen Bereich grundsätzlich Handlungsbedarf besteht. Nachfolgend wird der Handlungsbedarf nach Möglichkeit räumlich lokalisiert.

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. Die Stärke der zukünftigen Trockenperioden lässt sich ebenfalls räumlich nicht nach unterschiedlichen Ausprägungen lokalisieren.

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

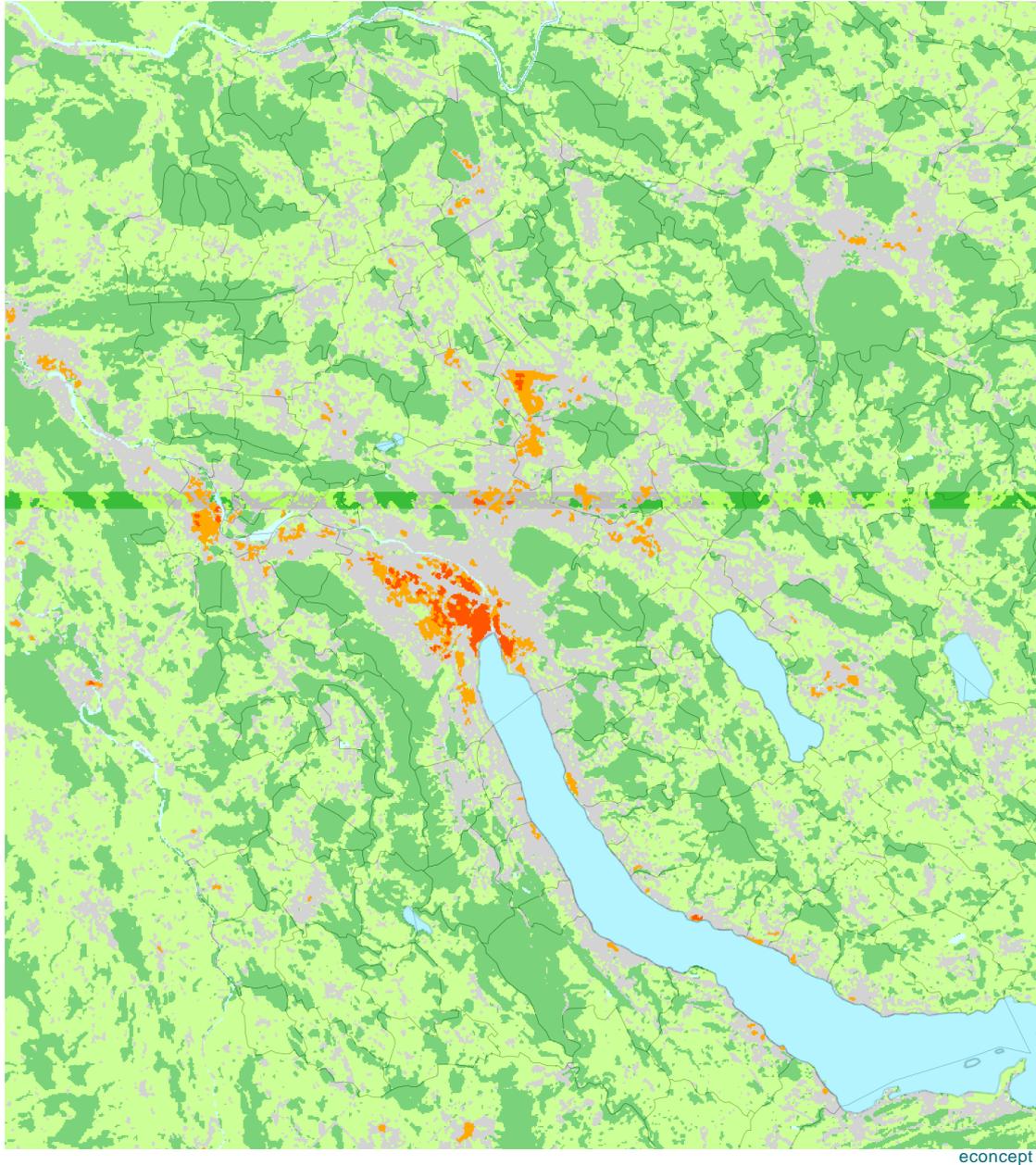
5.2.4 Hitzewelle

Die Auswirkungen von Hitzewellen werden für die Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit als sehr relevant beurteilt, weshalb wir davon ausgehen, dass für diese Bereiche grundsätzlich Handlungsbedarf besteht. Um den Handlungsbedarf räumlich zu lokalisieren, wird in der Folge bereichsrelevantes Kartenmaterial analysiert.

Bereits heute kann an gewissen Orten im Grossraum Zürich eine erhöhte Wärmebelastung konstatiert werden. Diese Wärmebelastung wird sich in Zukunft intensivieren, da unter dem Klimaszenario in Zukunft häufiger, längere und intensivere Hitzewellen erwartet werden. Wir gehen dabei davon aus, dass sich heutige Bereiche mit hoher Wärmebelastung zukünftig nicht grundlegend verschieben, sich diese aber je nach Intensität und Dauer der Hitzewelle, zumindest temporär ausbreiten werden.

Die räumliche Kombination der Wärmebelastung mit den Freiräumen (Figur 18) 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, welche wichtigen Kaltluftproduzenten sind und so der Wärmebelastung entgegenwirken.

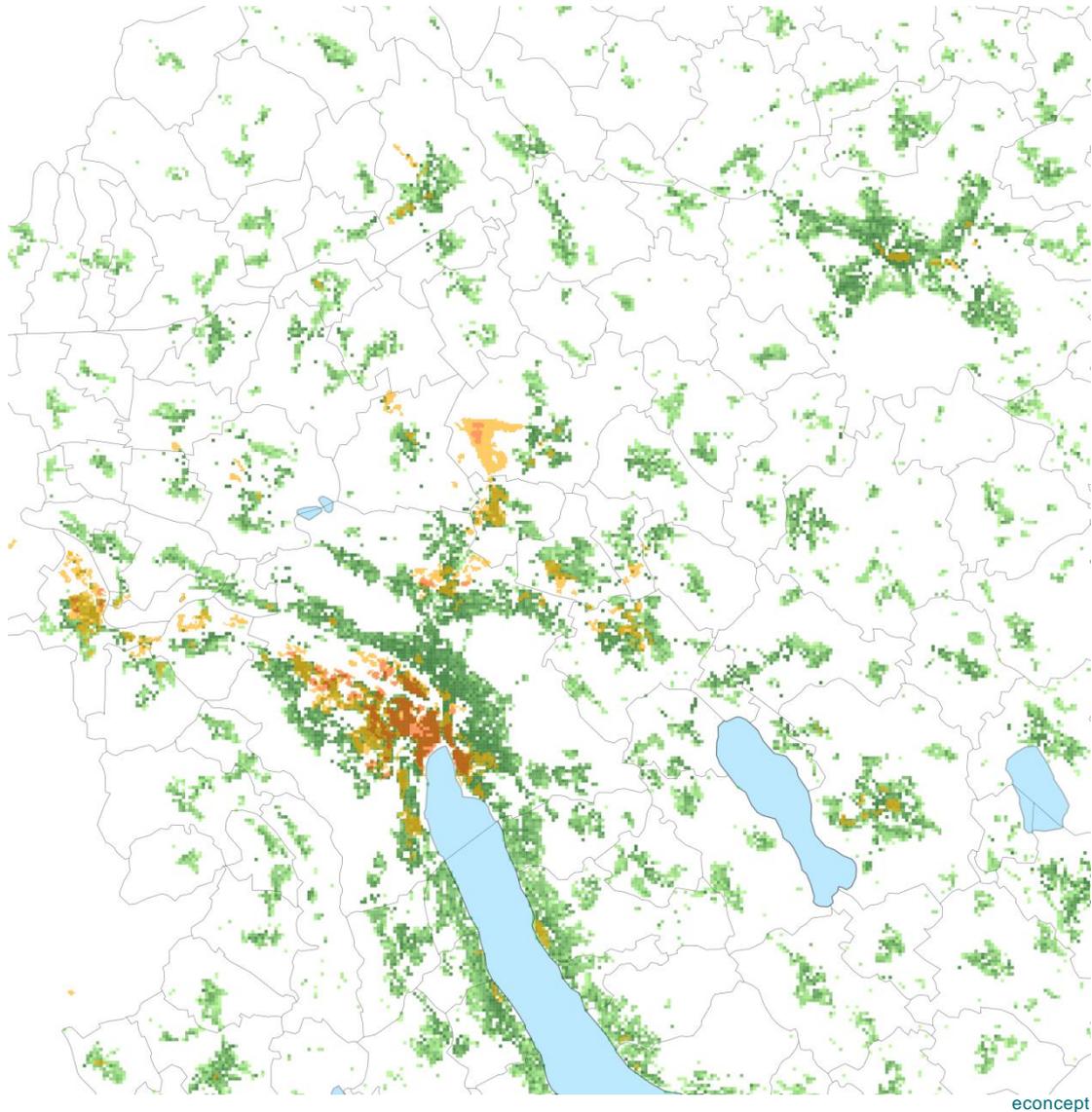
Kombination grüner und blauer Freiraum / Versiegelung und der Wärmebelastung



Figur 18: Kombination des grünen Freiraums (dunkelgrün = Wald, hellgrün = vegetationsbestandene Freifläche), der versiegelten / bebauten Fläche (grau) und der Wärmebelastung (orange-rot; je dunkler desto grösser)
(Quelle: Stadt Zürich 2012c)

Die Kombination von Wärmebelastung und Gebäudevolumen (Figur 19) 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 durch die 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.

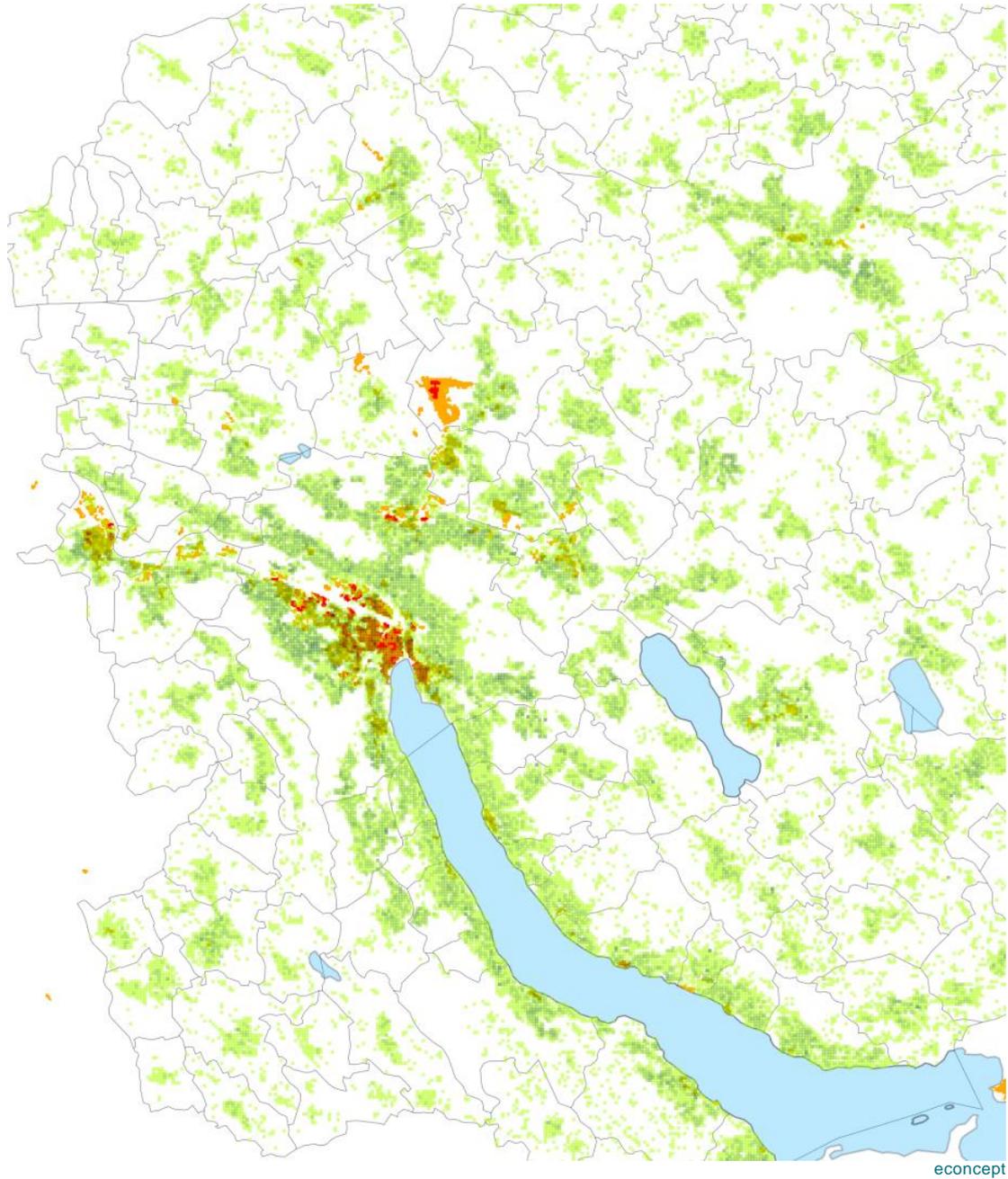
Kombination der Wärmebelastung mit dem Gebäudevolumen



Figur 19: Kombination der Wärmebelastung (gelb-orange, je dunkler desto grösser) und des Gebäudevolumens (Summe des Gebäudevolumens in der Hektare [in m³]): grün: je dunkler desto grösser (Quelle: Kanton Zürich, 2012d; Stadt Zürich 2012c)

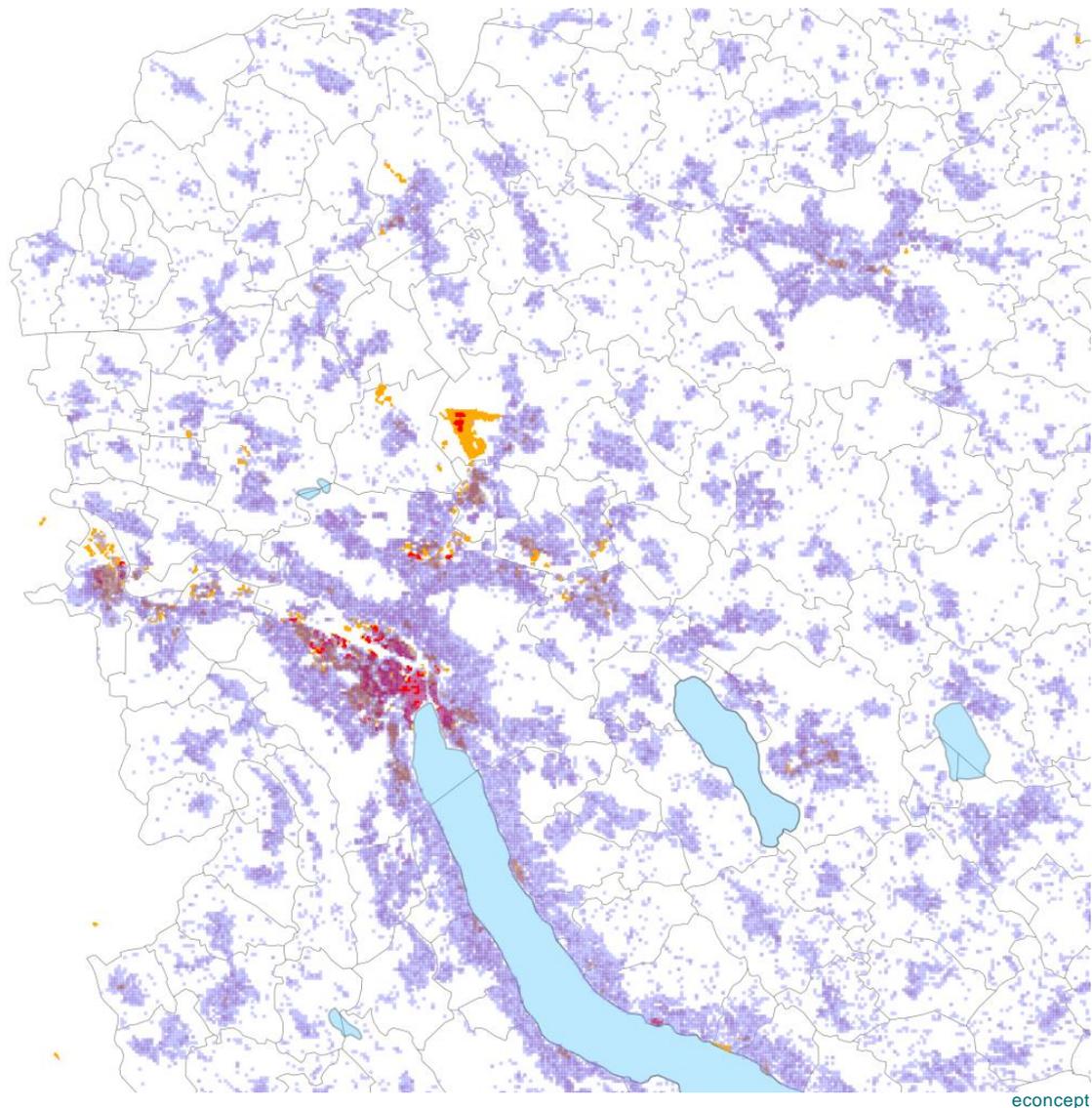
Im Zusammenhang mit dem Bereich Gesundheit wird in Figur 20 und Figur 21 die Kombination der heutigen Wärmebelastung mit dem Anteil der über 65-Jährigen und den unter 3-Jährigen betrachtet. Daraus wird ersichtlich, dass diese Bevölkerungsgruppen in den Gemeinden des Glatt- und Limmattals sowie in den Städten Zürich, Winterthur und Uster stellenweise heute bereits von einer Wärmebelastung betroffen sind. Die Situation für diese besonders empfindlichen Bevölkerungsgruppen droht sich durch den Klimawandel zusätzlich zu verschärfen. Hier zeigt sich ein grosser Handlungsbedarf in Pfleg- und Altersheimen, Kinderkrippen und weiteren Betreuungsangeboten sowie bei der Spitex, welche in den betroffenen Gebieten tätig sind.

Über 65-Jährige / Wärmebelastung



Figur 20: Kombination des Anteils der über 65-Jährigen (je Hektar) und der Wärmebelastung.
grün = Anteil der über 65-Jährigen (je dunkler desto grösser); orange-rot = Wärmebelastung (je dunkler desto grösser)
(Quelle: Kanton Zürich, 2012c; Stadt Zürich 2012c)

Unter 3-Jährige / Wärmebelastung



Figur 21: Kombination des Anteils der unter 3-Jährigen (je Hektar) und der Wärmebelastung.
 lila = Anteil der unter 3-Jährigen (je dunkler desto grösser); orange-rot = Wärmebelastung (je dunkler desto grösser)
 (Quelle: Kanton Zürich, 2012c; Stadt Zürich 2012c)

5.2.5 Zunahme Durchschnittstemperatur

Die Auswirkungen der zunehmenden Durchschnittstemperatur werden für die Bereiche Freiraum und Gesundheit als sehr relevant beurteilt, weshalb wir davon ausgehen, dass für diese Bereiche grundsätzlich Handlungsbedarf besteht. Nachfolgend wird der Handlungsbedarf nach Möglichkeit räumlich lokalisiert.

Wie im Unterkapitel 3.1 gezeigt, konnte in der Vergangenheit für die ganze Schweiz eine mittlere Temperaturzunahme 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 dieser Handlungsbedarf für den gesamten Grossraum Zürich.

5.2.6 Sturm/Orkan

Die Auswirkungen von Sturm/Orkan werden für den Bereich Gebäude als sehr relevant beurteilt, weshalb wir davon ausgehen, dass für diesen Bereich grundsätzlich Handlungsbedarf besteht. Nachfolgend wird der Handlungsbedarf nach Möglichkeit räumlich lokalisiert.

In der Schweiz wurden in den letzten Jahrzehnten mehrere Stürme mit teils gravierenden Schäden beobachtet, unter anderem der Sturm «Lothar» im Jahr 1999. Schweiz weit zählen Stürme heute zu den wichtigsten und gefährlichsten Gefahren. Durch statistische Auswertung können heute die Wiederkehrperioden von bestimmten Windgeschwindigkeiten geschätzt werden, so wird z.B. für Zürich-Fluntern alle zwei Jahre (im statistischen Mittel) eine Windböe von 127 km/h oder mehr erwartet. Erreicht der Wind nur kurzzeitig (für wenige Sekunden) Sturmstärke, so spricht man von einer Sturmböe. Dabei gilt zu beachten, dass in der leicht erhöhten, westwindexponierten Messstation Zürich-Fluntern tendenziell stärkere Windböen beobachtet werden als in anderen Flachlandstationen (MeteoSchweiz, 2013a). Eine genauere Aussage betreffend unterschiedlicher lokaler Ausprägungen von Stürmen im Grossraum Zürich, lässt sich jedoch nicht machen.

Obwohl gemäss heutigem Wissensstand keine Aussage bezüglich der zukünftigen Entwicklung von Stürmen/Orkanen gemacht werden kann (vgl. auch Kapitel 3.1), werden die Auswirkungen dieser Gefahr auf den Bereich Gebäude als sehr relevant eingeschätzt. Grund dafür ist, dass die Auswirkungen von Sturm/Orkan heute schon als sehr relevant beurteilt werden. In Zukunft wird diese hohe Relevanz erhalten bleiben und unter Umständen durch die sozioökonomischen Entwicklungen verstärkt.

5.3 Synthese: Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf im Grossraum Zürich

Nach den zwei vorhergehenden Schritten «Priorisierung der Auswirkungen des Klimawandels im Grossraum Zürich» (Unterkapitel 5.1) und «Geografische Lokalisierung der Auswirkungen des Klimawandels im Grossraum Zürich» (Unterkapitel 5.2) hat sich der grösste Handlungsbedarf unter dem Klimaszenario 2060 herauskristallisiert. Die nachfolgenden Tabellen fassen die Ergebnisse für die drei Bereiche zusammen. Dabei werden auch die wichtigsten, von den relevanten Auswirkungen betroffenen Personengruppen ausgewiesen:

Freiraum					
«sehr relevante» Gefahren und Effekte	Hochwasser	Unwetter/Gewitter	Trockenheit	Hitzewelle	Zunehmende Durchschnittstemperatur
Geographische Betroffenheit	Sihl- Schwemmkegel Stadt Zürich Winterthur Dielsdorf Bassersdorf Uster u.a.	Gesamter Grossraum Zürich, mit etwas schwächerer Ausprägung in den Bezirken Dielsdorf und Bülach	Gesamter Grossraum Zürich	Stadt Zürich Winterthur Dietikon Oerlikon Opfikon Wallisellen Dübendorf Uster u.a.	Gesamter Grossraum Zürich
Betroffene Personen	– Eigentümer/in, bzw. Betreiber/in von Freiräumen (Öffentliche und Private) – Nutzer/innen der Freiräume				

Tabelle 8: Synthese: Handlungsbedarf im Bereich Freiraum

Gebäude				
«sehr relevante» Gefahren und Effekte	Hochwasser	Unwetter/Gewitter	Hitzewelle	Sturm/Orkan
Geographische Betroffenheit	Sihl- Schwemmkegel Stadt Zürich Winterthur Dielsdorf Bassersdorf Uster u.a.	Gesamter Grossraum Zürich, mit etwas schwächerer Ausprägung in den Bezirken Dielsdorf und Bülach	Stadt Zürich Winterthur Dietikon Oerlikon Opfikon Wallisellen Dübendorf Uster u.a.	Gesamter Grossraum Zürich
Betroffene Personen	– Eigentümer/in der Gebäude – Betreiber/innen der Gebäude – Nutzer/innen der Gebäude	– Eigentümer/in der Gebäude – Betreiber/innen der Gebäude	– Nutzer/innen der Gebäude (Arbeit, Wohnen, Freizeit) – Eigentümer/innen der Gebäude – Betreiber/innen der Gebäude	– Eigentümer/in der Gebäude – Betreiber/innen der Gebäude

Tabelle 9: Synthese: Handlungsbedarf im Gebäudebereich

Gesundheit		
Gefahren und Effekte	Hitzewelle	Zunahme Durchschnittstemperatur
Geographische Betroffenheit	Stadt Zürich Winterthur Dietikon Oerlikon Opfikon Wallisellen Dübendorf Uster u.a.	Gesamter Grossraum Zürich
Betroffene Personen	Sensible Bevölkerungsgruppen: – Senioren/innen – Kleinkinder – Schwangere Frauen – Chronisch Kranke – Arbeitende draussen	– Allergiker – Leute, die sich oft im Freien aufhalten (insbes. im grünen Freiraum)

Tabelle 10: Synthese: Handlungsbedarf im Gesundheitsbereich

Zusammenfassend zeigt die Priorisierung und geografische Lokalisierung, dass die relevantesten, durch den Klimawandel bedingten Auswirkungen auf die drei Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit im Grossraum Zürich aufgrund folgender Gefahren und Effekte erwartet werden:

Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf auf...	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 11: Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf auf die drei Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit. ● =räumliche Lokalisierung/Differenzierung möglich; ○ = ganzer Grossraum in gleichem Ausmass betroffen.

Auch die Auswirkungen der beiden Gefahren Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan werden zukünftig teilweise als sehr relevant beurteilt. Diese Einschätzung beruht aber nicht auf den erwarteten Veränderungen aufgrund des Klimawandels. Basierend auf dem heutigen Wissenstand in der Klimaforschung ist die zukünftige Entwicklung von Unwetter/Gewitter und Sturm/Orkan noch von erheblichen Unsicherheiten geprägt (vgl. Tabelle 3). Die zukünftigen Auswirkungen werden teilweise als sehr relevant beurteilt, da ihre Auswirkungen bereits heute als sehr relevant beurteilt werden und sich aufgrund der sozioökonomischen Entwicklung weiter verstärken könnten.

Auch für alle anderen, für den Grossraum Zürich relevanten Gefahren und Effekte gilt, dass ihre zukünftigen Auswirkungen durch die sozioökonomische Entwicklung beeinflusst und dadurch verstärkt werden können.

6 Ermittlung und Beurteilung von Anpassungsmassnahmen für den Grossraum Zürich

Für ausgewählte Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf werden im vorliegenden Kapitel Anpassungsmassnahmen beschrieben (Kapitel 6.1). Diese wurden basierend auf einer Analyse von Literatur sowie mittels eines Experten/innen-Workshops (Experten/innen-Workshop 2013) ermittelt und anschliessend priorisiert.

In einem zweiten Schritt wurden die priorisierten Anpassungsmassnahmen einer umfassenden Beurteilung unterzogen (Kapitel 6.2). Diese erfolgte mittels einer Multikriterienanalyse in den drei Dimensionen «Gesellschaft», «Umwelt» und «Volkswirtschaft» und basiert auf der Auswertung bestehender Informationen, ergänzenden Analysen und Einschätzungen des Projektteams.

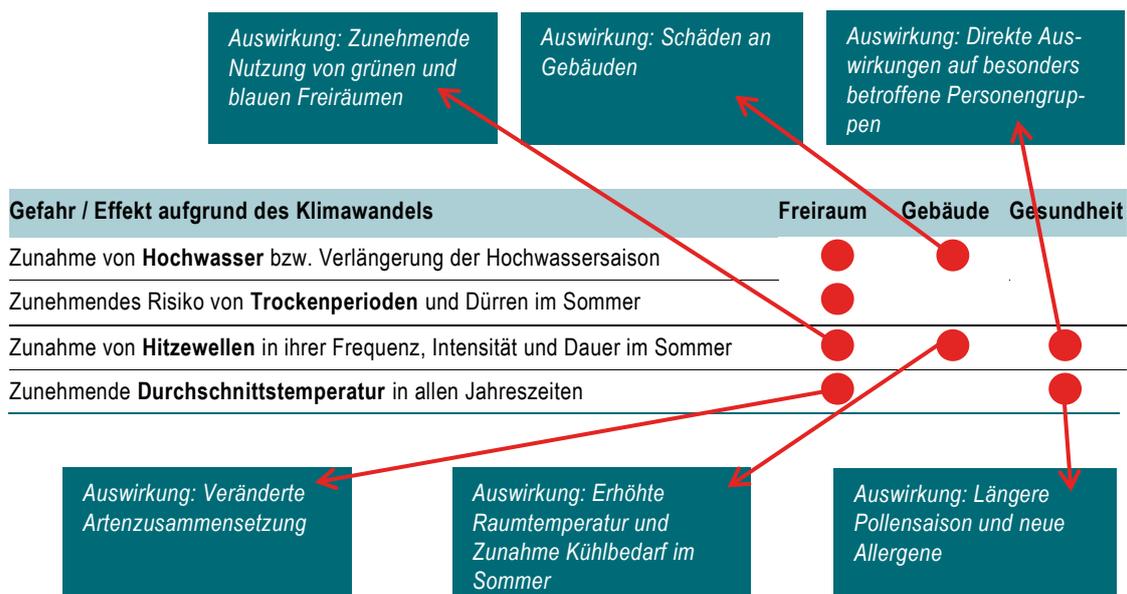
6.1 Ermittlung und Priorisierung von Anpassungsmassnahmen

Für ausgewählte Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf (vgl. Kapitel 5) werden Anpassungsmassnahmen ermittelt und priorisiert.

6.1.1 Auswahl von zwei relevanten Auswirkungen pro Bereich

Da das Spektrum an Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf sehr breit ist, wurde für die Ermittlung von Anpassungsmassnahmen auf zwei besonders relevante Auswirkungen pro Bereich (Freiraum, Gebäude, Gesundheit) fokussiert. Diese Fokussierung hat zum Ziel, die Anpassungsmassnahmen und deren Beurteilung auf eine möglichst konkrete Ebene zu bringen. Die Auswirkungen wurden basierend auf der Synthese aus Kapitel 5.3 ausgewählt. Figur 22 zeigt, wo pro Bereich grosser Handlungsbedarf besteht und für welche Auswirkungen Anpassungsmassnahmen vertieft analysiert wurden:

- Die **roten Punkte** zeigen in welchen Bereichen bestimmte Gefahren und Effekte zu einem grossen Handlungsbedarf führen. *Lesebeispiel:* Die Zunahme von Hochwasser führt sowohl im Bereich Freiraum als auch im Bereich Gebäude zu einem grossen Handlungsbedarf.
- Die **dunkelblauen Felder** weisen jene Auswirkungen aus, die im Rahmen der vorliegenden Studie vertieft analysiert wurden. *Lesebeispiel:* Im Bereich Freiraum wurde die zunehmende Nutzung von grünen und blauen Freiräumen sowie die veränderte Artenzusammensetzung vertieft analysiert.



Figur 22: Übersicht der ausgewählten Auswirkungen (dunkelblaue Felder) welche in den nachfolgenden Kapiteln diskutiert werden.

6.1.2 Ermittlung der Anpassungsmassnahmen und deren Priorisierung

Für die ausgewählten Auswirkungen wurden Anpassungsmassnahmen hergeleitet und aktorspezifisch gruppiert. In einem ersten Schritt wurde dazu eine Analyse der Literatur durchgeführt, anschliessend wurden die so recherchierten Anpassungsmassnahmen am zweiten Experten/innen-Workshop von den Teilnehmenden diskutiert und ergänzt (Experten/innen-Workshop 2013). Gleichzeitig wurden am Workshop Informationen zu bereits umgesetzten oder geplanten Anpassungsmassnahmen abgeholt. Ebenfalls am Workshop wurden die Massnahmen durch die anwesenden Experten/innen anhand von drei Kriterien grob eingeschätzt und priorisiert. Die drei verwendeten Kriterien werden in der folgenden Tabelle erläutert:

Kriterium	Beschreibung	Indikatoren	Punkte
Risikoreduktion	Effektivität der Option zur Vermeidung des Schadensrisikos	Potenzial zur Verhinderung von Schäden (Kosten oder nicht monetär fassbaren Schäden, z.B. Verlust Artenvielfalt)	klein (1), mittel (2), gross (3)
Kosten/Nutzen	Nutzen übersteigt Kosten der Anpassungsmassnahmen	Abschätzung des Kosten/Nutzen Verhältnisses	negativ (1), neutral (2), positiv (3)
Umsetzbarkeit	Akzeptanz und Umsetzbarkeit der Anpassungsoption	Gesellschaftliche Akzeptanz	klein (1), mittel (2), gross (3)

Tabelle 12: Kriterien und Indikatoren zur Einschätzung der ausgewählten Anpassungsmassnahmen durch die Experten/innen am Workshop.

Die nachstehenden Tabellen listen die eruierten Anpassungsmassnahmen in der Reihenfolge ihrer Priorisierung auf. Die ausgewiesene Punktzahl bezieht sich auf die durch-

schnittliche Punktzahl der genannten Kriterien, wobei pro Kriterium durch die Experten/innen eine Punktzahl von 1 bis 3 vergeben wurde und jedes Kriterium gleichgewichtet in den Durchschnitt einfluss. Die im Kapitel 6.2 vertieft beurteilten Anpassungsmassnahmen sind in den folgenden Tabellen gelb markiert.

Anpassungsmassnahmen im Bereich Freiraum

Im Bereich Freiraum wurden für die Auswirkungen «Zunehmende Nutzung von grünen und blauen Freiräumen» und «Veränderte Artenzusammensetzung» Anpassungsmassnahmen diskutiert. Dabei wurden Anpassungsmassnahmen identifiziert, welche nicht ausschliesslich, aber in erster Linie von der öffentlichen Hand umgesetzt werden können.

Auswirkung durch Hitzewelle: Zunehmende Nutzung von grünen und blauen Freiräumen	
Anpassungsmassnahmen für die öffentliche Hand	Durchschnittliche Punktzahl
1 Freihaltung bestehender Freiräumen: Wasser-, Wald-, Grün- und Parkflächen von Bebauung frei halten	2.6
2 Klimagerechte Gestaltung der Grünflächen, beispielsweise keine Begrenzung durch dichte Randbepflanzungen oder Mauern, Grünflächen höher legen als Umgebung, Einbau von Wasserelementen.	2.1
3 Durchgrünung von grauen Freiräume (Strassen, Wege, Plätze, etc.) verbessern, beispielsweise durch Pflanzung von Strassenbäumen.	2.1
4 Schaffung neuer grüner und blauer Freiräume	2.0
5 Durchgrünung von Gebäuden verbessern, beispielsweise Innenhofbepflanzungen, Dach- und Fassadenbegrünungen.	2.0
6 Verbesserung der Luftzirkulation und des Luftaustausches durch adäquate Freiraumgestaltung	2.0
7 Zusätzliche Schattenzonen in grünen Freiräumen schaffen.	1.9
8 Informieren und Sensibilisieren der privaten Eigentümer/innen von grünem und blauem Freiraum über Anpassungsmassnahmen und Handlungsoptionen	1.9
9 Informieren und Sensibilisieren der Nutzer/innen des grünen und blauen Freiraums, beispielsweise über den korrekten Umgang mit Grünflächen	1.9
10 Wasserelemente neu erstellen bzw. der Bevölkerung neu zugänglich machen, beispielsweise Bäche, Flüsse, Seen und Brunnen.	1.8

Tabelle 13: Anpassungsmassnahmen und deren Priorisierung im Bereich Freiraum für Auswirkungen «Zunehmende Nutzung von grünen und blauen Freiräumen».

Auswirkung durch Zunahme der Durchschnittstemperatur: «Veränderte Artenzusammensetzung»	
Anpassungsmassnahmen für die öffentliche Hand	Durchschnittliche Punktzahl
1 Umbau und Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern.	2.3
2 Standortverbesserung Strassenbäume: Einbau eines optimierten struktur- und verdichtungsstabilen Baumsubstrates.	2.2
3 Stärkung der Widerstandsfähigkeit der Freiräume, beispielsweise durch den Erhalt wertvoller Lebensräume oder die Schaffung von Wanderungskorridoren.	2.1
4 Gewinnung von Grundlagenwissen durch Forschung und Risikoanalyse.	2.1
5 Verwendung von Bodenbedeckern zum Schutz vor Austrocknung der Böden.	2.0
6 Anpassung der Auswahl von Arten bei Neuanpflanzungen, welche mit dem veränderten Klima (wärmer und trockener im Sommer) umgehen können	2.0
7 Verbesserung des Monitorings zur Früherkennung von klimabedingten Veränderungen der Artenzusammensetzung.	2.0
8 Sensibilisierungskampagne für private Eigentümer/innen von grünen Freiräumen über Auswirkungen und Anpassungsmassnahmen.	1.8

Auswirkung durch Zunahme der Durchschnittstemperatur: «Veränderte Artenzusammensetzung»	
Anpassungsmassnahmen für die öffentliche Hand	Durchschnittliche Punktzahl
9 Fördern der Stresstoleranz der Grünflächen durch klimaangepasste Pflege.	1.7

Tabelle 14: Anpassungsmassnahmen und deren Priorisierung im Bereich Freiraum für Auswirkungen «Veränderte Artenzusammensetzung».

Anpassungsmassnahmen im Bereich Gebäude

Im Bereich Gebäude wurden für die Auswirkungen «Erhöhte Raumtemperatur und Zunahme des Kühlbedarfs im Sommer» und «Schäden am Gebäude» Anpassungsmassnahmen diskutiert. Dabei wurden Anpassungsmassnahmen identifiziert, welche entweder von den Eigentümer/innen oder von der öffentlichen Hand umgesetzt werden können.

Auswirkungen durch Hitzewellen: «Erhöhte Raumtemperatur und Zunahme des Kühlbedarfs im Sommer»	
Anpassungsmassnahmen für Eigentümer/innen der Gebäude	Durchschnittliche Punktzahl
1 Passive Massnahmen am Gebäude, beispielsweise Art, Grösse und Ausrichtung der Fenster anpassen, Sonnenschutz, Dämmung, Fassaden- und Dachbegrünung.	2.3
2 Reduktion von Wärmequellen im Gebäudeinnern, beispielsweise durch energieeffiziente Geräte und Beleuchtungen, bedarfsgerechter Betrieb und Tageslichtnutzung.	2.3
3 Kühlung der Innenräume, beispielsweise durch Wärmepumpen, aktive Kühlsysteme, oder eine effiziente Nachtlüftung.	2.2
4 Erstellen von Gebäuden mit klimaangepasster Raum- und Fassade-Geometrie.	1.9
5 Hinzufügen von landschaftsarchitektonischen Elementen rund um die Gebäude, wie beispielsweise Pflanzen von Bäumen, Anlegen von Grünflächen und Wasseranlagen.	1.7
Anpassungsmassnahmen für die öffentliche Hand	
1 Bessere Ausbildung von Baufachleuten in Bezug auf klimaangepasstes Bauen.	2.4
2 Gesetzliche Vorgaben und Regelungen zu klimaangepasstem Bauen	2.4
3 Anpassung von Normen und Empfehlungen bezüglich klimaangepasstem Bauens.	2.3
4 Information / Leitfaden für Gebäudeeigentümer/innen zu klimaangepasstem Bauen.	2.1
5 Information für Nutzer/innen zum optimalen Verhalten in Gebäuden insbesondere während den Sommermonaten und bei erhöhten Aussentemperaturen.	2.0

Tabelle 15: Anpassungsmassnahmen und deren Priorisierung im Bereich Gebäude für Auswirkungen «Erhöhte Raumtemperatur und Zunahme des Kühlbedarfs im Sommer».

Auswirkungen durch Hochwasser: «Schäden am Gebäude»	
Anpassungsmassnahmen für Eigentümer/innen	Durchschnittliche Punktzahl
1 Bauliche Schutzmassnahmen bei <i>Neubauten</i> : Gegen Hochwasser am Gebäude, z.B. Verzicht auf Untergeschosse, Tiefgaragen und Keller bzw. Einschränkungen zur Kellernutzung, feste oder mobile Schutzeinrichtungen auf dem Grundstück, Kellerzugänge und Tiefgarageneinfahrten mit leistungsfähigen Entwässerungssystemen versehen.	2.3
2 Bauliche Schutzmassnahmen analog zu 1, jedoch bei <i>Sanierungen</i> .	1.6
Anpassungsmassnahmen für die öffentliche Hand	
1 Berücksichtigung der zukünftigen klimatischen Entwicklung bei der Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen.	2.4
2 Ausbildung der Versicherungs- und Baufachleute verbessern.	2.2
3 Information für Eigentümer/innen bezüglich Risiken und Vorsorgemassnahmen betreffend baulichem Schutzmassnahmen und Anpassung der Konstruktion und Struktur der Gebäude.	1.6
4 Durch weitere Forschungsarbeiten Wissen bezüglich Zielkonflikte generieren.	1.5

Auswirkungen durch Hochwasser: «Schäden am Gebäude»	
Anpassungsmassnahmen für Eigentümer/innen	Durchschnittliche Punktzahl
5 Anpassung der gesetzlichen Vorgaben und Regelungen bezüglich des Hochwasserschutzes im Hinblick auf den Klimawandel.	1.3
6 Anpassung von Normen und Empfehlungen bezüglich des Hochwasserschutzes.	1.3

Tabelle 16: Anpassungsmassnahmen und deren Priorisierung im Bereich Gebäude für Auswirkungen «Schäden am Gebäude».

Anpassungsmassnahmen im Bereich Gesundheit

Im Bereich Gesundheit wurden für die Auswirkungen «Direkte Auswirkungen auf besonders betroffene Personengruppen» und «Längere Pollensaison und neue Allergene» Anpassungsmassnahmen diskutiert. Dabei wurden Anpassungsmassnahmen identifiziert, welche von der öffentlichen Hand und den Arbeitgebenden umgesetzt werden können.

Auswirkung durch Hitzewellen: «Direkte Auswirkungen auf besonders betroffene Personengruppen»	
Anpassungsmassnahmen für die öffentliche Hand	Durchschnittliche Punktzahl
1 Etablierung eines Warndienstes bei Hitzewellen, z.B. SMS-Alarm für Risikogruppen, Warndienste über Smartphone-Apps, Radioansagen und weitere Warndienste.	2.8
2 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.	2.7
3 Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen, beispielsweise durch breit angelegte Informationskampagnen oder gezielte Sensibilisierung von besonders gefährdeten Personengruppen.	2.7
4 Verstärkte aktive und passive Kühlung in Altersheimen, Krankenhäusern, Schulhäusern und Kindertagesstätten.	2.7
5 Schaffung von gekühlten Räumen, die öffentlich zugänglich sind.	2.1
Anpassungsmassnahmen für Arbeitgebende	
1 Planung und Umsetzung konkreter Massnahmen in Unternehmen, z.B. kurzfristige Bereitstellung von kühlem Wasser und Ventilatoren, Lockerung von Kleidervorschriften.	2.7
2 Information und Sensibilisierung der Mitarbeitenden zu Verhalten bei Hitzewellen	2.5
3 Saisonale Anpassung von Arbeitszeitmodellen.	1.8

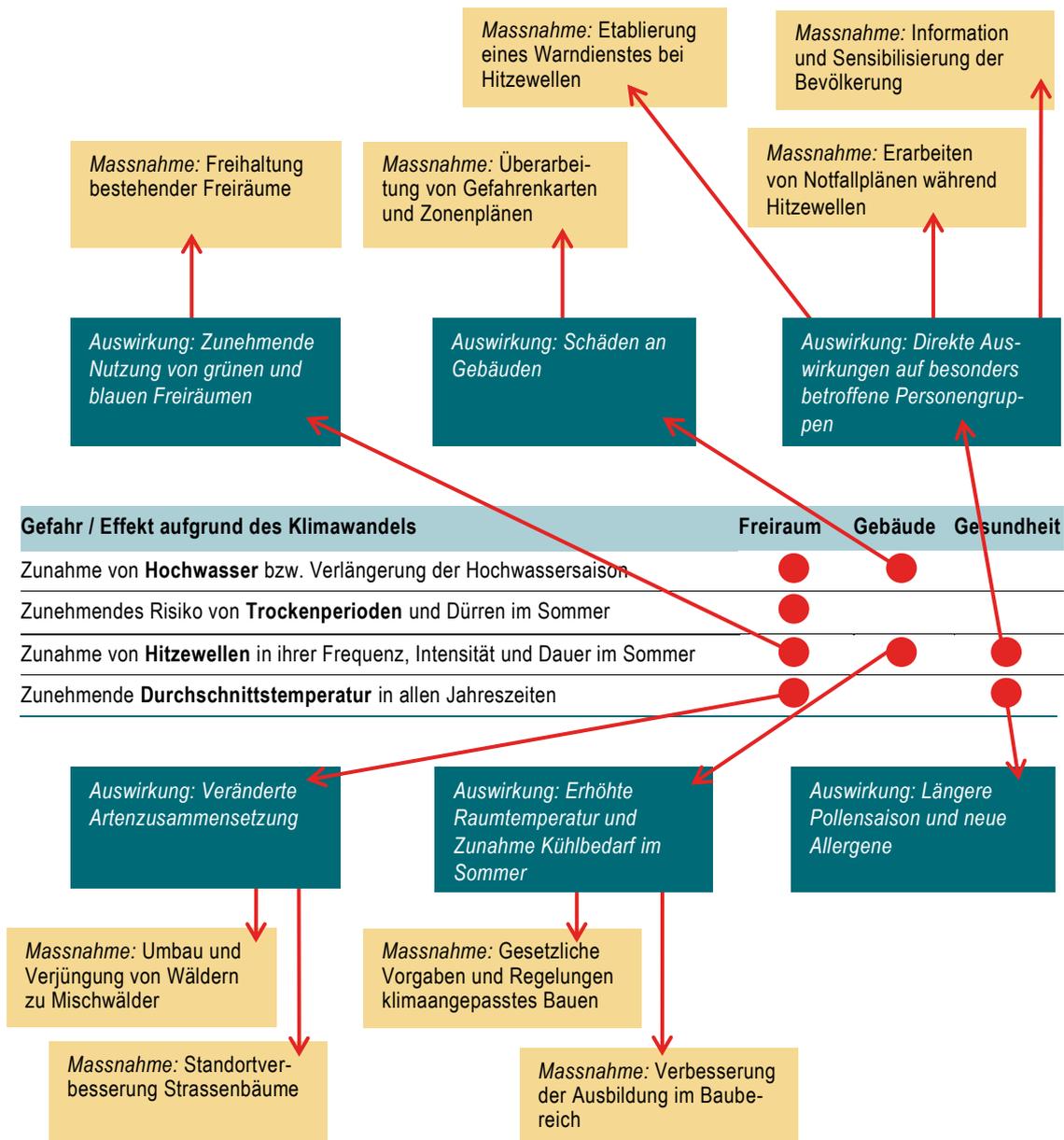
Tabelle 17: Anpassungsmassnahmen und deren Priorisierung im Bereich Gesundheit für Auswirkungen «Zunahme Herz-Kreislaufprobleme, Hitzeschläge, Dehydration, Tote».

Auswirkung durch Zunahme Durchschnittstemperatur: «Längere Pollensaison und neue Allergene»	
Anpassungsoption für die öffentliche Hand	Durchschnittliche Punktzahl
1 Informationen zum Pollenflug in den Wetterprognosen einschliessen, Warnung der Bevölkerung	2.7
2 Information der Bevölkerung und spezifischer Akteursgruppen	2.5
3 Information der Ärzte/innen und des Pflegepersonals	2.4
4 Überwachung der Ausbreitung und allenfalls Bekämpfung invasiver Neobiota mit starkem Allergienpotenzial (z.B. Ambrosia)	1.9

Tabelle 18: Anpassungsmassnahmen und deren Priorisierung im Bereich Gesundheit für Auswirkungen «Längere Pollensaison und neue Allergene».

Fazit zur Priorisierung

Am Workshop konnten die vorgängig ermittelten Anpassungsmassnahmen durch die anwesenden Experten/innen in den drei Fachgruppen (Gebäude, Gesundheit und Freiraum) diskutiert, ergänzt und validiert werden. Dabei wurden die vorgeschlagenen Anpassungsmassnahmen teilweise ergänzt, zusammengefasst, gestrichen oder präzisiert. Die daraus resultierende Sammlung von Anpassungsmassnahmen stellt eine wesentliche Erkenntnis aus dem Workshopprozess dar. Figur 23 stellt die Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf (dunkelblaue Flächen) sowie die im nachfolgenden Kapitel 6.2 vertieft beurteilten Anpassungsmassnahmen (gelbe Flächen) graphisch dar.



Figur 23: Übersicht der ausgewählten Auswirkungen (dunkelblaue Felder) und Anpassungsmassnahmen (gelbe Felder), welche in den nachfolgenden Kapiteln diskutiert werden.

Die in den Tabellen dargestellten Priorisierungen zeigen, dass häufig Massnahmen mit einer hohen durchschnittlichen Punktzahl bewertet wurden, welche bereits teilweise umgesetzt sind. In den Bereichen Gebäude und Gesundheit, wo nach Anpassungsmassnahmen für die öffentliche Hand und solche für andere Akteure unterschieden wurde, wurden immer jene Anpassungsmassnahmen am besten eingeschätzt, welche durch die öffentliche Hand umgesetzt werden sollten.

Schlussendlich muss beachtet werden, dass die Beurteilung der Anpassungsmassnahmen am Workshop einzig durch die anwesenden Fachexperten/innen erfolgte und somit nur eine erste, relativ grobe Einschätzung der ausgewählten Anpassungsmassnahmen darstellt. Diese Einschätzung ist beispielsweise stark von der Zusammensetzung der Teilnehmenden abhängig, welche wiederum von der zeitlichen Verfügbarkeit der angefragten Personen bestimmt wird. Aufgrund der freiwilligen Teilnahme am Workshop muss überdies davon ausgegangen werden, dass die anwesenden Personen prinzipiell am Thema interessiert sind und somit eine positive Grundhaltung zu Anpassungsmassnahmen haben. Aus diesen Gründen scheint es zweckmässig, die im Workshop als prioritär eingestuften Anpassungsmassnahmen einer vertieften Beurteilung zu unterziehen, welche sich *nicht* auf die Einschätzung der Fachexperten/innen am Workshop bezieht. Diese vertiefte Beurteilung ist Gegenstand des nächsten Kapitels.

6.2 Vertiefte Beurteilung der prioritären Anpassungsmassnahmen

Basierend auf der im Workshop durchgeführten Priorisierung, wurden in einem nächsten Schritt jene Anpassungsmassnahmen vertieft beurteilt, welche von den Teilnehmenden als prioritär eingestuft wurden. Um alle untersuchten Bereiche zu berücksichtigen, wurden pro Bereich jeweils die drei Anpassungsmassnahmen mit der höchsten durchschnittlichen Punktzahl vertieft beurteilt. Die nachfolgende Beurteilung ist unabhängig von den Einschätzungen der Experten/innen am Workshop.

Das vorliegende Kapitel umfasst einen methodischen Teil bezüglich der Beurteilung von Anpassungsmassnahmen im Kontext des Klimawandels (Unterkapitel 6.2.1 und 6.2.2), eine zusammenfassende Beurteilung der prioritären Anpassungsmassnahmen (Unterkapitel 6.2.3) sowie eine Diskussion der Resultate (Unterkapitel 6.2.4).

6.2.1 Beurteilung von Anpassungsmassnahmen im Kontext des Klimawandels

Die Beurteilung von Anpassungsmassnahmen entspricht einem klaren Bedürfnis der involvierten Akteure und ist aus diesem Grund auch ein wichtiger Teil der vorliegenden Studie. Ziel der Beurteilung ist es einerseits, jene Massnahmen zu identifizieren, welche am besten geeignet sind, um den negativen Effekten entgegenzuwirken, welche aufgrund des Klimawandels erwartet werden. Andererseits soll aber auch aufgezeigt werden, welche Effekte bei der Umsetzung der Anpassungsmassnahmen zu erwarten sind. Somit unterstützt die Beurteilung der Anpassungsmassnahmen sowohl die Sensibilisierung von Politik und Gesellschaft als auch die Entscheidungsfindung bei den relevanten Akteuren.

Es zeigte sich, dass die umfassende, robuste und konsistente Beurteilung von Anpassungsmassnahmen sowohl eine konzeptionelle als auch eine praktische Herausforderung darstellt. Bei der Beurteilung von Anpassungsmassnahmen erfordern aus Sicht des Projektteams insbesondere folgende Punkte eine vertiefte Auseinandersetzung:

- Scope der Beurteilung
- Referenzentwicklung
- Beurteilungsmethodik
- Kriterien und Indikatoren
- Zweckdienlichkeit
- Darstellung der Ergebnisse

Im Folgenden wird auf diese Punkte detaillierter eingegangen und es wird aufgezeigt, welche Ansätze im Rahmen dieser Studie gewählt worden sind.

Scope der Beurteilung

Im Prinzip sind für die Beurteilung von Anpassungsmassnahmen unterschiedlich umfassende Konzepte denkbar. So könnte beispielsweise eine Anpassungsoption aus rein betriebswirtschaftlicher Sicht untersucht werden, d.h. die betriebswirtschaftlichen Kosten der Anpassungsoption werden mit den betriebswirtschaftlichen Erträgen der Anpassungsoption verglichen. Aus Sicht der vorliegenden Studie wäre ein solcher Ansatz jedoch zu schmal. Für die vertiefte Beurteilung der priorisierten Anpassungsmassnahmen wurde deshalb ein wesentlich umfassenderer Scope gewählt. Die einzelnen Anpassungsmassnahmen sollen bezüglich ihren Auswirkungen in den Dimensionen «Gesellschaft», «Umwelt» und «Volkswirtschaft» beurteilt werden. Die Resultate zu den drei Dimensionen werden einzeln ausgewiesen, um einerseits eine hohe Transparenz zu gewährleisten und um andererseits eine unterschiedliche Gewichtung der drei Dimensionen zu ermöglichen.

Referenzentwicklung

Eine besondere Herausforderung bei der Beurteilung von Anpassungsmassnahmen ist die Definition der Referenzentwicklung. Im Kontext des Klimawandels enthält die Referenzentwicklung auch die sogenannte autonome Anpassung, d.h. jene Anpassung an den Klimawandel, welche auch ohne Umsetzung spezifischer Anpassungsmassnahmen durchgeführt wird. Beispielsweise wird ein Unternehmen, welches eine hitzebedingte Reduktion der Arbeitsproduktivität feststellt, autonom Gegenmassnahmen ergreifen, wie das Verteilen von Ventilatoren oder die Anpassung der Klimasteuerung. Bei der Definition des Nutzens von Anpassungsmassnahmen muss somit, nebst dem Klimawandel und der sozioökonomischen Entwicklung, auch die autonome Anpassung mitberücksichtigt werden. Der Nutzen der Anpassungsmassnahme entspricht folglich der Differenz zwischen dem Nutzenniveau in der Referenzentwicklung (Klimawandel und sozioökonomischen Entwicklung) und dem Nutzenniveau bei Umsetzung der Massnahme (Klimawandel, sozioökonomischen Entwicklung und Wirkungen der Anpassung).

Beurteilungsmethodik

Unterschiedliche Ansätze stehen zur Verfügung, um Anpassungsmassnahmen an den Klimawandel zu beurteilen. Ein gängiger Ansatz besteht darin, die Kosten und Nutzen in Geldeinheiten gegeneinander abzuwägen, um die «geeignetsten» Massnahmen zu identifizieren. Dabei werden in der Regel klassische Monetarisierungskonzepte wie «Cost/Benefit Analysis» oder «Benefit Transfer» angewendet, um jene 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 dadurch keinen wesentlichen Erkenntnisgewinn mehr liefert. So sind beispielsweise die Schätzungen in UBA 2012 stark von relativ arbiträren Annahmen abhängig, die sich nur schwer bestätigen oder falsifizieren lassen.

Bei einer rein monetären Bewertung von Anpassungsmassnahmen besteht zudem die Gefahr, dass nur Effekte vertieft analysiert werden, die sich erstens monetarisieren lassen und bei denen zweitens eine genügend gute Datenbasis verfügbar ist. Ob unter diesen Umständen in jedem Fall jene Effekte analysiert werden, welche im Untersuchungsperimeter und für die betroffenen Akteure besonders relevant sind, muss zumindest in Frage gestellt werden. Eine zweckdienliche Beurteilungsmethodik stellt daher sicher, dass alle verfügbaren und relevanten Informationen mitberücksichtigt werden, unabhängig davon, ob diese direkt oder indirekt in Geldeinheiten gemessen werden können oder nicht. Zudem stellt eine zweckdienliche Methodik sicher, dass unterschiedlichste Informationen berücksichtigt werden können, unabhängig davon, in welcher Art und in welcher Qualität diese vorliegen.

Die geschilderten Herausforderungen sind nicht auf die Beurteilung von Anpassungsmassnahmen im Kontext des Klimawandels beschränkt, sondern betreffen alle Situationen, wo Massnahmen in einem breiten Kontext und unter Unsicherheit bewertet werden müssen. Hinweise und Lösungsansätze finden sich deshalb in bewährten Beurteilungshilfen wie der Regulierungsfolgeabschätzung (SECO 2013) oder der VOBU («Volkswirtschaftliche Beurteilung von Massnahmen im Umweltbereich», BAFU 2008). Diese Dokumente weisen auch darauf hin, dass eine Kombination von quantitativen und qualitativen Ansätzen sehr zweckdienlich sein kann. Die im Rahmen dieser Studie entwickelte Methodik stützt sich deshalb auf diese Ansätze, berücksichtigt jedoch zusätzlich themenspezifische Besonderheiten.

Sollen, wie im vorliegenden Projekt, mehrere Dimensionen mit einer Vielzahl von Kriterien analysiert werden, drängt sich eine Multikriterienanalyse oder die Methodik der Fallstudien auf. Die Autoren/innen sind überzeugt, dass im vorliegenden Fall eine möglichst allgemeingültige Multikriterienanalyse die besseren Resultate liefern kann als die Durchführung von einzelnen Fallstudien. Letztere lassen sich im untersuchten Kontext nicht oder nur schwer verallgemeinern, was die Nützlichkeit von Fallstudien klein werden lässt.

Für die vorliegende Studie wurde deshalb gestützt auf bereits bestehenden Konzepte eine Multikriterienanalyse entwickelt, welche nicht zuletzt sicherstellen soll, dass alle im

Kontext des Klimawandels und der Anpassungen im urbanen Raum relevanten Fragen berücksichtigt werden. Die vorliegende Studie liefert somit auch einen methodischen Beitrag, welcher in weiteren vergleichbaren Arbeiten ebenfalls verwendet und weiterentwickelt werden könnte.

Kriterien und Indikatoren

Das Kriterienset für die Multikriterienanalyse muss so gewählt werden, dass der Scope abgedeckt wird. Im vorliegenden Fall heisst dies, dass Kriterien definiert wurden, welche die Auswirkungen in allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen beschreiben und die zudem die Eignung der Massnahme hinreichend abdecken können (das verwendete Kriterienset wird weiter unten detailliert beschrieben). Eine saubere Definition der Kriterien ist jedoch noch nicht hinreichend für eine zweckdienliche Beurteilung der Anpassungsmassnahmen. Im Idealfall wird jedes Kriterium mit quantitativen Indikatoren hinterlegt, was jedoch häufig nicht möglich ist.

Zweckdienlichkeit

Jede Beurteilung kann praktisch beliebig umfangreich durchgeführt werden. Dies gilt insbesondere für Multikriterienanalysen, welche typischerweise ein Vielzahl von Kriterien einschliessen. Bei der Frage der Untersuchungstiefe muss nebst den verfügbaren Ressourcen auch der Zweck der Beurteilung berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der vorliegenden Studie, eine «mittlere» Untersuchungstiefe gewählt, indem einerseits nicht einzig auf die Einschätzungen von Experten/innen Bezug genommen wird, andererseits aber auch beispielsweise auf umfangreiche Modellierungen verzichtet wird. Die gewählte *Untersuchungstiefe* ermöglicht es, mit den verfügbaren Ressourcen eine genügend *breite* Beurteilung der Anpassungsmassnahmen vorzunehmen. Auch wenn die Beurteilung der Entscheidungsfindung dienlich sein kann und eine Priorisierung von Massnahmen durchaus denkbar ist, entbindet die Beurteilung den Entscheidungsträger und die Entscheidungsträgerin nicht von normativen Entscheidungen, insbesondere hinsichtlich der Gewichtung unterschiedlicher Dimensionen.

Darstellung der Ergebnisse

Bei der Darstellung der Ergebnisse besteht ein Trade-Off zwischen Übersichtlichkeit / Einfachheit einerseits und Nachvollziehbarkeit andererseits. Im vorliegenden Fall umfasst die Multikriterienanalyse jeweils maximal 15 Indikatoren pro Massnahme, was bei neun Massnahmen zur Beurteilung von maximal 135 Einzelindikatoren ($15 \times 9 = 135$) führen kann. Die Darstellung aller Einzelresultate und deren Begründung scheinen im vorliegenden Bericht nicht zweckmässig. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde deshalb pro Anpassungsmassnahme ein «Facts-Sheet» erstellt, welches auf einer Seite übersichtlich und kompakt die Anpassungsmassnahme beschreibt und das Resultat der Beurteilung darstellt. Für die Darstellung der Beurteilung wurde ein einfaches Ampel-System verwendet. Die Ampel-Einteilung (positiv, neutral, negativ) aggregiert die detaillierten Resultate ohne dabei eine falsche Präzision zu suggerieren, die aufgrund der durchgeführten Arbeiten nicht zu erwarten ist. Eine detaillierte Beschreibung der Beurteilung aller Einzelindikatoren findet sich in den Tabellen im Anhang.

6.2.2 Beschreibung der entwickelten Nachhaltigkeitsbeurteilung

Für die angestrebte umfassende Beurteilung der Anpassungsmassnahmen bietet sich das Konzept der Nachhaltigkeitsbeurteilung an. Dieses stellt eine ausgewogene Berücksichtigung verschiedener Zieldimensionen sicher und ermöglicht dadurch eine transparente Begründung von Entscheidungen. Das Konzept der Nachhaltigkeitsbeurteilung wird auf unterschiedlichen Stufen, beispielsweise bei der Beurteilung von Politikmassnahmen oder der Folgen von Regulierungsentscheidungen, bereits seit einiger Zeit angewendet. Die im Rahmen der vorliegenden Studie entwickelte Nachhaltigkeitsbeurteilung für Anpassungsmassnahmen an den Klimawandel basiert auf bestehenden Konzepten, die im In- und Ausland für unterschiedliche Zwecke bereits verwendet werden (vgl. ARE 2008, BAFU 2008, SECO 2013, UBA 2012, Projekt «Statklim», Projekt «Klimatöse»). Im Folgenden werden die verwendeten Kriterien für die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit kurz beschrieben:

Kriterium	Beschrieb	Indikatoren	
G1	Gesundheit	Einfluss auf die Gesundheit der Menschen (z.B. durch Aufwertung der Freiräume) und ihre Sicherheit vor Gefahren (z.B. durch Extremereignisse).	Auswirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden.
			Auswirkung auf die Sicherheit.
G2	Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	Einfluss auf die gesellschaftliche Kohäsion durch intragenerationelle Solidarität sowie die intergenerationelle Solidarität durch den Grundsatz des Vorsorgeprinzips. Einfluss auf den künftigen Handlungsspielraum.	Auswirkung auf die intragenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf Einkommensentwicklung, Armutsanteil, soziale Sicherheit usw.
			Auswirkung auf die intergenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf künftigen Handlungsspielraum.
G3	Bildung	Einfluss auf die Bildung und somit auf die individuelle Lernfähigkeit und die Qualifikation für den Arbeitsprozess.	Auswirkung auf die Bildung.

Tabelle 19: Kriterien und Indikatoren der Dimension «Gesellschaft».

Kriterium	Beschrieb	Indikatoren	
U1	Nutzung natürlicher Ressourcen	Einfluss auf die nachhaltige Nutzung ¹⁴ von Rohstoffen und natürlichen Ressourcen.	Verbrauch erneuerbarer Ressourcen (z.B. Wasser, Boden).
			Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen (z.B. fossile Energie).
U2	Umweltbelastung	Einfluss auf die Beeinträchtigung der natürlichen Umwelt durch Schadstoffe und Emissionen.	Anfallende Emissionen: Schadstoffemissionen, Lärmemissionen, Strahlung, Treibhausgase.
			Langfristige Auswirkungen (Irreversibilität) durch Stoffe, Organismen und Abfälle.
U3	Natürliche Vielfalt	Einfluss auf Naturräume und die Artenvielfalt.	Auswirkung auf Biodiversität und natürliche Resilienz.

Tabelle 20: Kriterien und Indikatoren der Dimension «Umwelt».

¹⁴ Definition «nachhaltige Nutzung»: Der Verbrauch erneuerbarer Ressourcen soll unter dem Regenerationsniveau liegen, der Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen unter dem Entwicklungspotenzial von erneuerbaren Ressourcen.

Kriterium		Beschrieb	Indikatoren
V1	Unternehmen	Kosten und Nutzen der Anpassungsmassnahme für Unternehmen. Zusätzlich entstehende Kosten (z.B. Produktionseinbussen, administrativer Aufwand, Transaktionskosten) und Nutzen (z.B. Auftragsvolumen, Wettbewerbsvorteil, Innovationskraft, Schadensverminderung, Reduktion Informationskosten). Darüber hinaus werden externe Kosten und Nutzen (z.B. Ökosystemleistungen) ebenfalls berücksichtigt.	Kosten und Nutzen für Unternehmen.
V2	Haushalte	Kosten und Nutzen der Anpassungsmassnahme für Haushalte. Zusätzlich entstehende Kosten (z.B. administrativer Aufwand, Sinken der Kaufkraft, Steigen der Konsumentenpreise, Transaktionskosten) und Nutzen (z.B. Nutzen aus öffentlichen Leistungen, Schadensverminderung, Reduktion Informationskosten). Darüber hinaus werden externe Kosten und Nutzen (z.B. Ökosystemleistungen) ebenfalls berücksichtigt.	Kosten und Nutzen für Haushalte.
V3	Arbeitsmarkt	Auswirkungen der Massnahme auf den Arbeitsmarkt und die Beschäftigung in der Schweiz.	Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt und die Beschäftigung
V4	Öffentliche Hand	Kosten und Nutzen der Anpassungsmassnahme für die öffentliche Hand. Zusätzlich entstehende Kosten (z.B. Vollzugsaufwand, Aufwand bei der Umsetzung der Massnahme) und Nutzen (z.B. zusätzliche Einnahmen, Schadensverminderung).	Kosten und Nutzen für die öffentliche Hand.
V5	Gesamtwirtschaft	Auswirkungen auf Grössen, die über die Effekte der Kriterien V1 bis V4 hinausgehen. Verhinderte Klimaschäden, sofern sich diese nicht in anderen Kriterien berücksichtigt worden sind.	Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft, Umfang der verhinderten Klimaschäden.

Tabelle 21: Kriterien und Indikatoren der Dimension «Volkswirtschaft».

Datenquellen und Beurteilungsmethoden

Die in dieser Studie angewendete Multikriterienanalyse zeichnet sich bei der Beurteilung der einzelnen Indikatoren durch eine Methodenpluralität aus, d.h. es werden je nach Kriterium resp. Indikator unterschiedliche Datenquellen und Beurteilungsmethoden verwendet. Dies sind beispielsweise: Übertragung von bereits bestehenden Kosten-Nutzen-Berechnungen auf den zu untersuchenden Sachverhalt, Analyse der Veränderung physikalischer Flüsse (beispielsweise bei Ökosystemen) sowie die Anwendung von Analogien, theoretische Überlegungen und eigene Einschätzungen. Durch diesen Ansatz können alle Anpassungsmassnahmen in allen Dimensionen beurteilt und die Kriterien anhand der Relevanz und nicht der Datenverfügbarkeit ausgewählt werden.

Ökosystemleistungen

In der Dimension «Volkswirtschaft» sind auch die Ökosystemleistungen enthalten, d.h. jene Leistungen der Ökosphäre die einen Wohlfahrtsbezug haben, also direkt oder indirekt von Menschen genutzt oder wertgeschätzt werden. Dies entspricht der klassischen volkswirtschaftlichen Perspektive, welche die Wohlfahrt in den Mittelpunkt der Betrachtungen stellt (vgl. econcept/BAFU 2011 und econcept/BAFU 2009). Aus diesem Grund sind die Ökosystemleistungen der Dimension «Volkswirtschaft» und nicht der Dimension «Umwelt» zugerechnet.

Relevanzabschätzung

Die Beurteilung der Kriterien erfolgt zweistufig (vgl. BAFU 2008): Zuerst wird die Relevanz aller Kriterien einzeln eingeschätzt, danach eine vertiefte Untersuchung der relevanten Kriterien durchgeführt. Dieses Vorgehen ermöglicht einerseits eine ressourceneffiziente Vorgehensweise, stellt aber gleichzeitig sicher, dass keine potentiell relevanten Fragestellungen ausgeschlossen werden.

6.2.3 Resultate der Beurteilung der Anpassungsmassnahmen

In den folgenden «Facts-Sheets» sind Beschreibung und Resultate der Nachhaltigkeitsbeurteilung pro Anpassungsmassnahme zusammengefasst. Die «Facts-Sheets» beschreiben die folgenden Massnahmen:

Freiraum

- Freihaltung bestehender Freiräume
- Umbau/Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern
- Standortverbesserung Strassenbäume

Gebäude

- Gesetzliche Vorgaben und Regelungen zu klimaangepasstem Bauen
- Verbesserung der Ausbildung im Baubereich
- Berücksichtigung der zukünftigen klimatischen Entwicklung bei der Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen

Gesundheit

- Etablierung eines Warndienstes bei Hitzewellen
- Erarbeiten und Erweiterung von Notfallplänen für Abläufe und Massnahmen während Hitzewellen
- Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen

Fact-Sheet zur Massnahme «Freihaltung bestehender Freiräume»

Beschreibung der Massnahme	
Bereich	Freiraum
Gefahr / Effekt	Hitzewelle
Auswirkung	Zunehmende Nutzung von grünen und blauen Freiräumen durch den Menschen, als Folge der Hitzewelle
Ausgestaltung der Massnahme	<p>Freihaltung bestehender Freiräume im Untersuchungsperimeter Da die bestehenden Wasser- und Waldflächen durch gesetzliche Grundlagen in ihrem Ausmass weitgehend geschützt sind, konzentriert sich die Analyse auf den Schutz der grünen Freiräume. 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Unterbauung von begrünten Flächen minimieren oder vermeiden (Unterbauungsziffer festlegen). – Schutz des «urbanen» Baumbestandes. – Versiegelungs- / Begrünungsgrad für nicht überbaute Flächen festlegen. – Bebauungsgrenzen am Stadtrand festlegen. – Schutz innerstädtischer Freiräume vor zusätzlicher Bebauung.
Beispiele Umsetzung	Die Anpassungsmassnahme beinhaltet Elemente, welche teilweise von einzelnen Akteuren im Untersuchungsperimeter bereits umgesetzt wurden. <ul style="list-style-type: none"> – Ziel der Stadt Zürich: Pro Einwohnerin und Einwohner sollen 8 m² und pro beschäftigte Person 5 m² öffentlich zugänglicher, nutzbarer Freiraum vorhanden sein. – Freiraumplanung der Stadtgärtnerei Winterthur (Freiraumkonzept, Alleenkonzept, Naturschutzkonzept). – Der kantonale Richtplan umfasst Angaben zu Erholungs- und Freihaltegebieten.
Akteure Umsetzung	Kanton Zürich und Gemeinden im Untersuchungsperimeter, private Eigentümer von grünen und blauen Freiräumen.

Nachhaltigkeitsbeurteilung

Beurteilung der Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft (grün: positive Wirkung erwartet, gelb: neutrale Wirkung erwartet, rot: negative Wirkung erwartet). Die Herleitung und detaillierte Begründung findet sich im Anhang des Berichtes.

Gesellschaft	Umwelt	Volkswirtschaft
		
<p>Kurzbegründung: Freiräume haben einen positiven Effekt auf das Wohlbefinden und erhalten Handlungsspielraum für zukünftige Generationen. Positive Effekte auf die Gesundheit sind zu erwarten.</p>	<p>Kurzbegründung: Durch den Erhalt von Freiräumen können die heutige Artenvielfalt sowie Naturräume und deren Qualität geschützt werden. Auf die Umwelt sind keine negativen Auswirkungen zu erwarten.</p>	<p>Kurzbegründung: Die positiven Effekte, wie Standortvorteile durch Naherholungsgebiete, und negativen Effekte, wie Opportunitätskosten durch Einschränkung der Nutzungsmöglichkeiten, sind tendenziell im Gleichgewicht. Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen sind jedoch stark von der konkreten Ausgestaltung der regulatorischen Eingriffe abhängig und lassen sich zurzeit nur mit einer grossen Unsicherheit beurteilen.</p>

Tabelle 22: Fact-Sheet Massnahme «Freihaltung bestehender Freiräume».

Fact-Sheet zur Massnahme «Umbau/Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern»

Beschreibung der Massnahme		
Bereich	Freiraum	
Gefahr / Effekt	Zunahme der Durchschnittstemperatur	
Auswirkung	Veränderte Artenzusammensetzung	
Ausgestaltung der Massnahme	<p>Umbau/Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern 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 Anpassungsoption besteht aus zwei Elementen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Verjüngung</i>: Verjüngung von Beständen in einer Weise, welche grösstmögliche Resilienz und Anpassungsfähigkeit sichert. Insbesondere Schutzwälder (die es auch im Grossraum Zürich gibt) mit kritischer Stabilität und ungenügender Verjüngung werden in stabile anpassungsfähige Bestände überführt. Zur beschleunigten Verjüngung als Prävention, sind mehrere Pflegeeingriffe notwendig (BAFU, 2011b). – <i>Umbau</i>: Durch gesetzliche Anforderungen (oder mittels anderer Instrumente wie Richtlinien, etc.) an den Waldbau soll sichergestellt werden, dass jene Baumarten gefördert werden, welche die Risiken des Klimawandels vermindern (BAFU, 2011b). Dabei gilt es zu beachten, dass ein naturnaher Mischwald mit einem hohen Anteil an einheimischen Laubhölzern besser an höhere Temperaturen und Trockenheit angepasst ist als reine oder gemischte Nadelwälder (BAFU/MeteoSchweiz, 2013). 	
Beispiele Umsetzung	Die oben beschriebene Anpassungsmassnahme wird auf verschiedenen Ebenen bereits in Ansätzen umgesetzt. Beispiele sind: <ul style="list-style-type: none"> – Naturschutz-Gesamtkonzept Kanton Zürich – Aktionsplan Lichte Wälder Kanton Zürich – Das Grünbuch der Stadt Zürich – Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz im Sektor Wald und Waldwirtschaft – Forstbetrieb Stadt Baden: Förderung von Eichen, Reduktion gefährdeter Bäume (z.B. Fichten) – Vermehrte Pflanzung von fremden, klimaangepassten Arten. 	
Akteure Umsetzung	Amt für Landschaft und Natur des Kantons Zürich; Forstamt / Förster der Gemeinden, Bundesamt für Umwelt	
Nachhaltigkeitsbeurteilung		
Beurteilung der Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft (grün: positive Wirkung erwartet, gelb: neutrale Wirkung erwartet, rot: negative Wirkung erwartet). Die Herleitung und detaillierte Begründung findet sich im Anhang des Berichtes.		
Gesellschaft 	Umwelt 	Volkswirtschaft 
<p>Kurzbegründung: Durch den Umbau und die Verjüngung entstehen anpassungsfähige und resiliente Wälder, wodurch in diesem Bereich die Handlungsspielräume für zukünftige Generationen erhalten bleiben. Zusätzlich sind positive Auswirkungen auf die Gesundheit zu erwarten.</p>	<p>Kurzbegründung: Umbau und Verjüngung der Mischwälder führt zu einer Erhöhung der Biodiversität und Resilienz sowie zu einer grösseren Vielfalt der Naturräume.</p>	<p>Kurzbegründung: Die Massnahme führt zum Erhalt der Ökosystemleistung «Erholung im Wald», gewährleistete Holzträge und erhält CO₂-Senken. Diese positiven Effekte überwiegen wahrscheinlich die Kosten bei der Umsetzung der Massnahme.</p>

Tabelle 23: Fact-Sheet Massnahme «Umbau/Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern».

Fact-Sheet zur Massnahme «Standortverbesserung Strassenbäume»

Beschreibung der Massnahme	
Bereich	Freiraum
Gefahr / Effekt	Zunahme der Durchschnittstemperatur
Auswirkung	Veränderte Artenzusammensetzung
Ausgestaltung der Massnahme	Standortverbesserung Strassenbäume Zur Standortverbesserung der Strassenbäume wird ein speziell optimiertes struktur- und verdichtungsstabiles Baumsubstrat in die Baumgruben eingebaut.
Beispiele Umsetzung	Die oben beschriebene Anpassungsmassnahme wird auf verschiedenen Ebenen bereits (in Ansätzen) umgesetzt. Beispiele sind: – Das Grünbuch der Stadt Zürich – Beratung Strassenbäume der Stadt Zürich (Stadt Zürich 2013) – Stadt München (Deutschland)
Akteure Umsetzung	Tiefbauamt Kanton Zürich, Grün Stadt Zürich, Stadtgärtnerei Winterthur, Werkhöfe der Gemeinden, private Strassenbaumbesitzer/innen.

Nachhaltigkeitsbeurteilung

Beurteilung der Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft (grün: positive Wirkung erwartet, gelb: neutrale Wirkung erwartet, rot: negative Wirkung erwartet). Die Herleitung und detaillierte Begründung findet sich im Anhang des Berichtes.

Gesellschaft	Umwelt	Volkswirtschaft
		
<p>Kurzbegründung: Strassenbäume verbessern die Luftqualität und das Mikroklima. Dies führt zu einem positiven Effekt auf die Gesundheit und das Wohlbefinden.</p>	<p>Kurzbegründung: Die Anpassungsoption erhöht die Leistungsfähigkeit (Filterwirkung) sowie die Überlebensfähigkeit der Strassenbäume, wodurch der heutige Naturraum erhalten bleibt.</p>	<p>Kurzbegründung: Die Kosteneinsparungen, durch weniger häufiges Auswechseln der robusteren Bäume, halten sich mit den zusätzlichen Kosten für Baumsubstrate etwa im Gleichgewicht. Es sind keine weiteren relevanten Effekte zu erwarten.</p>

Tabelle 24: Fact-Sheet Massnahme «Standortverbesserung Strassenbäume»

Fact-Sheet zur Massnahme «Gesetzliche Vorgaben und Regelungen zu klimaangepasstem Bauen»

Beschreibung der Massnahme	
Bereich	Gebäude
Gefahr / Effekt	Hitzewellen
Auswirkung	Erhöhte Raumtemperatur und Zunahme des Kühlbedarfs im Sommer
Ausgestaltung der Massnahme¹⁵	<p>Gesetzliche Vorgaben und Regelungen zu klimaangepasstem Bauen Anhand gesetzlicher Vorgaben und Regelungen bezüglich klimaangepasstem Bauen soll, ähnlich wie seit einigen Jahren im Energiebereich, sichergestellt werden, dass bei neuen Gebäuden und Gebäudesanierungen der aktuelle Stand des Wissens bezüglich klimaangepasstem Bauens angewendet wird. Mit der Massnahme wird sichergestellt, dass die Gebäude auch während längeren 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Verschärfte Anforderung für Neubauten und Sanierungen (z.B. zwingender Nachweis Wärmeschutz und Sonnenschutz nach SIA 180 und schärfere Anforderungen bezüglich maximaler Innenlasten nach SIA 382/1) – 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
Beispiele Umsetzung	Es existieren bereits verschiedene gesetzliche Vorschriften, Normen und Empfehlungen betreffend Wärmeschutz von Gebäuden so beispielsweise SIA 180 (Wärmeschutz, Feuchteschutz, Raumklima), SIA 382/1 (Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen), Vollzugshilfe EN-2 der EnFK (Wärmeschutz von Gebäuden). Diese sind aber noch ungenügend an die zu erwartenden Klimaveränderungen angepasst resp. die Umsetzung der Empfehlungen basiert zurzeit nur auf Freiwilligkeit.
Akteure Umsetzung	Kanton Zürich und Gemeinden im Untersuchungsperimeter, weitere Organisationen wie z.B. SIA, KBOB, IPB, MINERGIE

Nachhaltigkeitsbeurteilung

Beurteilung der Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft (grün: positive Wirkung erwartet, gelb: neutrale Wirkung erwartet, rot: negative Wirkung erwartet). Die Herleitung und detaillierte Begründung findet sich im Anhang des Berichtes.

Gesellschaft	Umwelt	Volkswirtschaft
		
<p>Kurzbegründung: Die Massnahme führt zu einer Verbesserung des Wohlbefindens der Gebäudenutzer/innen (weniger Belastungen durch Zugluft und Lärmemissionen, weniger starke Temperaturschwankungen).</p>	<p>Kurzbegründung: Durch die Gesetze und Regelungen wird vermehrt passive Kühlung eingesetzt, wodurch der Kühlbedarf von Gebäuden und somit der Verbrauch von Energie sinkt.</p>	<p>Kurzbegründung: Für die Unternehmen und die Gesamtwirtschaft halten sich Kosten und Nutzen die Waage, gleiches gilt für die Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft. Die Kosten für den Vollzug und die unklare Rechtfertigung für diesen regulatorischen Eingriff geben den Ausschlag für die aus volkswirtschaftlicher Sicht tendenziell negative Beurteilung.</p>

Tabelle 25: Fact-Sheet Massnahme «Gesetzliche Vorgaben und Regelungen zu klimaangepasstem Bauen».

¹⁵ Es 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. Somit sind die direkten Auswirkungen höherer Raumtemperaturen nicht Teil der Beurteilung.

Fact-Sheet zur Massnahme «Verbesserung der Ausbildung im Baubereich»

Beschreibung der Massnahme	
Bereich	Gebäude
Gefahr / Effekt	Hitzewellen
Auswirkung	Erhöhte Raumtemperatur und Zunahme des Kühlbedarfs im Sommer
Ausgestaltung der Massnahme	<p>Verbesserung der Ausbildung im Baubereich Bereits heute werden Baufachleute in klimarelevanten Bereichen ausgebildet (Gebäudehülle, Kühlung, Lüftung, Heizung), eine spezifische Aus- und Weiterbildung fehlt jedoch noch weitgehend. Gemäss den Aussagen von Experten/innen fehlen bei den Baufachleuten das Wissen und die Sensibilisierung bezüglich klimaangepasstem Bauens. Dies hat zu Folge, dass selbst betriebswirtschaftlich rentable Massnahmen nicht umgesetzt werden. Die Anpassungsoption besteht aus zwei Elementen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ergänzung resp. Anpassung der bestehenden Lehrpläne für Baufachleute auf allen Stufen (Berufsschule, Fachhochschulen, Hochschulen) – Aufbau und Bekanntmachen eines Weiterbildungsangebotes für Baufachleute
Beispiele Umsetzung	Studiengang Klimagerechtes Bauen und Betreiben an der Hochschule Lausitz in Cottbus (D)
Akteure Umsetzung	Hochschulen, Fachhochschulen, Berufsschulen, Unternehmen, Berufsverbände

Nachhaltigkeitsbeurteilung

Beurteilung der Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft (grün: positive Wirkung erwartet, gelb: neutrale Wirkung erwartet, rot: negative Wirkung erwartet). Die Herleitung und detaillierte Begründung findet sich im Anhang des Berichtes.

Gesellschaft	Umwelt	Volkswirtschaft
		
<p>Kurzbegründung: Die Effekte auf das Wohlbefinden, die Bildung und die Erhaltung von Handlungsspielräumen für zukünftige Generationen werden positiv bewertet.</p>	<p>Kurzbegründung: Durch die Anwendung des Wissens aus der Ausbildung wird vermehrt passive Kühlung eingesetzt, wodurch der Kühlbedarf von Gebäuden und damit der Energieverbrauch sinken.</p>	<p>Kurzbegründung: Die Unternehmen können von besser ausgebildeten Mitarbeitenden profitieren. Das neue Weiterbildungsangebot kann durch Unternehmen auf freiwilliger Basis genutzt werden. Die Anpassung des Ausbildungsangebotes kann im Rahmen des üblichen Überarbeitungsprozesses von Ausbildungsangeboten stattfinden, somit fallen tendenziell keine wesentlichen Mehrkosten an.</p>

Tabelle 26: Fact-Sheet Massnahme «Ausbildung Baufachleute».

Fact-Sheet zur Massnahme «Berücksichtigung der zukünftigen klimatischen Entwicklung bei der Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen»

Beschreibung der Massnahme		
Bereich	Gebäude	
Gefahr / Effekt	Zunahme von Hochwasser	
Auswirkung	Schäden an Gebäuden	
Ausgestaltung der Massnahme	<p>Berücksichtigung der zukünftigen klimatischen Entwicklung bei der Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen</p> <p>Die Massnahme sieht vor, Gefahrenkarten, Zonenplanung und die Naturgefahrenvorsorge (z.B. wasserbauliche Massnahmenplanung) anhand von <i>Hochwassersimulationen unter Berücksichtigung des Klimawandels</i> anzupassen. Dabei sollen auch die neuen Dimensionen für Überlastfälle (Zunahme von Extremereignissen) berücksichtigt werden, die sich aufgrund des Klimawandels ergeben.</p>	
Beispiele Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Zurzeit sind für die Hälfte der Zürcher Gemeinden und 80% der Zürcher Wohnbevölkerung die Gefahrenkarten erstellt. Umgesetzte Massnahmen (AWEL): Hochwasserprognosen, aktive Seeregulierung, Optimierung der Notfallplanung und -organisation, Erhöhung der Durchflusskapazität beim Hauptbahnhof Zürich – Mittelfristig geplante: Massnahmen (AWEL): Regulierung Sihlsee, Limmat-Auenpark Werdhölzli, etc. – Langfristige Massnahmen (AWEL): Projekt «Langfristiger Hochwasserschutz Sihl» mit zwei möglichen Konzepten für den langfristigen Hochwasserschutz an der Sihl: 1. «Kombilösung Energie», 2. «Entlastungstollen» – Massnahmenkonzept «Abflusskorridor Hinterdorfbach» in Dielsdorf etc. 	
Akteure Umsetzung	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kanton Zürichs (AWEL), Abteilung Wasserbau des Kanton Zürichs, Amt für Raumentwicklung (ARE), Gemeinden im Untersuchungsperimeter	
Nachhaltigkeitsbeurteilung		
<p>Beurteilung der Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft (grün: positive Wirkung erwartet, gelb: neutrale Wirkung erwartet, rot: negative Wirkung erwartet). Die Herleitung und detaillierte Begründung findet sich im Anhang des Berichtes.</p>		
<p>Gesellschaft</p> 	<p>Umwelt</p> 	<p>Volkswirtschaft</p> 
<p>Kurzbegründung: Die Auswirkungen auf die Sicherheit und tendenziell auch auf den Handlungsspielraum zukünftiger Generationen werden positiv bewertet.</p>	<p>Kurzbegründung: Einerseits kann die Massnahme zur Nicht-Bebauung von Flächen beitragen, wodurch Räume, die wertvoll für die Biodiversität sein können, erhalten bleiben. Andererseits können solche Naturräume durch die Naturgefahrenvorsorge (z.B. wasserbauliche Massnahmen) verbaut werden.</p>	<p>Kurzbegründung: Die Erarbeitung der Gefahrenkarten findet im Rahmen des normalen Überarbeitungsprozesses statt, somit fallen wahrscheinlich nur geringe zusätzliche Kosten an. Die Beurteilung der Kosten von zusätzlichen baulichen Schutzmassnahmen wie auch eine Quantifizierung der vermiedenen Schadenskosten ist nur im Einzelfall möglich. Allgemeine Aussagen sind deshalb zurzeit nicht möglich.</p>

Tabelle 27: Fact-Sheet Massnahme «Berücksichtigung der zukünftigen klimatischen Entwicklung bei der Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen».

Fact-Sheet zur Massnahme «Etablierung eines Warndienstes bei Hitzewellen»

Beschreibung der Massnahme	
Bereich	Gesundheit
Gefahr / Effekt	Hitzewelle
Auswirkung	Direkte Auswirkungen auf besonders betroffene Personengruppen (Zunahme Herz-Kreislaufprobleme, Hitzeschläge, Dehydration, Tote)
Ausgestaltung der Massnahme	<p>Etablierung eines Warndienstes bei Hitzewellen</p> <p>Aufbau, Ergänzung und Koordination eines Hitzewarnsystems: Auf der Basis vorliegender Wettervorhersagen soll dieses besonders gefährdete Gruppen bei hitzeangepasstem Verhalten unterstützen, etwa indem in Medien auf bevorstehende Hitzewellen hingewiesen wird und Ratschläge für angepasste Verhaltensweisen gegeben werden (Umweltbundesamt, 2012:115)</p>
Beispiele Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – ISPM Uni Zürich: Warnung über Radiospots in Zürcher Lokalradios. – Smartphone-App von MeteoSchweiz. – AWEL: Ozonwarnung und Verhaltensanweisung. – Ozonwarnung via SMS-Abonnement von Stadt und Kanton Zürich – Kanton VD/GE: Risikogruppen sind identifiziert und werden gezielt informiert.
Akteure Umsetzung	Kanton, Stadt, Hochschulen, Wetterdienste, Medien, u.a.

Nachhaltigkeitsbeurteilung

Beurteilung der Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft (grün: positive Wirkung erwartet, gelb: neutrale Wirkung erwartet, rot: negative Wirkung erwartet). Die Herleitung und detaillierte Begründung findet sich im Anhang des Berichtes.

Gesellschaft	Umwelt	Volkswirtschaft
	keine relevanten Kriterien	
<p>Kurzbegründung: Warndienste haben einen positiven Einfluss auf die Gesundheit und das Wohlbefinden, da sich die Menschen bei Hitzewellen eher «richtig» verhalten.</p>	<p>Kurzbegründung: Warndienste haben praktisch keinen Einfluss auf die Nutzung von natürlichen Ressourcen und gar keinen auf Naturräume und Artenvielfalt.</p>	<p>Kurzbegründung: Der geschätzte gesamtwirtschaftliche Nutzen durch die Vermeidung von Todesfällen übersteigt, die geschätzten Kosten für die Etablierung eines Warndienstes wahrscheinlich deutlich.</p>

Tabelle 28: Fact-Sheet Massnahme «Etablierung eines Warndienstes».

Fact-Sheet zur Massnahme «Erarbeiten und Erweiterung von Notfallplänen für Abläufe und Massnahmen während Hitzewellen»

Beschreibung der Massnahme	
Bereich	Gesundheit
Gefahr / Effekt	Hitzewelle
Auswirkung	Direkte Auswirkungen auf besonders betroffene Personengruppen (Zunahme Herz-Kreislaufprobleme, Hitzeschläge, Dehydration, Tote)
Ausgestaltung der Massnahme	<p>Erarbeiten und Erweiterung von Notfallplänen für Abläufe und Massnahmen während Hitzewellen</p> <p>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. Mögliche Inhalte eines Notfallplanes sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Etablierung von Koordinations- und Kommunikationsstrukturen. – Limitierung des Verkehrs innerhalb einer Stadt. – Definition des Informationsflusses an die Bevölkerung. – Sicherstellen des Ambulanzwesens und der Notfallaufnahmen in Spitälern. – Koordinieren der verschiedenen Hilfs- und Pflegeorganisationen: Spitex, Rotes Kreuz, Spitäler, Alters- und Pflegeheime: Benennen die speziell gefährdeten Betagten/Risikopatienten und -patientinnen und bestimmen die dafür zuständigen, verantwortlichen und entsprechend geschulten Pflegepersonen.
Beispiele Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Notfallplan für Streetparade / Pandemieplan Kanton Zürich (als Beispiele von bereits umgesetzten Notfallplänen) – Notfallplan bei Hitzewellen: Frankreich und Kanton Genf
Akteure Umsetzung	Kanton Zürich und Gemeinden im Untersuchungsperimeter, Spitäler

Nachhaltigkeitsbeurteilung

Beurteilung der Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft (grün: positive Wirkung erwartet, gelb: neutrale Wirkung erwartet, rot: negative Wirkung erwartet). Die Herleitung und detaillierte Begründung findet sich im Anhang des Berichtes.

Gesellschaft	Umwelt	Volkswirtschaft
	keine relevanten Kriterien	
<p>Kurzbegründung: Notfallpläne fördern im Falle einer Hitzewelle die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen.</p>	<p>Kurzbegründung: Notfallpläne haben keinen Einfluss die Umwelt.</p>	<p>Kurzbegründung: Die Kosten für die Umsetzung der Notfallpläne sind relativ gering. Die Nutzen der Massnahme lassen sich aufgrund fehlender Erfahrungen nicht eindeutig schätzen, daraus folgt eine konservativ-neutrale Einschätzung.</p>

Tabelle 29: Fact-Sheet Massnahme «Erarbeiten und Erweiterung von Notfallplänen für Abläufe und Massnahmen während Hitzewellen».

Fact-Sheet zur Massnahme «Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen»

Beschreibung der Massnahme	
Bereich	Gesundheit
Gefahr / Effekt	Hitzewelle
Auswirkung	Direkte Auswirkungen auf besonders betroffene Personengruppen (Zunahme Herz-Kreislaufprobleme, Hitzeschläge, Dehydration, Tote)
Ausgestaltung der Massnahme	<p>Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen</p> <p>Sensibilisierung der Bevölkerung durch regelmässige, aktive Information und Beratung, präventive Identifizierung und spezifische Information von Risikopersonen und deren Angehörigen.</p>
Beispiele Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Die Altersheime der Stadt Zürich wurden vom Umwelt- und Gesundheitsschutz nach 2003 sensibilisiert und informiert. – hitzewelle.ch (BAG).
Akteure Umsetzung	Gesundheitsdirektion Kanton Zürich, Gemeinden, Organisationen von betroffenen Personengruppen (z.B. Spitex, Kindertagesstätten, Spitäler, Hebammenverband), u.a.

Nachhaltigkeitsbeurteilung

Beurteilung der Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen Gesellschaft, Umwelt und Volkswirtschaft (grün: positive Wirkung erwartet, gelb: neutrale Wirkung erwartet, rot: negative Wirkung erwartet). Die Herleitung und detaillierte Begründung findet sich im Anhang des Berichtes.

Gesellschaft	Umwelt	Volkswirtschaft
	keine relevanten Kriterien	
<p>Kurzbegründung: Information und Sensibilisierung der Bevölkerung sichert im Falle einer Hitzewelle die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen.</p>	<p>Kurzbegründung: Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen haben keinen Einfluss die Umwelt.</p>	<p>Kurzbegründung: Der geschätzte gesamtwirtschaftliche Nutzen durch die Vermeidung von Todesfällen und Krankheitskosten übersteigt die relativ geringen Kosten für die Durchführung von Informations- und Sensibilisierungskampagnen wahrscheinlich deutlich.</p>

Tabelle 30: Fact-Sheet Massnahme «Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen».

6.2.4 Diskussion

Im Folgenden werden einige Punkte der durchgeführten Beurteilung kritisch diskutiert.

Dimensionen Gesellschaft und Umwelt

Es fällt auf, dass die Dimensionen Gesellschaft und Umwelt in der Beurteilung fast durchwegs positiv eingeschätzt wurden. Dies bedeutet, dass die bewerteten Anpassungsmassnahmen nur positive resp. vereinzelt neutrale Auswirkungen auf Gesellschaft und Umwelt aufweisen. Dies ist für Anpassungsmassnahmen nicht *per se* gegeben, da insbesondere Umweltaspekte durchaus in einem Zielkonflikt zu Anpassungsmassnahmen stehen können. Die durchwegs positive Beurteilung kann teilweise auf das mehrstufige Auswahlverfahren im Rahmen der vorliegenden Studie zurückgeführt werden: Durch das Auswahlverfahren kamen nur Anpassungsmassnahmen zur Beurteilung, die in einem besonders relevanten Bereich angesiedelt sind und die nach Meinung von Experten/innen als prioritär eingeschätzt werden. Die Multikriterienanalyse bestätigte für die bewerteten Optionen somit die erste Einschätzung durch die Experten/innen am Workshop.

Dimension Volkswirtschaft

In der Dimension Volkswirtschaft wurden die Auswirkungen der Anpassungsmassnahmen auf die Kriterien «Unternehmen», «Haushalte», «Arbeitsmarkt», «Öffentliche Hand» und «Gesamtwirtschaft» analysiert. Dies entspricht einer umfassenden Würdigung der für den Untersuchungsgegenstand potentiell relevanten volkswirtschaftlichen Auswirkung.

Negative volkswirtschaftliche Effekte können bei allen Kriterien auftreten, wobei die Kosten von Anpassungsmassnahmen oft bei der öffentlichen Hand in Form von Regulierungskosten und bei den Unternehmen in Form von Umsetzungskosten und Opportunitätskosten auftreten. Basierend auf verfügbaren Informationen und durch Übertragung bestehender Kostenschätzungen auf den Untersuchungsgegenstand können diese direkten Kosten zumindest teilweise abgeschätzt werden. Dies ermöglicht eine Beurteilung in den dafür vorgesehenen, groben Kategorien. Nebst den direkten Kosten können weitere volkswirtschaftlich relevanten Kosten bei der Umsetzung der Anpassungsmassnahmen auftreten, beispielsweise durch eine Verschlechterung der relativen Konkurrenzfähigkeit des Untersuchungsgebietes (falls die Anpassungsoption nur im Untersuchungsgebiet umgesetzt wird und diese eine negative Auswirkung auf die Konkurrenzfähigkeit der Unternehmen hätte). Diese Effekte lassen sich hier nur sehr grob einschätzen, da im vorgesehenen Projektrahmen keine gesamtwirtschaftlichen Modellierungen durchgeführt werden können.

Relevante Nutzen¹⁶ entstehen in erster Linie bei der partiellen Vermeidung von «Schäden» durch die Umsetzung der Anpassungsmassnahmen. Überdies können, analog zu den indirekten Kosten auch indirekte Nutzen entstehen, beispielsweise durch die Verschiebung der relativen Konkurrenzfähigkeit des untersuchten Gebietes. Die durch die Umsetzung der Anpassungsoption vermiedenen Schadenskosten sind in ihrer Art sehr

¹⁶ Nutzen als Mass für die Fähigkeit eines Gutes, Bedürfnisse zu befriedigen.

vielfältig (z.B. verlorene Lebensjahre, Krankheitskosten, reduzierte Arbeitsproduktivität, verminderte Produktion von wohlfahrtsbezogenen Ökosystemleistungen). Durch unterschiedliche Monetarisierungskonzepte lassen sich diese Nutzen teilweise in monetären Einheiten messen, dies gilt jedoch nicht für alle ausgewiesenen Nutzen. So lassen sich beispielsweise Veränderungen der wohlfahrtsbezogenen Ökosystemleistungen in vielen Fällen quantifizieren, jedoch nicht monetarisieren. In diesen Fällen muss für die Beurteilung eine qualitative Einschätzung der Effekte vorgenommen werden. Bei der Quantifizierung des Nutzens muss einerseits der Umfang der totalen Nutzenreduktion («Schaden») abgeschätzt werden, welcher durch den Klimawandel ausgelöst wird und andererseits muss abgeschätzt werden, welchen Teil dieser Nutzenreduktion bei der Umsetzung der Anpassungsoption verhindert werden kann. Beide Abschätzungen sind mit Unsicherheiten behaftet, was dazu führt, dass Aussagen bezüglich des volkswirtschaftlichen Nutzens von konkreten Anpassungsmassnahmen mit einer grossen Unsicherheit behaftet sind.

Das vorliegende Projekt sieht keine Abschätzung der klimabedingten Schäden im Untersuchungssperimeter vor, weshalb für die Beurteilung auf bereits bestehende Untersuchungen zurückgegriffen wird und diese mittels Kennzahlen (z.B. Bevölkerungszahl, Anzahl Baugesuche, etc.) auf den Untersuchungssperimeter angepasst werden. Dieses Vorgehen erlaubt, im verfügbaren Projektrahmen mehrere Anpassungsmassnahmen zu beurteilen. Aufgrund der genannten Unsicherheiten, ist anzuzweifeln, ob eine detailliertere Untersuchung einzelner Aspekte zu einem Erkenntnisgewinn, resp. zu einer anderen Beurteilung der Anpassungsoption führen würde.

Eine aus volkswirtschaftlicher Sicht positive oder neutrale Beurteilung heisst nicht, dass es keine «Gewinner» und «Verlierer» gibt, sondern sie gibt einzig einen Hinweis, dass die Gesamtauswirkung positiv resp. neutral ist. Durch entsprechende Kompensationen der «Verlierer» durch die «Gewinner» liesse sich aber prinzipiell eine Situation herstellen, in der zumindest niemand schlechter gestellt wird.

Interpretation der Resultate und Grenzen der Beurteilungsmethodik

Die Resultate der vertieften Beurteilung bestätigen weitgehend die erste Einschätzung der Experten/innen am Workshop. Die ausgewählten Anpassungsmassnahmen halten einer Nachhaltigkeitsbeurteilung stand und können in den meisten Fällen positiv beurteilt werden. Der Umkehrschluss, dass eine Nachhaltigkeitsbeurteilung für Anpassungsmassnahmen nicht nötig ist, ist trotzdem nicht zulässig, da keine Anpassungsmassnahmen vertieft bewertet wurden, welche vorgängig durch Experten/innen negativ beurteilt worden sind.

Es muss letztlich darauf hingewiesen werden, dass die im Rahmen des Projektes durchgeführten Arbeiten nur eine erste Einschätzung der anvisierten Anpassungsmassnahmen darstellen und mit teilweise grossen Unsicherheiten behaftet sind. Deshalb scheint das gewählte Beurteilungsraster (stark negativ, negativ, neutral, positiv, stark positiv) auf Kriterien-Ebene resp. auf Ebene der Beurteilungsdimension (Ampel: grün, gelb, rot) zweckmässig und führt zu genügend belastbaren Aussagen. Falls die Anpassungsmassnahmen tatsächlich umgesetzt werden, muss im Einzelfall entschieden werden, ob die im

Rahmen der vorliegenden Studie geschaffenen Entscheidungsgrundlagen genügend sind, oder ob noch detailliertere Abklärungen durchgeführt werden müssen. Bei umfassenden Veränderungen der regulatorischen Grundlagen, die zu Mehrausgaben führen, ist die Durchführung einer vertieften Folgeabschätzung oft bereits heute vorgesehen.

7 Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Forschungsbedarf

7.1 Schlussfolgerungen

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

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

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 vereinzelte Chancen mit sich, die Risiken überwiegen aber

Nebst 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.

Auch die sozioökonomischen Entwicklungen im Grossraum Zürich werden die Auswirkungen vieler Gefahren und Effekte verstärken

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 betroffene Personen, die Zunahme der Beschäftigten zu mehr betroffenen Arbeitsplätzen, die Zunahme der Siedlungsfläche und inneren Verdichtung zu mehr betroffener Infrastruktur und Gebäuden. Diese Entwicklungen werden die Empfindlichkeit des Grossrau-

mes Zürich gegenüber dem Klimawandel erhöhen und dadurch dessen 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, welche 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 Senioren/innen, Kleinkinder, schwangere Frauen, chronisch Kranke, Allergiker/innen sowie Personen und Arbeitende, die sich oft im Freien aufhalten, besonders betroffen sein.

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 (vgl. Kapitel 6). 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 Multi-kriterienanalyse in den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit: 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 6). Da insbesondere die komplexeren Massnahmen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht im Detail ausgearbeitet sind, muss die vorliegende Beurteilung im Ein-

zelfall 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 Hitzeperioden sind die Kosten wahrscheinlich 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» zugerechnet wurden und nicht der Dimension «Umwelt». Zudem sind die durchgeführten Beurteilungen besonders in der Dimension «Volkswirtschaft» mit teilweise 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 stellte sich heraus, 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 Zielkonflikten 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 der «Verdichtung»: Der Erhalt bestehender grüner und blauer Freiräume, insbesondere im urbanen und bereits dicht besiedelten Raum, dient der Stabilisierung bzw. Verminderung des Wärmeinseleffektes. 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 so genannten 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 mittels 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 Anpassungsmassnahme an den Klimawandel, welche 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 verletzte Elemente an der Gebäudehülle, wie Sonnenstoren, Lamellenstoren 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 erneuerbaren Energieanlagen 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 (durch das Ermöglichen eines angenehmen Raumklimas und durch sichere Gebäude gegenüber den heutigen und den durch den Klimawandel verstärkten Gefahren).

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 demographische 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 Inten-

sität von Extremereignissen beeinflusst. Insgesamt werden Effekte *und* Gefahren zunehmen. Die Gesellschaft wird mit allen diesen Veränderungen umgehen müssen.

Entsprechend der schleichenden, langfristigen Effekte werden viele Anpassungen an den Klimawandel ebenfalls schleichend und langfristig passieren, 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 notweniger denn je.

7.2 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-fruits») können und sollen sofort umgesetzt werden. In diese Kategorie gehören zum Beispiel Massnahmen aus dem Bereich Gesundheit wie die *Etablierung eines Warn-dienstes bei Hitzewellen*, z.B. über einen SMS-Alarm für Risikogruppen, über ein 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*, welche 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 Beurteilung 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. 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 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, 2013a) liefern diese Grundlagen für die drei betrachteten Bereiche. Wir empfehlen, betroffene Personengruppen und Entscheidungsträger 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, private Parkbetreiber, 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, welches zum Ziel hat, dass zukünft-

tige 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.

7.3 Weiterer Forschungsbedarf

Wir sehen insbesondere in den folgenden Bereichen offene Fragen und weiterer Forschungsbedarf:

Analyse weiterer Auswirkungen in den drei Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit

Vergleiche dazu auch die «Synthese: Auswirkungen mit grossem Handlungsbedarf» im Kapitel 5.3 und die Übersicht über die klimabedingten Auswirkungen in den Bereichen Freiraum, Gebäude und Gesundheit (Unterkapitel 4.1.4, 4.2.4 und 4.3.3).

Ausgewählte Beispiele sind (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- *Umgang mit Zunahme Wärmeinseleffekt und hohen Schadstoffkonzentrationen:* Geographische Lokalisierung von heutigen Wärmeinseln und hohen Schadstoffkonzentrationen im Grossraum Zürich. Entwicklung von Massnahmen und Identifizierung raumplanerischer Instrumenten zur Verbesserung der thermischen Situation und besseren Durchlüftung an besonders belasteten Orten. Dabei sollen einerseits bereits umgesetzte und geplante Massnahmen und Instrumente berücksichtigt und alle relevanten Stakeholder in den Prozess einbezogen werden.
- *Umgang mit Niedrigwasser:* Aufgrund des Rückgangs von Sommerniederschlägen muss im Sommer zunehmend mit Niedrigwasser in den Gewässern des Grossraumes Zürich gerechnet werden. Dies ist mit Auswirkungen auf die Energiewirtschaft, die Wasserwirtschaft, die Fischerei, die Schifffahrt, den Tourismus und weitere Bereiche verbunden.
- *Umgang mit Schäden an der Bausubstanz durch Bodensetzungen:* Durch die zunehmende Trockenheit, insbesondere in den Sommermonaten, kann es zu Bodensetzungen kommen, welche zu Schäden an der Bausubstanz führen. Dieses Phänomen ist genauer zu analysieren. Je nach Einschätzung und Beurteilung der zu erwartenden Auswirkungen sind Massnahmen inklusive Information von Gebäudebesitzern/innen und weiteren Betroffenen einzuleiten.
- *Umgang mit einer möglichen Abnahme der Trinkwasserqualität:* Durch eine Zunahme der Trockenheit und der Durchschnittstemperaturen, abnehmenden Sommerniederschläge und eine Zunahme von Hochwassern kann die Qualität des Trinkwassers beeinträchtigt werden. Dies ist mit Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit verbunden. Es gilt, diese Effekte genau zu analysieren und notwendige Massnahmen vorzusehen bzw. umzusetzen.

Methodische Arbeiten im Bereich der Grundlagen sowie mit Relevanz für die Umsetzung

Für eine weitere bzw. vertiefere Analyse ist die Erarbeitung von umfassenden und systematisch erarbeiteten Grundlagen in verschiedenen Bereichen anzustreben. Ausgewählte Beispiele sind (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- *Vertiefung der Beurteilung, insbesondere der volkswirtschaftlichen Auswirkungen:* Da besonders die komplexeren Massnahmen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht im Detail ausgearbeitet sind, sollten die vorliegenden Beurteilung im Einzelfall aktualisiert und gegebenenfalls vertieft werden, sobald die Konkretisierung der Massnahme vorliegt. Dies gilt insbesondere für die volkswirtschaftlichen Auswirkungen.
- *Beurteilung weiterer Anpassungsmassnahmen anhand der entwickelten Methodik:* Die im Rahmen des vorliegenden Studie entwickelte Methodik eignet sich für eine umfassende Beurteilung von Anpassungsmassnahmen. Wir empfehlen deshalb, weitere von den Behörden als relevant eingeschätzten Anpassungsoptionen damit zu bewerten.
- *Ausweitung KLAZ auf den gesamten Kanton Zürich:* Die Klimaanalyse Zürich (KLAZ) wurde bis heute detailliert für die Stadt Zürich erstellt. Damit diese Studie für den gesamten Grossraum Zürich als Grundlage dienen und detaillierte Auswertungen und Anpassungen vorgenommen werden können, erscheint eine Erweiterung auf den gesamten Kanton zielführend. Eine Umsetzung durch die Fachstellen des Kantons ist dabei in Erwägung zu ziehen.
- *Einführung der risikobasierten Raumplanung:* Mittels einer risikobasierten Raumplanung werden neue bzw. zukünftige Risiken, die beispielsweise durch den Klimawandel entstehen können, in den Gefahrenkarten abgebildet. Dadurch sollen diese Risiken präventiv sichtbar und zukünftig vermieden werden.

Mögliche Konflikte zwischen Anpassungsmassnahmen und anderen Zielsetzungen

Wie im Unterkapitel 7.1 beschrieben, bestehen zwischen gewissen Anpassungsmassnahmen und anderen politischen Zielsetzungen Konflikte. Um diese vollständig zu identifizieren und mögliche Lösungsansätze im Umgang damit aufzeigen und diskutieren zu können, sind hier vertiefte Analysen notwendig.

Analyse von Auswirkungen des Klimawandels auf weitere relevante Bereiche des Grossraums Zürich

Die im Rahmen der vorliegenden Studie analysierten Bereiche Freiraum, Gebäude und Gesundheit wurden im Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels auf den Grossraum Zürich als relevant eingeschätzt. Es ist jedoch unbestritten, dass auch weitere Bereiche in eine umfassende Analyse zu den Auswirkungen des Klimawandels einbezogen werden müssten. Dazu zählen für den Grossraum Zürich Bereiche wie urbane Verkehrssysteme, Energie- und Wasserversorgung, Abfallsystem oder Tourismus.

Anhang

A-1 Untersuchungspereimeter

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-Brüttsellen	8306
	Fällanden	8117
	Schwerzenbach	8603
	Volketswil	8604
	Greifensee	8606
	Uster	8610-8613
	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

Tabelle 32: Perimeter (Gemeinden des betrachteten urbanen Grossraums Zürich)

A-2 Gefahren und Effekte

Nachfolgende Tabelle beschreibt die für den Grossraum Zürich relevanten Gefahren und Effekte (Quelle: BAFU/ARE 2011, Anhang A3):

Gefahr/Effekt	Beschreibung/Abgrenzung
Starker Schneefall	Starke Schneefälle richten vor allem aufgrund der in kurzer Zeit auftretenden Schneemasse Schäden an. So beschädigt das Gewicht der Schneemassen Bäume, Leitungen und sogar Gebäude (eingedrückte Dachkonstruktionen). Zudem können grosse Schneevolumina Verkehrswege nachhaltig unterbrechen oder durch Lawinen bedrohen und Ortschaften für längere Zeit von der Aussenwelt abschneiden. Ernsthafte Probleme ergeben sich, wenn es zu einem Versorgungsengpass von Lebensmitteln, Energie oder Rohstoffen kommt (KATARISK 2003).
Hochwasser	Als Hochwasser wird der Zustand bezeichnet, bei dem der Wasserstand oder Abfluss in einem Gewässer einen bestimmten (Schwellen-)Wert erreicht oder überschritten hat. Ereignisse wie extreme Niederschläge, die entweder sehr heftig sind oder lange andauern, können schliesslich ein Hochwasser auslösen. Ebenso kann starke Schneeschmelze zu einem Hochwasser beitragen. Die Auswirkungen lassen sich wie folgt gliedern: <ul style="list-style-type: none"> – Überschwemmungen können in dicht besiedelten Raum (stark genutzte Unter- und Erdgeschosse) schon bei geringen Wassertiefen hohe Schäden verursachen. Hohe Wassertiefen, schnelle Strömungen und Ablagerungen von Feststoffen können die Schäden zusätzlich erhöhen. – Überschwemmungen werden gefährlich, wenn im Überflutungsbereich grosse Wassertiefen oder starke Strömungen auftreten. Dabei kann auch viel Geschiebe abgelagert werden (Übersarung). – Ufer- und Sohlenerosion: Stark strömendes Wasser vermag Feststoffe vom Ufer oder von der Gerinnesohle aufzunehmen und mitzutransportieren. Folgen davon sind die Verlagerung des Gerinnelaufes und Uferrutschungen, die Bauwerke und Anlagen am Gewässer gefährden. Das mitgeschleppte Geschiebe führt oft zu Beschädigungen an Kulturland und Bauten. (Quelle: PLANAT)
Erdrutsch / Hangmure	Rutschungen sind hangabwärts gerichtete Bewegungen von Gesteinspaketen auf einer Gleitfläche. Rutschungen können sich an mässig bis steil geneigten Hängen vor allem zwischen 10° und 40° ereignen. (Quelle: PLANAT) <p>Eine Hangmure ist ein an steilen Hängen erfolgendes, schnelles Abfahren eines Gemisches aus Lockergestein (Steine, Holz, Boden und Vegetationsbedeckung) und viel Wasser. Gelegentlich werden Hangmuren auch durch oberflächliche Rutschungen ausgelöst, sehr oft jedoch auch ohne Vorhandensein einer Gleitfläche. (Quelle: PLANAT)</p>
Unwetter/Gewitter (Hagel, Blitz, Böen)	Ausserordentliche Wettererscheinungen, die mit Gefahren wie Wind und Starkregen verbunden sind, werden als Unwetter bezeichnet. Der Begriff Unwetter ist eine Sammelbezeichnung für extreme Wetterereignisse. In der Meteorologie werden zu den Unwettern alle konvektiv bedingten Ereignisse wie Gewitter, Stürme, Hagel und Starkregen gezählt. (Quelle: PLANAT) <p>Abgrenzung: Als Unwetter wird hier ein lokales, schweres Gewitter mit Starkniederschlag und Sturmböen verstanden. Sturm – und das grossräumige Hochwasser – als mögliche Folge eines Unwetters werden separat behandelt.</p>
Änderung im Niederschlagsregime	Eine Änderung im Niederschlagsregime wird als Auslöser unterschiedlicher Folgen verstanden. Änderungen in der Verteilung der Niederschläge über das Jahr (v.a. im Hinblick auf die Vegetationsperiode) und der Form der Niederschlagsereignisse (z.B. häufige Niederschläge mit geringen Mengen oder seltene, intensive Niederschläge) können Einfluss z.B. auf das pflanzenverfügbare Wasser oder die Pegelstände in Gewässern haben.
Allgemeine Trockenheit	Trockenheit bezeichnet einen Zustand, bei dem das zur Verfügung stehende Wasser

Gefahr/Effekt	Beschreibung/Abgrenzung
	<p>den Bedarf von Pflanzen und Menschen nicht ausreichend decken kann. Der Bedarf ist von Region zu Region sehr verschieden und normalerweise dem langjährigen Angebot angepasst. (Quelle: PLANAT)</p>
Kältewelle	<p>Kältewelle bezeichnet einen Kälteeinbruch im Winter mit Advektion (horizontale Luftzufuhr) von Kaltluft polaren oder osteuropäischen Ursprungs, die einen extremen Temperaturrückgang (von über 10° C) verursachen kann und eine Periode kalter Witterung einleitet. (Quelle: MeteoSchweiz)</p> <p>Kältewellen richten wegen ihrer verhältnismässig lang andauernden und tiefen Temperaturen Schaden an. Werden Kältewellen zudem von Niederschlägen (Schnee, Eisregen) oder starken Winden begleitet, sind die Auswirkungen entsprechend verheerender. Denkbare Schadenbilder reichen von einzelnen Verkehrsbehinderungen infolge Schnee- oder Eisbildung bis zu grossräumigen Zusammenbrüchen der Infrastruktur (unpassierbare Verkehrswege, blockierte Verkehrsteilnehmer, Versorgungsschwierigkeiten in der Wasser-, Energie- und Kommunikationsversorgung usw.). Ernsthaftere Probleme ergeben sich, wenn es zu einem Versorgungsengpass von Lebensmitteln, Energie oder Rohstoffen kommt. (Quelle: KATARISK 2003)</p>
Hitzwelle	<p>Als Hitzwelle wird eine starke Erwärmung mit Lufttemperaturen über 30°C, die mehrere Tage andauert, bezeichnet. Infolge der trockenen, warmen Luft während einer Hitzwelle können für längere Zeit keine Niederschläge fallen. Dies kann zu Trockenheit oder gar Dürre führen (→ Allg. Trockenheit).</p> <p>Durch die starke Sonneneinstrahlung und erhöhte Stickoxidkonzentrationen infolge fehlenden Luftaustausches wird die Bildung von Ozon in der untersten Atmosphärenschicht gefördert. Übermässige Ozonkonzentrationen reizen die Schleimhäute und können zu Erkrankungen der Atemwege führen. Bei erhöhter Ozonbelastung sollten körperliche Betätigungen deshalb gemieden werden. Auch die Hitze selbst kann für den Menschen gefährlich werden. Hitze kann im menschlichen Körper zu Hitzschlag, Sonnenstich oder gar Kreislaufkollaps führen. (Quelle: PLANAT)</p>
Zunahme Durchschnittstemperatur	<p>Mit der projizierten Erhöhung der mittleren Temperaturen werden die Winter kürzer, die Vegetationsperiode wird länger, Niederschlag fällt auch im Winterhalbjahr tendenziell häufiger als Regen und die Gletscher schmelzen weiter ab. Pflanzen- und Tierarten sind zunehmend an die veränderten Bedingungen nicht mehr angepasst oder es wandern neue Arten in das jeweilige Ökosystem ein. Je nach Geschwindigkeit der Veränderung der klimatischen Bedingungen wird sich das Ökosystem mehr oder weniger gut an die neuen Verhältnisse anpassen können. Besonders im Wald muss damit gerechnet werden, dass aufgrund der langen Lebensdauer der Bäume eine Anpassung der Vegetation nicht so rasch erfolgen kann, so dass das Ökosystem instabil wird.</p>
Sturm/Orkan	<p>Als Sturm werden Winde mit Geschwindigkeiten von mindestens 20,8 m/s (74,9 km/h) oder 9 Beaufort bezeichnet. Ein Sturm mit einer Windgeschwindigkeit von mindestens 32,7 m/s (117,7 km/h) oder 12 Beaufort wird als Orkan bezeichnet. Erreicht der Wind nur kurzzeitig (für wenige Sekunden) Sturmstärke, so spricht man von einer Sturmböe. Das primäre Gefährdungspotential eines Sturms geht von den klassischen Wintertürmen aus (Typ Lothar, Vivian), welche die Schweiz grossflächig betreffen können. Föhnstürme sind regional klar begrenzt (typische Föhntäler Alpennordhang). (MeteoSchweiz/Risiken CH)</p>

Tabelle 33: Beschreibung der für das vorliegende Projekt relevanten Gefahren und Effekte.
(Quelle: BAFU/ARE 2011, Anhang A3)

A-3 Teilnehmende am 1. Workshop, 12. November 2012

Vorname	Name	Organisation
Bereich Freiraum		
Melanie	Butterling	Bundesamt für Raumplanung ARE
Daniel	Keller	Grün Stadt Zürich
Wilhelm	Natrup	Amt für Raumentwicklung ARE, Kanton Zürich
Bettina	Tschander	Grün Stadt Zürich
Karl	Tschanz	Umweltschutzfachstelle, Stadt Zürich
Roman	Weber	Tiefbauamt, Stadt Zürich
Bereich Gebäude		
Dörte	Aller	Gebäudeversicherung Kanton Zürich
Katja	Dürst	Ökologische Kreditprüfung, ZKB
Paul	Eggimann	Hochbauamt, Kanton Zürich
Martin	Jakob	TEP Energy
Alex	Nietlisbach	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL, Kanton Zürich
Bereich Gesundheit		
Regula	Gehrig	MeteoSchweiz
Thomas	Herren	MeteoSchweiz
Roland	Hohmann	Bundesamt für Umwelt, BAFU
Nino	Künzli	Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut, Swiss TPH
Margot	Mütsch	Institut für Sozial- und Präventivmedizin ISPM, Universität Zürich
Roland	Stähli	Institut für Sozial- und Präventivmedizin ISPM, Universität Zürich

Tabelle 34: Teilnehmer/innen am 1. Workshop.

A-4 Teilnehmende am 2. Workshop, 18. März 2013

Vorname	Name	Organisation
Bereich Freiraum		
Gian-Marco	Alt	AWEL Kanton Zürich, Lufthygiene
Melanie	Butterling	Bundesamt für Raumplanung, ARE
Roy	Eugster	AWEL Kanton Zürich, Lufthygiene
Bernhard	Kuhn	Tiefbauamt Stadt Zürich
Christian	Leisi	Amt für Raumentwicklung Kanton Zürich
Gian-Reto	Walther	Bundesamt für Umwelt, BAFU
Roman	Weber	Tiefbauamt Stadt Zürich
Bereich Gebäude		
Dörte	Aller	Gebäudeversicherung Kanton Zürich
Katja	Dürst	Ökologische Kreditprüfung, ZKB
Martin	Jakob	TEP Energy
Roland	Keller	Schutz und Rettung Stadt Zürich
Alex	Nietlisbach	AWEL Kanton Zürich, Energie
Jürg	Nipkow	Agentur für Energieeffizienz
Heinz	Wiher	Fachstelle Energie und Technik, Stadt Winterthur
Mirco	Heidemann	Gebäudeversicherung Kanton Zürich
Bereich Gesundheit		
Valentin	Delb	AWEL Kanton Zürich, Lufthygiene
Roland	Hohmann	Bundesamt für Umwelt, BAFU
Markus	Meier	AWEL Kanton Zürich, Lufthygiene
Regula	Rometsch	AWEL Kanton Zürich, Lufthygiene
Roland	Stähli	Institut für Sozial- und Präventivmedizin ISPM, Universität Zürich

Tabelle 35: Teilnehmer/innen am 2. Workshop.

A-5 Priorisierung der Auswirkungen von Gefahren und Effekte auf die drei Bereiche

In einem ersten Schritt wurde als Ausgangslage die Situation der klimabedingten Gefahren und Effekte heute dargestellt. Dazu wurden in einer folgenden Relevanzmatrix die **heutigen** klimabedingten Auswirkungen auf die drei Bereiche priorisiert:

Auswirkungsbereich	Intensivniederschläge				Mittlere Niederschläge		Extremtemperaturen		Mittlere Temperatur	Wind
	Starker Schneefall	Hochwasser	Erdbeben / Hangrutsch	Unwetter/Gewitter	Allgemeine Trockenheit	Änderung Niederschlagsregime	Kältewelle	Hitzewelle	Zunahme Durchschnittstemperatur	Sturm/Orkan
Freiraum				rot						
Gebäude		rot		rot				rot		rot
Gesundheit	rot						rot	rot		

Tabelle 36: Relevanzmatrix Auswirkungsbereiche – Gefahren/Effekte. Situation heute gemäss den Resultaten des Experten/innen-Workshops.

rot: sehr relevant, rosa: relevant, weiss: nicht relevant / vernachlässigbar.

Im Bereich Freiraum werden in der heutigen Situation Unwetter und Gewitter als sehr relevant eingeschätzt, da die Aufräumarbeiten häufig mit einem grossen Aufwand verbunden sind.

Im Bereich Gebäude sind Hochwasser, Unwetter/Gewitter und Stürme als sehr relevant bewertet, da sie zu Schäden am Bau und den Gebäudehüllen führen können. Zudem werden Hitzewellen als sehr relevant eingestuft, da bei hohen Temperaturen im Gebäudeinnern die Arbeitsproduktivität sinkt.

Im Bereich Gesundheit werden starker Schneefall und Kältewellen als sehr relevant eingestuft, da diese häufig zu Unfällen führen. Auch Hitzewellen werden als sehr relevant bewertet, da sich diese besonders negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken, wie der Hitzesommer 2003 zeigte.

Um die zukünftigen Auswirkungen der Gefahren und Effekte auf die drei Bereiche abzuschätzen, wurden in einem zweiten Schritt für das Jahr 2060 zwei verschiedenen Relevanzmatrizen erarbeitet. Einerseits wurden für das Jahr 2060 die Veränderungen unter dem sozioökonomischen Szenario (Unterkapitel 3.2) analysiert (z.B. die Auswirkungen von Hochwasserschäden an Gebäuden bei zunehmender baulichen Verdichtung; ohne Klimawandel) und andererseits unter dem Klimaszenario (Unterkapitel 3.1) (z.B. die Auswirkungen von häufigeren und stärkeren Hochwasserschäden an Gebäuden; ohne sozio-

ökonomische Veränderung). Die Unterteilung ermöglicht es, die Auswirkungen des Klimawandels auch vor dem Hintergrund der sozioökonomischen Entwicklung zu beurteilen.

Die folgende Tabelle zeigt die Relevanzmatrix für das Jahr 2060 unter Berücksichtigung des **sozioökonomischen Szenarios**.

Auswirkungsbereich	Intensivniederschläge				Mittlere Niederschläge		Extremtemperaturen		Mittlere Temperatur	Wind
	Starker Schneefall	Hochwasser	Erdrutsch / Hangmure	Unwetter/Gewitter	Allgemeine Trockenheit	Änderung Niederschlagsregime	Kältewelle	Hitzewelle	Zunahme Durchschnittstemp.	Sturm/Orkan
Freiraum										
Gebäude										
Gesundheit										

Tabelle 37: Relevanzmatrix Auswirkungsbereiche – Gefahren/Effekte. Situation im Jahr 2060 unter Berücksichtigung des **sozioökonomischen Szenarios** gemäss den Resultaten des Experten/innen-Workshops.

rot: sehr relevant, rosa: relevant, weiss: nicht relevant / vernachlässigbar.

Im Bereich Freiraum wurde zusätzlich zu Unwetter und Gewitter auch Hitzewellen als sehr relevant eingestuft: Durch die Bevölkerungszunahme wird der Druck auf die grünen und blauen Freiräume als Kaltluftquelle und Schattenspende zunehmen, was erhöhten Pflegeaufwand mit sich bringt.

Im Bereich Gebäude wird zusätzlich zu den heute sehr relevanten Gefahren das Niederschlagsregime und Sturm/Orkan als sehr relevant eingestuft. Dies ist insbesondere auf den steigenden Nutzungsdruck, die zusätzlichen Gebäude und die vermehrt installierten, sturmanfälligen Bauteile wie Photovoltaikanlagen zurückzuführen.

Im Bereich Gesundheit gibt es unter dem sozioökonomischen Szenario gegenüber heute keine zusätzlichen Gefahren und Effekte, die als sehr relevant eingestuft werden.

Lässt man die sozioökonomische Entwicklung ausser Acht und berücksichtigt nur die Entwicklung unter dem Klimaszenarios ergibt sich für das Jahr 2060 die Relevanzmatrix, die im Kapitel 5.1 verwendet wurde.

A-6 Beurteilung der Massnahmen (Tabellen)

In den folgenden Tabellen sind die Resultate der Beurteilung zusammengefasst. Es werden folgende Tabellen unterschieden:

- **Relevanzabschätzung:** Relevanzabschätzung der Kriterien den Kategorien «keine», «kleine», «mittlere», «grosse» Relevanz. Kriterien mit mittlerer oder grosser Relevanz wurden für die Beurteilung der Massnahme berücksichtigt.
- **Nachhaltigkeitsbeurteilung:** Detaillierte Beurteilung der Nachhaltigkeit der Anpassungsoption in den drei Dimensionen «Gesellschaft», «Umwelt» und «Volkswirtschaft» auf einer Skala von -- (stark negativ) bis ++ (stark positiv).

Anpassungsmassnahme «Freihaltung bestehender Freiräume»

Kriterium	Relevanz	Begründung
G1 Gesundheit	mittlere	Bestehende Freiräume haben einen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	mittlere	Der Erhalt bestehender Freiräume erhält den künftigen Handlungsspielraum.
G3 Bildung	kleine	Der Erhalt von Freiräumen betrifft die Bildung marginal (z.B. Freiräume als ausserschulische Lernorte).
U1 Nutzung natürlicher Ressourcen	keine	Durch den Erhalt der Freiräume werden keine zusätzlichen Ressourcen / Rohstoffe verwendet bzw. zur Verfügung gestellt.
U2 Umweltbelastung	mittlere	Die Freiräume beeinflussen die Luftqualität
U3 Natürliche Vielfalt	mittlere	Durch den Erhalt der Freiräume werden die Naturräume und die Artenvielfalt von heute erhalten.
V1 Unternehmen	mittlere	Die mögliche Baufläche insbesondere in Zentrums-lagen wird kleiner, was zu einer Veränderung der dortigen Immobilienpreise führen kann. Periphere Lagen sind weniger betroffen und bieten ggf. Ausweichmöglichkeiten. Es entstehen Opportunitätskosten für Unternehmen.
V2 Haushalte	mittlere	Erhaltung und Erreichbarkeit von Erholungszonen innerhalb stark besiedelter Gebiete sind betroffen und somit auch der Erholungsnutzen für die Haushalte. Es entstehen Opportunitätskosten für Haushalte.
V3 Arbeitsmarkt	keine	Der Arbeitsmarkt ist nicht betroffen.
V4 Öffentliche Hand	mittlere	Die Umsetzung ist Aufgabe der öffentlichen Hand. Es entstehen Opportunitätskosten für die öffentliche Hand.
V5 Gesamtwirtschaft	mittlere	Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen sind zu erwarten.

Tabelle 38: Relevanzabschätzung für die Anpassungsmassnahme «Freihaltung bestehender Freiräume» in den Kategorien («keine», «kleine», «mittlere», «grosse»). Kriterien mit mittlerer oder grosser Relevanz wurden für die Beurteilung berücksichtigt.

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
G1 Gesundheit	I1 Auswirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden	++	Factsheets 2012; Stadt Zürich, 2011b, eigene Einschätzung	Freiräume sind Kaltluftproduzenten und spenden Schatten. Somit sind sie Orte der Erholung, insbesondere im Sommer und bei Hitzeereignissen. Zudem haben sie einen positiven Einfluss auf die Luftqualität.
	I2 Auswirkung auf die Sicherheit	0	eigene Einschätzung	Der Erhalt von Freiräumen hat keine Auswirkungen auf die Sicherheit.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	I1 Intragenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf Einkommensentwicklung, Armutsanteil, soziale Sicherheit usw.	0	eigene Einschätzung	Der Erhalt von Freiräumen hat keinen Einfluss auf die intragenerationelle Gerechtigkeit.

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
	I2 Intergenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf künftigen Handlungsspielraum	+	eigene Einschätzung	Durch den Erhalt der Freiräume bleiben zukünftige Handlungsspielräume, im Bereich der Freiräume, erhalten.
U2 Umweltbelastung	I1 Anfallende Emissionen: Schadstoffemissionen, Lärmemissionen, Strahlung, Treibhausgase	+	Stadt Zürich, 2011b, eigene Einschätzung	Durch den Erhalt der Freiräume wird die Luftqualität positiv beeinflusst: Einerseits durch die Filterwirkung der Vegetation, andererseits durch die Durchlüftung.
	I2 Langfristige Auswirkungen (Irreversibilität) durch Stoffe, Organismen und Abfälle	0	eigene Einschätzung	Der Erhalt der Freiräume bringt keine langfristigen Auswirkungen mit sich.
U3 Natürliche Vielfalt	I1 Auswirkung auf Biodiversität und natürliche Resilienz	+	Li et al. 2006, eigene Einschätzung	Der Erhalt der Freiräume ermöglicht den Erhalt der Lebensräume für Flora und Fauna.
	I2 Auswirkung auf den Naturraum / die Landschaft	0	eigene Einschätzung	Durch den Erhalt der Freiräume bleiben Landschaft und Naturraum erhalten.
V1 Unternehmen	I1 Kosten und Nutzen für Unternehmen	0 (?)	eigene Einschätzung, UBA 2012	<p><i>Summarische Begründung der V-Kriterien:</i> Die Freihaltung von nutzbaren Flächen führt zu Opportunitätskosten bei Unternehmen, Haushalten und der öffentlichen Hand. Die Menge der heute bereits freigehaltenen 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. Die bereits bestehenden überbauten Flächen gewinnen andererseits tendenziell an Wert, da weniger neue Flächen erschlossen werden.</p> <p>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; beispielsweise durch eine höhere Standortattraktivität oder eine bessere Arbeitsproduktivität der Mitarbeitenden.</p> <p>Zur volkswirtschaftlichen Beurteilung sind Annahmen zu den möglichen alternativen Nutzungen der Freiräume, zur Anzahl der lokal betroffenen Personen und zum Ausmass und dem Nutzen der lokalen Temperatursenkung notwendig. Solche Annahmen können nur in Fallbeispielen gemacht werden. Die Autoren einer Fallstudie (UBA 2012) gehen von einem Nutzen-Kosten-Verhältnis von 0.6:1 bis 1.2:1 aus.</p>
V2 Haushalte	I1 Kosten und Nutzen für Haushalte			
V4 Öffentliche Hand	I1 Kosten und Nutzen für die öffentliche Hand			
V5 Gesamtwirtschaft	I1 Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft, Umfang der verhinderten Klimaschäden			

Tabelle 39: Detaillierte Beurteilung der Anpassungsmassnahme «Freihaltung bestehender Freiräume» in den drei Dimensionen «Gesundheit», «Umwelt» und «Volkswirtschaft» auf einer Skala von -- (stark negativ) bis ++ (stark positiv).

Anpassungsmassnahme «Umbau/Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern»

Kriterium	Relevanz	Begründung
G1 Gesundheit	mittlere	Verjüngung und Umbau der Wälder haben kaum Einfluss auf die Gesundheit der Menschen, jedoch auf deren Sicherheit (z.B. Schutzwald).
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	mittlere	Verjüngung und Umbau der Wälder haben einen Einfluss auf den künftigen Handlungsspielraum aufgrund zunehmender Resilienz und Anpassungsfähigkeit der Wälder.
G3 Bildung	kleine	Verjüngung und Umbau der Wälder betrifft die Bildung nicht, allenfalls marginal (z.B. Wälder als ausserschulische Lernorte).
U1 Nutzung natürlicher Ressourcen	kleine	Verjüngung und Umbau von Wäldern haben wenig Einfluss auf die Nutzung natürlicher Ressourcen (z.B. Veränderung der Holzarten).
U2 Umweltbelastung	kleine	Verjüngung und Umbau von Wäldern beeinträchtigen die Umwelt nicht relevant (einzig durch eingesetzte Forstfahrzeuge, etc.).
U3 Natürliche Vielfalt	mittlere	Der Umbau von Wäldern kann einen Einfluss auf die Artenzusammensetzung und die Naturräume haben.
V1 Unternehmen	mittlere	Holzerträge v.a. von Nadelbäumen sind betroffen. Nadelbäume sind ein wichtiges Nutzholz. Qualität der Inputs für Holzverarbeitungsunternehmen verändert sich.
V2 Haushalte	mittlere	Die vom Wald erbrachte Ökosystemleistung «Erholung» ist betroffen und somit der Nutzen für die Haushalte als primäre Konsumenten dieser Leistung.
V3 Arbeitsmarkt	keine	Arbeitsmarkteffekte sind nur marginal.
V4 Öffentliche Hand	mittlere	Der Vollzug ist Aufgabe der öffentlichen Hand. In Wäldern, die sich im Besitz der öffentlichen Hand befinden, muss diese die Anpassungsmassnahme zusätzlich auch durchführen.
V5 Gesamtwirtschaft	mittlere	Der Wald produziert Ökosystemleistungen, die in einem gesamtwirtschaftlichen Kontext relevant sind und über die in V2 diskutierten Leistungen hinausgehen (Bsp. CO ₂ -Speicherung).

Tabelle 40: Relevanzabschätzung für die Anpassungsmassnahme «Umbau/Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern» in den Kategorien («keine», «kleine», «mittlere», «grosse»). Kriterien mit mittlerer oder grosser Relevanz wurden für die Beurteilung berücksichtigt.

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
G1 Gesundheit	I1 Auswirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden	0	eigene Einschätzung	Verjüngung und Umbau der Wälder haben keinen relevanten Einfluss auf die Gesundheit des Menschen.
	I2 Auswirkung auf die Sicherheit	+	BAFU 2011b	Durch die Verjüngung werden z.B. prekäre Schutzwälder in stabile, langfristig anpassungsfähige Bestände überführt.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	I1 Intragenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf Einkommensentwicklung, Armutsanteil, soziale Sicherheit usw.	0	eigene Einschätzung	Verjüngung und Umbau der Wälder haben keinen relevanten Einfluss auf die intragenerationelle Gerechtigkeit.
	I2 Intergenerationelle	+	eigene	Durch den Umbau und die Verjüngung

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
	Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf künftigen Handlungsspielraum		Einschätzung	entstehen anpassungsfähige und resiliente Wälder, wodurch die zukünftigen Handlungsspielräume, im Bereich der Wälder, erhalten bleiben.
U3 Natürliche Vielfalt	I1 Auswirkung auf Biodiversität und natürliche Resilienz.	++	BAFU 2011b	Umbau der Wälder durch naturnahen Waldbau, standortangepasste Baumartenwahl und zielgerichtete Jungwaldpflege erhöht die Biodiversität und somit die Resilienz.
	I2 Auswirkung auf den Naturraum und die Landschaft	+	eigene Einschätzung	Durch den Umbau und die Verjüngung der Wälder (im Sinne des naturnahen Waldbaus) wird der Naturraum vielfältiger.
V1 Unternehmen	I1 Kosten und Nutzen für Unternehmen	+	BAFU und MeteoSchweiz (2013), eigene Einschätzung	Der Rückgang von Holzerträgen kann durch die Anpassungsmassnahme wahrscheinlich verhindert werden. Verlorene Fichtenholzerträge können mit anderen Holzarten erträgen jedoch nur teilweise substituiert werden und bedingen Anpassungen von Prozessen und Verfahren. Eine direkte Quantifizierung ist nicht möglich, der Effekt auf die Unternehmen wird jedoch als positiv eingestuft.
V2 Haushalte	I1 Kosten und Nutzen für Haushalte	+ / ++	BUWAL (2005), WSL (2006), eigene Einschätzung	Die Qualität des Waldes kann durch die Massnahme längerfristig gesichert werden. Dadurch bleibt die Ökosystemleistung «Erholung im Wald» für die Haushalte intakt. Die Erholungsleistung des Waldes hat pro Person und Jahr nach einem Wert von 544 CHF pro Jahr (BUWAL 2005). Multipliziert mit der Anzahl Personen im Untersuchungsperimeter (867'549) ergibt sich ein Nutzen von 472 Mio. CHF pro Jahr. Andere Quellen gehen von etwas tieferen Werten aus: WSL (2006) schätzen den Wert auf 110 CHF pro Person und Jahr, was immerhin einen Gesamtnutzen von 95 Mio. CHF pro Jahr im Untersuchungsperimeter entspricht. Der Nutzen, welcher durch die Anpassungsmassnahme generiert wird, entspricht aber nur der Differenz des Nutzens der Erholungsleistung des Waldes ohne Umsetzung zum Nutzen bei Umsetzung der Massnahme. Wie gross diese Differenz ist, kann hier nicht quantifiziert werden, es wird jedoch davon ausgegangen, dass ein beträchtlicher Nutzenverlust verhindert werden kann. Die Umsetzung der Verjüngung und des Umbaus ist komplex, aufwendig und muss in mehreren Schritten durchgeführt werden. Die dabei anfallenden Kosten müssen von den privaten Waldbesitzer/innen mitgetragen werden. Diese machen jedoch nur einen kleineren Teil der Waldbesitzer/innen im Untersuchungsperimeter aus.
V4 Öffentliche Hand	I1 Kosten und Nutzen für die öffentliche Hand.	- / --	BAFU (2011b), eigene Einschätzung	Da ein wesentlicher Teil der Waldfläche im Besitz der öffentlichen Hand ist, fallen hier wesentliche Kosten an (vgl. V2).

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
V5 Gesamtwirtschaft	I1 Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft, Umfang der verhinderten Klimaschäden	+ / ++	BAFU (2013), eigene Einschätzung	Die Anpassungsmassnahme sichert längerfristig die CO ₂ -Speicherung, welche durch den Wald gewährleistet wird. Grobe Quantifizierung: Durch die Waldbewirtschaftung können schweizweit 650'000 t CO ₂ -Äq. gespeichert werden. Demzufolge können im Untersuchungsperimeter (0.92% der Schweizer Waldflächen) 6'017 t CO ₂ -Äq. gespeichert werden. Unter der Annahme von Kosten pro Tonne CO ₂ von 100 CHF ergibt sich ein Nutzen der Waldbewirtschaftung im Untersuchungsperimeter von ca. 0.6 Mio. CHF pro Jahr. Der Nutzen, welcher durch die Anpassungsmassnahme generiert wird, entspricht aber nur der Differenz des Nutzens der Waldbewirtschaftung ohne Umsetzung zum Nutzen der Waldbewirtschaftung mit Umsetzung. Wie gross diese Differenz ist, kann hier nicht beurteilt werden. Zusätzlich kann durch die Anpassungsmassnahme dem Wegfall von Schutzwäldern (Schutz vor Lawinen, Murgang etc.) entgegengewirkt werden. Da beide Effekte in die gleiche Richtung weisen, wird von einem positiven Gesamteffekt ausgegangen.

Tabelle 41: Detaillierte Beurteilung der Anpassungsmassnahme «Umbau/Verjüngung von Wäldern zu Mischwäldern» in den drei Dimensionen «Gesundheit», «Umwelt» und «Volkswirtschaft» auf einer Skala von -- (stark negativ) bis ++ (stark positiv).

Anpassungsmassnahme «Standortverbesserung Strassenbäume».

Kriterium	Relevanz	Begründung
G1 Gesundheit	mittlere	Die Standortverbesserung der Strassenbäume hat einen Einfluss auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	keine	Die Standortverbesserung der Strassenbäume hat keinen Einfluss auf die gesellschaftliche Kohäsion heute und den künftigen Handlungsspielraum.
G3 Bildung	keine	Die Standortverbesserung der Strassenbäume betrifft die Bildung nicht.
U1 Nutzung natürlicher Ressourcen	kleine	Die Standortverbesserung der Strassenbäume beeinflusst die Nutzung natürlicher Ressourcen / Rohstoffe wenig (im Bereich der Substrate).
U2 Umweltbelastung	mittlere	Die Standortverbesserung der Strassenbäume hat einen indirekten Einfluss auf die Luftqualität.
U3 Natürliche Vielfalt	mittlere	Durch die Standortverbesserung der Strassenbäume wird der Naturraum entlang der Strassen beeinflusst.
V1 Unternehmen	keine	Unternehmen sind in der Regel nicht im Besitz von Strassenbäumen. Diese haben auch keine relevanten Einflüsse auf Unternehmen.
V2 Haushalte	keine	Haushalte sind nicht massgeblich betroffen.
V3 Arbeitsmarkt	keine	Der Arbeitsmarkt ist nicht betroffen.
V4 Öffentliche Hand	mittlere	Die Umsetzung ist mehrheitlich Aufgabe der öffent-

Kriterium	Relevanz	Begründung
		lichen Hand.
V5 Gesamtwirtschaft	keine	Es sind keine Veränderungen zu erwarten, die nicht in V1 bis V4 abgedeckt werden.

Tabelle 42: Relevanzabschätzung für die Anpassungsmassnahme «Standortverbesserung Strassenbäume» in den Kategorien («keine», «kleine», «mittlere», «grosse»). Kriterien mit mittlerer oder grosser Relevanz wurden für die Beurteilung berücksichtigt.

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
G1 Gesundheit	I1 Auswirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden	+	eigene Einschätzung	Die Anpassungsmassnahme erhöht die Überlebensfähigkeit der Strassenbäume, welche die Luftqualität und das Mikroklima (Schatten, Kühleffekt, etc.) verbessern.
	I2 Auswirkung auf die Sicherheit	0	eigene Einschätzung	Die Standortverbesserung der Strassenbäume hat keinen relevanten Einfluss auf die Sicherheit.
U2 Umweltbelastung	I1 Anfallende Emissionen: Schadstoffemissionen, Lärmemissionen, Strahlung, Treibhausgase	0	Stadt Zürich 2013; eigene Einschätzung	Die Anpassungsmassnahme erhöht die Leistungsfähigkeit (Filterwirkung, Sonnenschutz, etc.) der Strassenbäume.
	I2 Langfristige Auswirkungen (Irreversibilität) durch Stoffe, Organismen, Abfälle	0	eigene Einschätzung	Die Standortverbesserung der Strassenbäume hat keine langfristigen Auswirkungen.
U3 Natürliche Vielfalt	I1 Auswirkung auf Biodiversität und natürliche Resilienz	0	eigene Einschätzung	Die Standortverbesserung der Strassenbäume beeinflusst die Biodiversität nicht relevant.
	I2 Auswirkung auf den Naturraum und die Landschaft	+	Stadt Zürich 2013; eigene Einschätzung	Die Anpassungsmassnahme erhöht die Überlebensfähigkeit der Strassenbäume wodurch der heutige Naturraum entlang der Strassen mittel- bis langfristig erhalten bleibt.
V4 Öffentliche Hand	I1 Kosten und Nutzen für die öffentliche Hand.	0	Baureferat München 2012, Aussagen Grün Stadt Zürich, eigene Einschätzung	Die öffentliche Hand als Besitzerin der meisten Strassenbäume trägt den wesentlichen Teil die Kosten, die für den Austausch herkömmlicher Erde mit dem Baums substrat anfallen. Strassenbäume müssen dank des Substrates jedoch auch weniger häufig ausgewechselt werden (Reduktion der Kosten), was die Massnahme bauch betriebswirtschaftlich begründet. Die beiden Effekte halten sich tendenziell die Waage.

Tabelle 43: Detaillierte Beurteilung der Anpassungsmassnahme «Standortverbesserung Strassenbäume» in den drei Dimensionen «Gesundheit», «Umwelt» und «Volkswirtschaft» auf einer Skala von -- (stark negativ) bis ++ (stark positiv).

Anpassungsmassnahme «Gesetzliche Vorgaben und Regelungen zu klimaangepasstem Bauen»

Kriterium	Relevanz	Begründung
G1 Gesundheit	mittlere	Die Anpassungsmassnahme beeinflusst die Gesundheit des Menschen indirekt.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	kleine	Gesetzliche Vorgaben und Regelungen zu klimaangepasstem Bauen haben einen marginalen Einfluss auf die inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit.
G3 Bildung	mittlere	Die Umsetzung kann einen indirekten Einfluss auf das Bildungsbedürfnis und -angebot haben.
U1 Nutzung natürlicher Ressourcen	mittlere	Durch die Gesetze und Regelungen kann der Energieverbrauch von Gebäuden beeinflusst werden.
U2 Umweltbelastung	kleine	Die Beeinträchtigung der natürlichen Umwelt durch die Gesetze und Regelungen ist vernachlässigbar.
U3 Natürliche Vielfalt	keine	Die Gesetze und Regelungen betreffen die Naturräume und Artenvielfalt nicht.
V1 Unternehmen	mittlere	Die Baubranche ist von den Gesetzen und Regelungen betroffen.
V2 Haushalte	keine (siehe V5)	Veränderungen der Kosten/Nutzen für Immobilienbesitzer/innen sowie für Mieter/innen sind zu erwarten. Diese werden unter V5 gesamthaft beurteilt.
V3 Arbeitsmarkt	kleine	Die Anforderungen an Mitarbeitende der Baubranche sind betroffen.
V4 Öffentliche Hand	mittlere	Die Umsetzung ist teilweise Aufgabe der öffentlichen Hand.
V5 Gesamtwirtschaft	mittlere	Der gesamte Energieverbrauch für Lüftung und Kühlung sowie die Baukosten und -kosten werden durch die Gesetze und Regelungen beeinflusst. Dies betrifft alle Immobilien-Besitzer/innen und -Nutzer/innen (Haushalte, Unternehmen, öffentliche Hand).

Tabelle 44: Relevanzabschätzung für die Anpassungsmassnahme «Gesetzliche Vorgaben und Regelungen zu klimaangepasstem Bauen» in den Kategorien («keine», «kleine», «mittlere», «grosse»). Kriterien mit mittlerer oder grosser Relevanz wurden für die Beurteilung berücksichtigt.

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
G1 Gesundheit	I1 Auswirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden	+	BUWAL / BAG 2004; eigene Einschätzung	Die Anpassungsmassnahme führt zu angenehmerem Raumklima (weniger Belastungen durch Zugluft und Lärmemissionen, weniger starke Temperaturschwankungen) mit Einfluss auf die menschliche Gesundheit.
	I2 Auswirkung auf die Sicherheit	0	eigene Einschätzung	Die Gesetze und Regelungen haben keine Auswirkungen auf die Sicherheit der Menschen.
G3 Bildung	I1 Auswirkung auf die Bildung	+	eigene Einschätzung	Durch die Gesetze und Regelungen kann ein zusätzliches Bildungsbedürfnis und -angebot entstehen.
U1 Nutzung natürlicher Ressourcen	I1 Verbrauch erneuerbarer Ressourcen (z.B. Wasser, Boden)	0	eigene Einschätzung	Durch die Gesetze und Regelungen wird vermehrt passive Kühlung eingesetzt, wodurch der Kühlbedarf von Gebäuden sinkt. Dadurch sinkt der Verbrauch von erneuerbarem Strom. Da dessen Anteil am

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
				Gesamtverbrauch jedoch deutlich kleiner ist als der nicht-erneuerbare Strom, wird auf eine positive Beurteilung verzichtet.
	I2 Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen (z.B. fossile Energie)	+	eigene Einschätzung	Durch die Gesetze und Regelungen wird vermehrt passive Kühlung eingesetzt, wodurch der Kühlbedarf von Gebäuden sinkt. Dadurch sinkt der Verbrauch von nicht-erneuerbarem Strom.
V1 Unternehmen	I1 Kosten und Nutzen für Unternehmen	0	eigene Einschätzung	Die Baubranche ist durch die Anpassung an neue Vorschriften gefordert, hat aber auch die Chance, klimaangepasstes Bauen als neuen Geschäftsbereich zu etablieren. Das Ausmass der Effekte lässt sich kaum abschätzen, die Wirkung ist jedoch in jedem Fall gegenteilig.
V4 Öffentliche Hand	I1 Kosten und Nutzen für die öffentliche Hand.	-	eigene Einschätzung, Baublatt (2013)	Die Umsetzung und der Vollzug ist Aufgabe der öffentlichen Hand. Unter anderem sind sämtliche Baugesuche im Untersuchungsperimeter betroffen (ca. 7000 Baugesuche pro Jahr). Auch bei einem relativ kleinen Mehraufwand pro Baugesuch, lässt sich abschätzen, dass relevante Mehrausgaben zu erwarten sind.
V5 Gesamtwirtschaft	I1 Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft, Umfang der verhinderten Klimaschäden	0/-	BFE (2007); eigene Einschätzung	Die Investitionskosten im Baubereich werden durch die Gesetze und Regelungen zunehmen. Die Energiekosten werden durch klimaangepasstes Bauen sinken. Bestehende Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Umsetzung von klimaangepasstem Bauen durch wirtschaftliche Massnahmen weitgehend möglich ist. Es stellt sich 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 würde einzig ein Informationsproblem vorliegen, welches mittels anderer Massnahmen (z.B. Informationskampagne) besser angegangen werden kann. <i>Hinweis:</i> Es 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. Somit sind die direkten Auswirkungen höherer Raumtemperaturen nicht Teil der Beurteilung.

Tabelle 45: Detaillierte Beurteilung der Anpassungsmassnahme «Gesetzliche Vorgaben und Regelungen zu klimaangepasstem Bauen» in den drei Dimensionen «Gesundheit», «Umwelt» und «Volkswirtschaft» auf einer Skala von -- (stark negativ) bis ++ (stark positiv).

Anpassungsmassnahme «Verbesserung der Ausbildung im Baubereich»

Kriterium	Relevanz	Begründung
G1 Gesundheit	mittlere	Die Anpassungsmassnahme beeinflusst die Gesundheit des Menschen indirekt. Da die Folgewirkung unsicher ist, wird die Relevanz als mittel beurteilt.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	mittlere	Die Ausbildung von Baufachleuten kann den zukünftigen Handlungsspielraum beeinflussen.
G3 Bildung	grosse	Die Ausbildung von Baufachleuten erhöht den Bildungsstand.
U1 Nutzung natürlicher Ressourcen	mittlere	Durch die Ausbildung von Baufachleuten kann der Energieverbrauch von Gebäuden indirekt beeinflusst werden.
U2 Umweltbelastung	kleine	Die Beeinträchtigung der natürlichen Umwelt durch die Ausbildung von Baufachleuten ist vernachlässigbar.
U3 Natürliche Vielfalt	kleine	Die Ausbildung von Baufachleuten betrifft die Naturräume und Artenvielfalt wenig / indirekt (z.B. Umsetzung von Dachbegrünungen).
V1 Unternehmen	mittlere	Mögliche Mitfinanzierung von Weiterbildungen, besser ausgebildete Mitarbeitende.
V2 Haushalte	keine	Es sind keine direkten Auswirkungen auf Haushalte zu erwarten.
V3 Arbeitsmarkt	kleine	Ausbildung und Weiterbildung von Baufachleuten beeinflussen den Arbeitsmarkt nur marginal.
V4 Öffentliche Hand	mittlere	Die Anpassung der Lehrpläne ist weitgehend Aufgabe der öffentlichen Hand.
V5 Gesamtwirtschaft	keine	Gesamtwirtschaftlich sind keine Auswirkungen zu erwarten.

Tabelle 46: Relevanzabschätzung für die Anpassungsmassnahme «Verbesserung der Ausbildung im Baubereich» in den Kategorien («keine», «kleine», «mittlere», «grosse»). Kriterien mit mittlerer oder grosser Relevanz wurden für die Beurteilung berücksichtigt.

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
G1 Gesundheit	I1 Auswirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden	+	BUWAL / BAG 2004; eigene Einschätzung	Es ist unklar, wie die Ausbildung von den Baufachleuten umgesetzt wird. Falls das Wissen umgesetzt wird, führt dies zu angenehmerem Raumklima (z.B. kühlere Räume im Sommer) mit Einfluss auf die menschliche Gesundheit.
	I2 Auswirkung auf die Sicherheit	0	eigene Einschätzung	Die Ausbildung der Baufachleute hat keine Auswirkungen auf die Sicherheit der Menschen.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	I1 Intragenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf Einkommensentwicklung, Armutsanteil, soziale Sicherheit usw.	0	eigene Einschätzung	Die Ausbildung der Baufachleute hat keine Auswirkungen auf die intragenerationelle Gerechtigkeit.
	I2 Intergenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf künftigen Handlungsspielraum	++	eigene Einschätzung	Mit der Einführung einer Ausbildung, wird das Vorsorgeprinzip berücksichtigt und erhöht den Handlungsspielraum zukünftiger Generationen.
G3 Bildung	I1 Auswirkung auf die Bildung	++	eigene Einschätzung	Durch die Ausbildung der Baufachleute werden deren Bildungsstand und damit die Qualifikation für den Arbeitsprozess er-

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
				höht.
U1 Nutzung natürlicher Ressourcen	I1 Verbrauch erneuerbarer Ressourcen (z.B. Wasser, Boden)	0	eigene Einschätzung	Wird das Wissen aus der Ausbildung angewandt, wird vermehrt passive Kühlung eingesetzt, wodurch der Kühlbedarf von Gebäuden sinkt. Dadurch sinkt der Verbrauch von erneuerbarem Strom. Da dessen Anteil am Gesamtverbrauch jedoch deutlich kleiner ist als der nicht-erneuerbare Strom, wird auf eine positive Beurteilung verzichtet.
	I2 Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen (z.B. fossile Energie)	+	eigene Einschätzung	Wird das Wissen aus der Ausbildung angewandt, wird vermehrt passive Kühlung eingesetzt, wodurch der Kühlbedarf von Gebäuden sinkt. Dadurch sinkt der Verbrauch von nicht-erneuerbarem Strom.
V1 Unternehmen	I1 Kosten und Nutzen für Unternehmen	+ / ++	eigene Einschätzung	Die Unternehmen profitieren durch besser ausgebildete Mitarbeiter. Das neue geschaffene Weiterbildungsangebot kann durch Unternehmen auf <i>freiwilliger</i> Basis genutzt werden, es entstehen deshalb keine unvermeidbaren Zusatzkosten.
V4 Öffentliche Hand	I1 Kosten und Nutzen für die öffentliche Hand.	0	eigene Einschätzung	Die Anpassungsmassnahme wird weitgehend von der öffentlichen Hand umgesetzt respektive initiiert. Die Anpassung der Lehrpläne findet im Rahmen des üblichen Überarbeitungsprozesses statt und verursacht deshalb keine oder kleine Zusatzkosten.

Tabelle 47: Detaillierte Beurteilung der Anpassungsmassnahme «Verbesserung der Ausbildung im Baubereich» in den drei Dimensionen «Gesundheit», «Umwelt» und «Volkswirtschaft» auf einer Skala von -- (stark negativ) bis ++ (stark positiv).

Anpassungsmassnahme «Berücksichtigung der zukünftigen klimatischen Entwicklung bei der Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen»

Kriterium	Relevanz	Begründung
G1 Gesundheit	grosse	Die Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen beeinflusst die Sicherheit der Menschen wesentlich.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	mittlere	Die Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen hat einen Einfluss auf den künftigen Handlungsspielraum
G3 Bildung	keine	Die Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen betrifft die Bildung nicht.
U1 Nutzung natürlicher Ressourcen	kleine	Die Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen betrifft die Nutzung natürlicher Ressourcen geringfügig.
U2 Umweltbelastung	kleine	Die Naturgefahrenvorsorge (z.B. wasserbauliche Massnahmenplanung) kann während der Bauphase einen temporären Einfluss auf die Umweltbelastung mit sich bringen.
U3 Natürliche Vielfalt	mittlere	Die Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen und insbesondere die Naturgefahrenvorsorge können Naturräume verändern und die Artenvielfalt beeinflussen.

Kriterium	Relevanz	Begründung
V1 Unternehmen	kleine	Unternehmen können im Einzelfall stark betroffen sein. Aus volkswirtschaftlicher Sicht hat die <i>zusätzliche</i> Veränderung der Schutzperimeter <i>aufgrund der Berücksichtigung des Klimawandels</i> aber nur einen kleinen Effekt.
V2 Haushalte	kleine	Haushalte können im Einzelfall stark betroffen sein. Aus volkswirtschaftlicher Sicht hat die <i>zusätzliche</i> Veränderung der Schutzperimeter <i>aufgrund der Berücksichtigung des Klimawandels</i> aber nur einen kleinen Effekt.
V3 Arbeitsmarkt	keine	Der Arbeitsmarkt ist von der Umsetzung nicht betroffen.
V4 Öffentliche Hand	mittlere	Die Umsetzung ist Aufgabe der öffentlichen Hand. Insbesondere die bauliche Naturgefahrenvorsorge kann zu relevanten Ausgaben führen.
V5 Gesamtwirtschaft	mittlere	Durch die Umsetzung sind tiefere Schadenskosten zu erwarten.

Tabelle 48: Relevanzabschätzung für die Anpassungsmassnahme «Berücksichtigung der zukünftigen klimatischen Entwicklung bei der Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen» in den Kategorien («keine», «kleine», «mittlere», «grosse»). Kriterien mit mittlerer oder grosser Relevanz wurden für die Beurteilung berücksichtigt.

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
G1 Gesundheit	I1 Auswirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden	0	eigene Einschätzung	Die Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen hat (durch die Nicht-Bebauung von Freiräumen) eine marginale Auswirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen.
	I2 Auswirkung auf die Sicherheit	++	PLANAT 2009; eigene Einschätzung	Die Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen und die Naturgefahrenvorsorge führen zu einer Erhöhung der Sicherheit der Menschen vor Hochwasser (PLANAT, 2009).
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	I1 Intragenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf Einkommensentwicklung, Armutsanteil, soziale Sicherheit usw.	0	eigene Einschätzung	Die Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen hat keine Auswirkungen auf die intragenerationelle Gerechtigkeit.
	I2 Intergenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf künftigen Handlungsspielraum	+	PLANAT 2009; eigene Einschätzung	Die Strategie Naturgefahren Schweiz verfolgt zwei Leitprinzipien. Eines ist das Prinzip der Nachhaltigkeit (Bedürfnisse der Gegenwart befriedigen, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden). Werden aufgrund der Massnahme grössere Flächen nicht verbaut, bleiben diese zukünftigen Generationen als Handlungsspielraum erhalten. Zudem sind zukünftige Generationen vor den zunehmenden Gefahren besser geschützt.
U3 Natürliche Vielfalt	I1 Auswirkung auf Biodiversität und natürliche Resilienz	0	eigene Einschätzung	Einerseits kann die Massnahme zur Nicht-Bebauung von Flächen beitragen, wodurch Räume, die wertvoll für die Biodiversität sein können, erhalten bleiben. Andererseits können solche Räume durch die Naturgefahrenvorsorge (z.B. wasser-

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
				bauliche Massnahmen) verbaut werden.
	I2 Auswirkung auf den Naturraum und die Landschaft	0	eigene Einschätzung	Einerseits kann die Massnahme zur Nicht-Bebauung von Flächen beitragen, wodurch Naturräume erhalten bleiben. Andererseits können Naturräume durch die Naturgefahrenvorsorge (z.B. wasserbauliche Massnahmen) auch verbaut werden.
V4 Öffentliche Hand	I1 Kosten und Nutzen für die öffentliche Hand.	-/-- (?)	eigene Einschätzung	Die Anpassungen der Gefahrenkarten und der Zonenplanung unter Berücksichtigung des Klimawandels finden im Rahmen der periodischen Aktualisierungen statt und führen daher nicht zwingend zu grossen Mehrausgaben. Bauliche Schutzmassnahmen sind oft sehr kostenintensiv, der Umfang der zusätzlichen Aufwendungen aufgrund der Berücksichtigung des Klimawandels unterscheidet sich aber von Projekt zu Projekt stark. Eine Beurteilung ist somit nur im Einzelfall möglich.
V5 Gesamtwirtschaft	I1 Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft, Umfang der verhinderten Klimaschäden	+ /++ (?)	eigene Einschätzung	Die Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen sowie die Umsetzung von baulichen Schutzmassnahmen führt gesamthaft zu tieferen Schadenskosten. Eine Quantifizierung ist aber nur auf der Ebene von Einzelfällen möglich.

Tabelle 49: Detaillierte Beurteilung der Anpassungsmassnahme «Berücksichtigung der zukünftigen klimatischen Entwicklung bei der Überarbeitung von Gefahrenkarten und Zonenplänen» in den drei Dimensionen «Gesundheit», «Umwelt» und «Volkswirtschaft» auf einer Skala von -- (stark negativ) bis ++ (stark positiv).

Anpassungsmassnahme «Etablierung eines Warndienstes bei Hitzewellen»

Kriterium	Relevanz	Begründung
G1 Gesundheit	grosse	Ein Warndienst hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	keine	Ein Warndienst hat keinen Einfluss auf die inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit.
G3 Bildung	mittlere	Die durch das Warnsystem vermittelte Information kann einen Einfluss auf das individuelle Wissen haben.
U1 Nutzung natürlicher Ressourcen	kleine	Ein Warnsystem hat einen kleinen Einfluss auf die Nutzung natürlicher Ressourcen (z.B. könnte/sollte der Wasserkonsum steigen).
U2 Umweltbelastung	keine	Ein Warnsystem hat kaum Einfluss auf die Nutzung natürlicher Ressourcen.
U3 Natürliche Vielfalt	keine	Ein Warnsystem hat keinen Einfluss auf die Naturräume und Artenvielfalt.
V1 Unternehmen	keine	Unternehmen sind von der Umsetzung nicht betroffen.
V2 Haushalte	keine	Haushalte sind von der Umsetzung nicht betroffen.
V3 Arbeitsmarkt	keine	Der Arbeitsmarkt ist vom Warndienst nicht betroffen.

Kriterium	Relevanz	Begründung
		fen.
V4 Öffentliche Hand	mittlere	Die Umsetzung ist Aufgabe der öffentlichen Hand.
V5 Gesamtwirtschaft	mittlere	Der Warndienst kann gesamtwirtschaftliche Auswirkungen in Form von verhinderten Krankheitskosten und Todesfällen haben.

Tabelle 50: Relevanzabschätzung für die Anpassungsmassnahme «Etablierung eines Warndienstes» in den Kategorien («keine», «kleine», «mittlere», «grosse»). Kriterien mit mittlerer oder grosser Relevanz wurden für die Beurteilung berücksichtigt.

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
G1 Gesundheit	I1 Auswirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden	++	eigene Einschätzung	Ein Warndienst warnt die Bevölkerung kurzfristig über Hitzeereignisse und informiert sie über hitzeangepasstes Verhalten. Dadurch soll im Fall einer Hitzewelle die Gesundheit bzw. das Wohlbefinden der Menschen gesichert werden.
	I2 Auswirkung auf die Sicherheit	0	eigene Einschätzung	Der Warndienst hat keinen relevanten Einfluss auf die Sicherheit des Menschen.
G3 Bildung	I1 Auswirkung auf die Bildung	0	eigene Einschätzung	Durch das Warnsystem wird die breite Bevölkerung zu hitzeangepasstem Verhalten informiert.
V4 Öffentliche Hand	I1 Kosten und Nutzen für die öffentliche Hand.	-	Ebi et al. (2004), UBA (2012), eigene Einschätzung	Die Etablierung eines Warndienstes wird durch die öffentliche Hand organisiert. Nach Ebi et al. (2004) betragen die Kosten pro Hitzetag für ein Warnsystem rund 4000 CHF. Nach UBA (2012) ist mit zusätzlich 18 - 25 Hitzetagen pro Jahr zu rechnen. Die Kosten für ein Warnsystem betragen somit im Durchschnitt 72'000 - 100'000 CHF pro Jahr.
V5 Gesamtwirtschaft	I1 Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft, Umfang der verhinderten Klimaschäden	++	econcept (2013); EBP (2011); UBA (2012)	Gesamtwirtschaftlicher Nutzen entsteht durch vermiedene Todesfälle. Für die Stadt Zürich werden in EBP (2011) für das Jahr 2050 1488 Hitzetote bei Menschen über 64 Jahre geschätzt. Für den Untersuchungsperimeter sind es demzufolge 3'500 Hitzetote pro Jahr. Nach UBA 2012 können 30% der Todesfälle aufgrund einer Hitzewelle mittels Warnsystem vermieden werden. Im Jahr 2050 könnten somit im Untersuchungsperimeter 1'050 Hitzetote durch die Massnahme verhindert werden. Die Zahlungsbereitschaft für einen verhinderten Todesfall beträgt nach econcept (2013) 680'000 CHF. Der gesamtwirtschaftliche Nutzen durch verhinderte Hitzetote beträgt demnach <i>maximal</i> 714 Mio. CHF pro Jahr. Zusätzlich können durch die Etablierung eines Warndienstes Krankenhauseinweisungen aufgrund von Hitzewellen vermieden werden. Dadurch werden weitere Kosten eingespart.

Tabelle 51: Detaillierte Beurteilung der Anpassungsmassnahme «Etablierung eines Warndienstes» in den drei Dimensionen «Gesundheit», «Umwelt» und «Volkswirtschaft» auf einer Skala von -- (stark negativ) bis ++ (stark positiv).

Anpassungsmassnahme «Erarbeiten und Erweiterung von Notfallplänen für Abläufe und Massnahmen während Hitzewellen»

Kriterium	Relevanz	Begründung
G1 Gesundheit	grosse	Ein Notfallplan hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	mittlere	Ein Notfallplan bzw. dessen Umsetzung im Fall einer Hitzewelle kann die gesellschaftliche Kohäsion (zwischen stark und weniger stark Betroffenen) beeinflussen.
G3 Bildung	kleine	Die Umsetzung der Massnahme kann einen indirekten Einfluss auf das Bildungsbedürfnis und -angebot (z.B. des Pflegepersonals) haben.
U1 Nutzung natürlicher Ressourcen	kleine	Ein Notfallplan hat einen kleinen Einfluss auf die Nutzung natürlicher Ressourcen (z.B. steigender Wasserkonsum).
U2 Umweltbelastung	kleine	Ein Notfallplan hat einen kleinen Einfluss auf die Nutzung natürlicher Ressourcen (z.B. weniger Verkehr aufgrund von Fahrverbot an ausgewählten Tagen oder definierten Gebieten).
U3 Natürliche Vielfalt	keine	Ein Notfallplan hat keinen Einfluss auf die Naturräume und Artenvielfalt.
V1 Unternehmen	kleine	Kleinere Aufgaben der Notfallplanung (z.B. Information der Mitarbeitenden, Bereitstellung Trinkflaschen) könnten an Unternehmen delegiert werden.
V2 Haushalte	keine	Haushalte sind von der Umsetzung nicht betroffen.
V3 Arbeitsmarkt	keine	Der Arbeitsmarkt ist nicht betroffen.
V4 Öffentliche Hand	mittlere	Die Umsetzung ist Aufgabe der öffentlichen Hand.
V5 Gesamtwirtschaft	mittlere	Notfallpläne können dazu beitragen, Krankheitskosten zu reduzieren.

Tabelle 52: Relevanzabschätzung für die Anpassungsmassnahme «Erarbeiten und Erweiterung von Notfallplänen für Abläufe und Massnahmen während Hitzewellen» in den Kategorien («keine», «kleine», «mittlere», «grosse»). Kriterien mit mittlerer oder grosser Relevanz wurden für die Beurteilung berücksichtigt.

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
G1 Gesundheit	I1 Auswirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden	++	eigene Einschätzung	Ein Notfallplan hat die Intervention und die Kommunikation zum Ziel. Dadurch soll im Fall einer Hitzewelle die Gesundheit bzw. das Wohlbefinden der Menschen gesichert werden.
	I2 Auswirkung auf die Sicherheit	0	eigene Einschätzung	Die Erarbeitung von Notfallplänen hat keinen relevanten Einfluss auf die Sicherheit des Menschen.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	I1 Intragenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf Einkommensentwicklung, Armutsanteil, soziale Sicherheit usw.	+	eigene Einschätzung	Ein Notfallplan bzw. dessen Umsetzung im Fall einer Hitzewelle fördert die gesellschaftliche Kohäsion (zwischen stark und weniger stark Betroffenen).
	I2 Intergenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf künftigen Handlungsspielraum	0	eigene Einschätzung	Ein Notfallplan bzw. dessen Umsetzung hat keinen relevanten Einfluss auf die intergenerationelle Gerechtigkeit.
V4 Öffentliche	I1 Kosten und Nutzen für	-	eigene Einschätzung	Die Ausarbeitung und Umsetzung der

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
Hand	die öffentliche Hand.		zung; UBA (2012)	Notfallpläne liegt in der Verantwortung der öffentlichen Hand. Die Kosten sind aber eher gering. Gemäss den Resultaten einer Untersuchung in Deutschland betragen die Kosten umgerechnet auf den Untersuchungsperimeter in Zürich rund 0.25 Mio. CHF. Die Pläne müssen alle 10 Jahre aktualisiert werden, wofür etwa die Hälfte der Erstellungskosten anfallen. Auf dreissig Jahre entstehen somit Kosten von rund 17'000 CHF/Jahr.
V5 Gesamtwirtschaft	I1 Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft, Umfang der verhinderten Klimaschäden	+ / ++ (?)	eigene Einschätzung	Durch eine effiziente und schnelle Hilfe während Hitzewellen können Todesfälle und Krankenhauseinweisungen vermieden werden. Das Ausmass dieses Effektes lässt sich aber nicht quantifizieren, da noch keine klaren Erfahrungsdaten vorliegen.

Tabelle 53: Detaillierte Beurteilung der Anpassungsmassnahme «Erarbeiten und Erweiterung von Notfallplänen für Abläufe und Massnahmen während Hitzewellen» in den drei Dimensionen «Gesundheit», «Umwelt» und «Volkswirtschaft» auf einer Skala von -- (stark negativ) bis ++ (stark positiv).

Anpassungsmassnahme «Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen»

Kriterium	Relevanz	Begründung
G1 Gesundheit	grosse	Information und Sensibilisierung haben einen wesentlichen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	mittlere	Information und Sensibilisierung können die gesellschaftliche Kohäsion (zwischen Betroffenen und deren Angehörigen) beeinflussen.
G3 Bildung	grosse	Die vermittelte Information und regelmässige Sensibilisierung hat einen Einfluss auf das individuelle Wissen, insbesondere innerhalb der Zielgruppen.
U1 Nutzung natürlicher Ressourcen	keine	Information und Sensibilisierung haben keinen relevanten Einfluss auf die Nutzung natürlicher Ressourcen.
U2 Umweltbelastung	keine	Information und Sensibilisierung haben keinen relevanten Einfluss auf die Nutzung natürlicher Ressourcen (z.B. könnte es zu zusätzlichem Mobilitätsaufkommen führen durch die Pflege von Betroffenen durch ihre Angehörigen).
U3 Natürliche Vielfalt	keine	Information und Sensibilisierung haben keinen Einfluss auf die Naturräume und Artenvielfalt.
V1 Unternehmen	kleine	Der Beitrag der Unternehmen an der Sensibilisierungskampagne ist gering.
V2 Haushalte	keine	Haushalte sind von der Umsetzung nicht betroffen. (Gesundheitliche Auswirkungen sind G1 berücksichtigt.)
V3 Arbeitsmarkt	keine	Der Arbeitsmarkt ist von der Umsetzung nicht betroffen.
V4 Öffentliche Hand	mittlere	Die Umsetzung ist Aufgabe der öffentlichen Hand.

V5 Gesamtwirtschaft	mittlere	Information und Sensibilisierung haben gesamtwirtschaftliche Auswirkungen.
---------------------	----------	--

Tabelle 54: Relevanzabschätzung für die Anpassungsmassnahme «Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen, z.B. Verhalten während Hitzewellen, verfügbare Angebote für besonders sensible Personen» in den Kategorien («keine», «kleine», «mittlere», «grosse»). Kriterien mit mittlerer oder grosser Relevanz wurden für die Beurteilung berücksichtigt.

Kriterium	Indikatoren	Beurteilung	Quelle	Begründung
G1 Gesundheit	I1 Auswirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden	++	eigene Einschätzung	Information und Sensibilisierung weist die Bevölkerung langfristig auf Hitzewellen und hitzeangepasstes Verhalten hin. Dadurch soll im Fall einer Hitzewelle die Gesundheit bzw. das Wohlbefinden der Menschen gesichert werden.
	I2 Auswirkung auf die Sicherheit	0	eigene Einschätzung	Information und Sensibilisierung hat keinen relevanten Einfluss auf die Sicherheit des Menschen.
G2 Inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit	I1 Intragenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf Einkommensentwicklung, Armutsanteil, soziale Sicherheit usw.	+	eigene Einschätzung	Information und Sensibilisierung können die gesellschaftliche Kohäsion (zwischen Betroffenen und ihren Angehörigen) fördern.
	I2 Intergenerationelle Gerechtigkeit, z.B. Auswirkung auf künftigen Handlungsspielraum	0	eigene Einschätzung	Information und Sensibilisierung haben keinen relevanten Einfluss auf die intergenerationelle Gerechtigkeit.
G3 Bildung	I1 Auswirkung auf die Bildung	+	eigene Einschätzung	Mittels Information und Sensibilisierung wird die breite Bevölkerung längerfristig über Hitzewellen und hitzeangepasstem Verhalten informiert.
V4 Öffentliche Hand	I1 Kosten und Nutzen für die öffentliche Hand.	-	eigene Einschätzung	Die Umsetzung und der Vollzug ist Aufgabe der öffentlichen Hand. Es entstehen Kosten durch Identifikation und Information der betroffenen Gruppen.
V5 Gesamtwirtschaft	I1 Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft, Umfang der verhinderten Klimaschäden	++	econcept (2013); EBP (2011); UBA (2012)	Durch das gezielte Informieren und Sensibilisieren der betroffenen Risikogruppen können Todesfälle und Krankenseinweisungen aufgrund von Hitzewellen vermieden werden. Eine quantitative Evaluation von Sensibilisierungskampagnen liegt nicht vor; aufgrund der positiven Einschätzung der «Warndienste» liegt der Schluss jedoch nahe, dass auch bei Sensibilisierungskampagnen wesentliche positive Effekte aufgrund vermiedener Todesfälle und Krankheitskosten zu erwarten sind. Der Wirkmechanismus von Warndiensten und Sensibilisierungskampagnen kann als ähnlich bezeichnet werden (im Gegensatz zur Massnahme bezüglich Notfallpläne).

Tabelle 55: Detaillierte Beurteilung der Anpassungsmassnahme «Information und Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Hitzewellen, z.B. Verhalten während Hitzewellen, verfügbare Angebote für besonders sensible Personen» in den drei Dimensionen «Gesundheit», «Umwelt» und «Volkswirtschaft» auf einer Skala von -- (stark negativ) bis ++ (stark positiv).

Glossar

- Albedo** Die Albedo bezeichnet den prozentualen Anteil der von einer Oberfläche zurückgestrahlten / reflektierten solaren Strahlung. Während schneebedeckte Oberflächen eine hohe Albedo haben, sind jene von Vegetation bedeckten Oberflächen und Ozeane 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).
- CO₂ eq** Die Masseinheit «CO₂eq» ist eine Referenzeinheit, die es ermöglicht, andere Treibhausgase (z.B. CH₄) in Einheiten von CO₂ auszudrücken.
- 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 demographische, 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:
A2-Szenario: Dieses Szenario des IPCC beschreiben 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.
A1B-Szenario: 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.

RCP3PD-Szenario: 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 CO₂eq Konzentration in der Atmosphäre nahe bei 450ppm. In diesem Szenario kann eine Erwärmung von 2 Grad verhindert werden und es entspricht dem Ziel, welche die Mitgliedsländer des UNFCCC in Mexiko beschlossen haben.

- Exposition** Die Exposition, beschreibt das Ausmass und die Art der Betroffenheit einer Region vom Klimawandel, 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 deren Vulnerabilität. Das heisst je stärker eine Region exponiert ist gegenüber den Klimaänderungen, 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 so genannten Wissensstandberichten ab, Englisch IPCC Assessment Reports. Die Berichte des IPCC werden in Arbeitsgruppen erstellt und vom Plenum akzeptiert. Jeder beteiligte Forscher kann in drei auf einander folgenden Versionen Kommentare, Kritik und Vorschläge einbringen. Mehr als hundert Forscher haben dies getan; unabhängige Review Editors achten darauf, dass in der Endfassung alles angemessen berücksichtigt ist.
- Klimabedingte Gefahren und Effekte** Klimabedingte Gefahren sind plötzlich auftretenden Ereignissen wie zum Beispiel Hochwasser. Klimabedingte Effekte dagegen sind schleichenden 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).
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 deren 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 und Folgen zu mildern. Die Rahmenkonvention wurde 1992 in New York City 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.
Verwundbarkeit	Die Verwundbarkeit ist das Ausmass, in dem ein System nachteiligen Folgen der Klimaänderungen ausgesetzt ist oder nicht imstande ist, diese zu bewältigen (IPCC, 2007). Die Verwundbarkeit einer Region hängt ab von deren Exposition, ihrer Empfindlichkeit und ihrer Anpassungsfähigkeit.
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.

Literatur

- ARE 2008: Nachhaltigkeitsbeurteilung: Leitfaden für Bundesstellen und weitere Interessierte, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
- BAFU 2013: Indikator Kohlenstoffspeicherung durch Waldbewirtschaftung, URL: <http://www.bafu.admin.ch/umwelt/indikatoren/08606/12445/index.html?lang=de> [Stand: 3.5.2013]
- BAFU 2012a: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder, Erster Teil der Strategie des Bundesrates, Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU 2012b: Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1217: 76 S.
- BAFU 2011a: Anpassung an die Klimaänderung in Schweizer Städten, Grundlagendokument I. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU 2011b: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz im Sektor Wald und Waldwirtschaft. Beitrag des Bundesamtes für Umwelt zur Anpassungsstrategie des Bundesrates. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU 2009: Rutschungen, Ursachen. Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention, Bern.
- BAFU 2008: VOBV Volkswirtschaftliche Beurteilung von Umweltmassnahmen und -zielen, Leitfaden, gültige Version Mai 2008, Bern.
- BAFU/ARE 2011: Pilotprojekt Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz, Schlussbericht. Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
- BAFU / MeteoSchweiz 2007: Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen und Massnahmen. Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, Bern.
- Baublatt 2012: Anzahl der Baugesuche sinkt unter das Niveau von 2010, URL: http://www.baublatt.ch/sites/baublatt.ch/files/content/BB_1208_Monatsstatistik%20%5BSchreibgesch%C3%BCtz%5D.pdf [Stand: 6.5.2013]
- Baudirektion Kanton Zürich 2012: «Informationsveranstaltung Sanierung Kreisel Zentrum (Löwenkreisel) und Bachdurchlässe» Präsentation Baudirektion Kanton Zürich. URL: http://www.bassersdorf.ch/documents/sanierung_kreisel_zentrum_info_veranstaltung_2012-01-31.pdf [Stand: 26.02.2013]

- Baureferat München 2012: Klimawandelgerechter Ausbau von städtischen Grünflächen, Referat von Dr. Ulrich Schneider, Leiter der HA Gartenbau im Baureferat der LH München.
- BFE 2007: Bauen wenn das Klima wärmer wird, Bundesamt für Energie, Bern.
- BFS 2013: Eidgenössische Betriebszählung, Beschäftigte und Arbeitsstätten, 2008; Geodaten, Bundesamt für Statistik BFS, Neuchâtel.
- BMU 2008: Klimawandel in den Alpen, Fakten – Folgen – Anpassung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.
- BMVBS 2012: Immobilienwirtschaftliche Strategien des Klimawandels. Sondergutachten „Szenarien des Klimawandels für Privateigentümer von Wohnimmobilien“, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Online-Publikation 14/2012, Berlin.
- BMVBS 2011: Klimawandelgerechte Stadtentwicklung, Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin.
- Bosshard T., Kotlarski S., Ewen T., Schär C. 2011: Klimaszenarien für Klimaimpaktstudien in der Schweiz, Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich.
- BUWAL 2005: Der monetäre Erholungswert des Waldes, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), W. Ott und M. Baur, econcept, Zürich.
- BUWAL/BAG 2004: Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz, Literaturstudie im Auftrag der Bundesämter für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und für Gesundheit (BAG), O. T. Dombois, Ch. Braun-Fahrländer, Basel.
- CH2011 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, Meteo Swiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp.
- Climate-Press 2003: Erste Spuren der Klimaänderung in der Pflanzen- und Tierwelt, Climate-Press, Hintergründe aus der Klima- und Global Change-Forschung, 2003.
- econcept/BAFU (2011): Indikatoren für Ökosystemleistungen: Systematik, Methodik und Umsetzungsempfehlungen für eine wohlfahrtsbezogene Umweltberichterstattung. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- econcept/BAFU (2009): Wohlfahrtsbezogene Umweltindikatoren. Eine Machbarkeitsstudie zur statistischen Fundierung der Ressourcenpolitik. Bundesamt für Umwelt, Bern.

- econcept (2013): Die Kosten der Luftverschmutzung für den Kanton Zürich, die Stadt Zürich und die Stadt Winterthur, Zürich. *(noch nicht veröffentlicht)*
- EBP, 2011: Anpassung an den Klimawandel im Kontext städtischen Handelns, Erste Auslegeordnung und möglicher Handlungsbedarf für die Stadt Zürich, Zürich.
- ETH 2012: ETH Klimablog, Klimawissen, Glossar. URL: <http://blogs.ethz.ch/klimablog/klimawissen/glossar/> [Stand: 19.7.2012]
- Experten/innen-Workshop 2012: 1.Experten/innen-Workshop, 12. November 2012 (Teilnehmer/innen im Anhang A-3)
- Experten/innen-Workshop 2013: 2.Experten/innen-Workshop, 18.März 2013 (Teilnehmer/innen im Anhang A-4)
- Factsheets 2012: Workshop über Klimawandel in Schweizer Städten, Factsheets zu den Themen Gesundheit, Infrastrukturen/Gebäuden, Grünflächen, Wasserwirtschaft und Stadtentwicklung, Ernst Basler+Partner, Dialog Umwelt, bio-eco.
- Grün Stadt Zürich 2006 Das Grünbuch der Stadt Zürich, integral planen - wirkungsorientiert handeln, Zürich.
- Infras, Ecologic, Rütter+Partner 2007: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (internationale Einflüsse), im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Zürich/Berlin/Rüschlikon.
- IPCC 2013 Climate Change 2013, The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC 2011 Climate Change 2007 Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kanton Basel-Stadt 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.
- Kanton Zürich 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]
- Kanton Zürich 2012b: Kantonale Bevölkerungsstatistik, Statistisches Amt, Kanton Zürich, Direktion der Justiz und des Innern URL: http://www.statistik.zh.ch/internet/justiz_innernes/statistik/de/home.html [Stand: 02.10.2012]

- Kanton Zürich 2012c: Statistisches Amt des Kantons Zürich, Kantonale Bevölkerungsstatistik (nach wirtschaftlichem Wohnsitzbegriff), Zürich.
- Kanton Zürich 2012d: Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Raumentwicklung, Abteilung Geoinformation, GIS-Zentrum; Daten Gebäudevolumen, 2004 S.A. Gerster; Daten Hochwassergefahrenkarte, 2012, Ch.Schuler.
- Kanton Zürich 2012e: Hochwasserschutz an Sihl, Zürichsee und Limmat, Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich.
- Kanton Zürich 2011: Gefahrenkartierung Naturgefahren im Kanton Zürich – Massenbewegungen, Pflichtenheft 201, Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich.
- Kanton Zürich 2010: Statistisches Amt des Kantons Zürich 2010: Regionalisierte Bevölkerungsprognosen für den Kanton Zürich, Prognoselauf 2010.
- Kanton Zürich 2009: Raumplanungsbericht 2009, Bericht des Regierungsrates an den Kantonsrat, Zürich.
- Kräuchi N., Li M-H., Gao S-P. 2006: Global Warming: Can Existing Reserves Really Preserve Current Levels of Biological Diversity? *Journal of Integrative Plant Biology* 2006, 48 (3): 255–259.
- MeteoSchweiz 2012: Klima heute – Trends Schweiz. BR, 2012esamt für Meteorologie und Klimatologie. URL: http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/trends_schweiz.html [Stand: 20.7.2012]
- MeteoSchweiz 2013a: Die Häufigkeit von extremen Windgeschwindigkeiten in der Schweiz. URL: http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/berichte_und_publicationen/haeufigkeit_extreme_windgeschwindigkeiten.html [Stand: 10.4.2013]
- MeteoSchweiz 2013b: Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht, Fachbericht MeteoSchweiz, 243, 36pp.
- MKULNV 2011: Handbuch Stadtklima – Massnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV), Düsseldorf.
- NZZ 2012: «Klimaerwärmung macht dem Zürichsee zu schaffen», *Neue Zürcher Zeitung*, 16.Juli 2012, Zürich.
- 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.
- PLANAT 2009: Strategie Naturgefahren Schweiz – Aktionsplan 2005 – 2008, Bericht-erstattung. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT.
- 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, Regionalpla-nung Zürich und Umgebung.
- SCNAT 2007: Hotspot Biodiversität und Klimawandel, Biodiversität: Forschung und Praxis im Dialog, Informationen des Forum Biodiversität Schweiz.
- SECO 2013: Handbuch Regulierungsfolgenabschätzung (RFA), Bern.
- Stadt Zürich 2013: Strassenbäume, Tiefbau- und Entsorgungsdepartement der Stadt Zürich, URL: http://www.stadt-zuerich.ch/content/ted/de/index/gsz/angebote_u_beratung/beratung/strassenbaeume.html# [Stand: 13.5.2013]
- 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, 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 Grundlagenar-beit und Massnahmenvorschläge aus stadtklimatischer Sicht, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich.
- TA 2012a: «Stadt Zürich ist eines der grössten Risikogebiete der Schweiz», Ta-ges-Anzeiger, 04.06.2012, Zürich.

- TA 2012b: «Warum sich Hagelstürme häufen werden», Tages-Anzeiger, 04.06.2012, Zürich.
- TA 2012c: «Giftige Algen im Zürichsee profitieren vom Klimawandel», Tages-Anzeiger, 17.07.2012, Zürich.
- UBA 2012: Kosten und Nutzen von Anpassungsmassnahmen an den Klimawandel – Analyse von 28 Anpassungsoptionen in Deutschland, Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau.
- Umweltbundesamt Österreich 2012: Klimawandel in Österreich, Vulnerabilitätsabschätzung. URL: <http://www.klimawandelanpassung.at/klimawandel-in-oesterreich/vulnerabilitaetsabschaetzung/> [Stand: 19.7.2012]
- UNFCCC 2011: Assessing the Costs and Benefits of Adaptation Options – An Overview of Approaches, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn.
- WSL 2006: Die Wälder der Stadt Zürich als Erholungsraum. K. Bernath et. al., Birmensdorf.
- ZSG 2013: Zürichsee Schifffahrtsgesellschaft (ZSG), Gespräch mit Frau Conny Hürlimann, 21. Februar 2013.
- Zürcher Unterländer 2012: «Dielsdorf hat Hochwassergefahr gebannt» URL: http://www.zuonline.ch/artikel_77398.html [Stand: 26.02.2013]