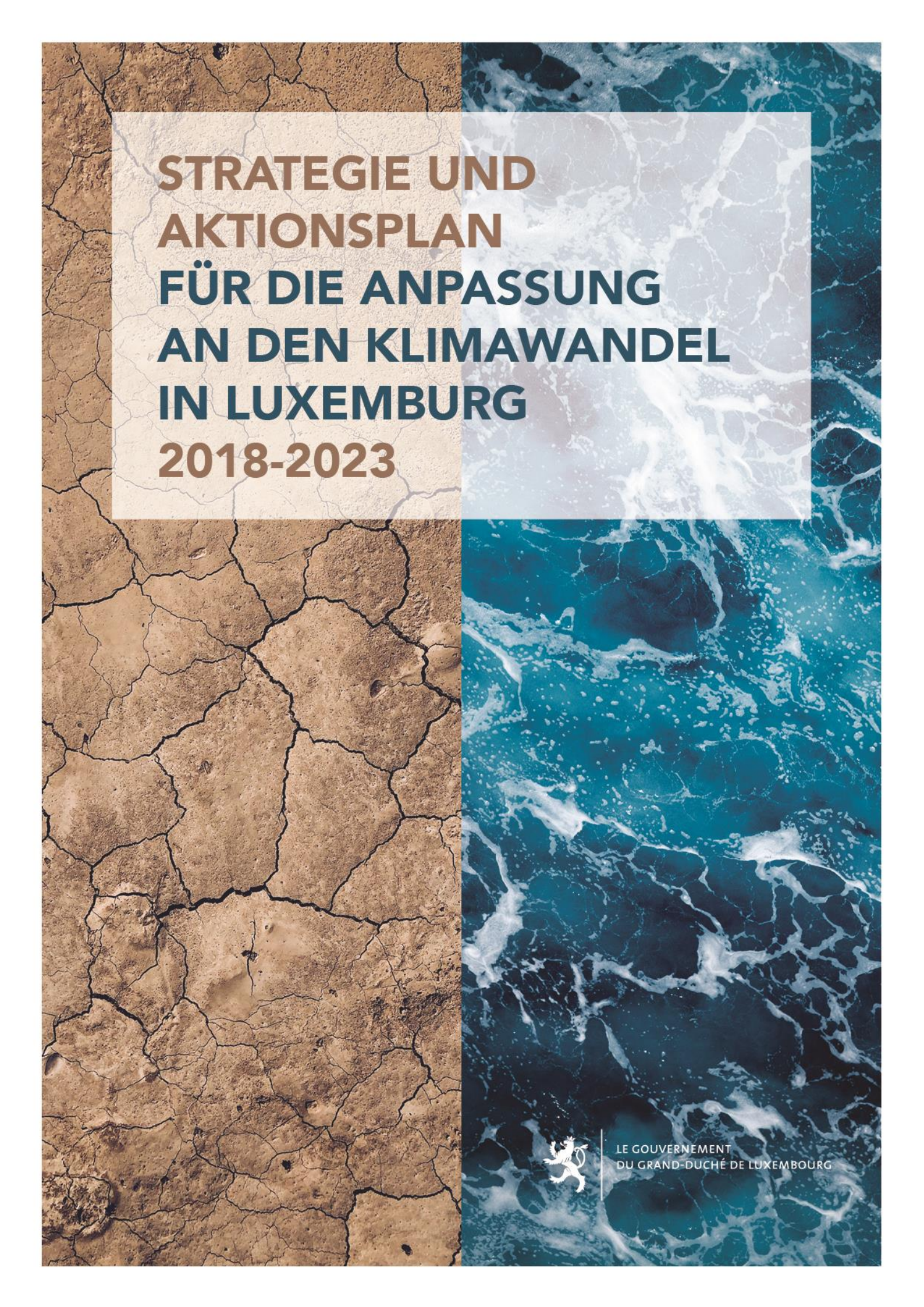




STRATEGIE UND AKTIONSPLAN FÜR DIE ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL IN LUXEMBURG 2018-2023



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Environnement, du Climat
et du Développement durable

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG.....	5
1. EINLEITUNG.....	9
1.1. Anpassung an den Klimawandel in der Europäischen Union	9
1.2. Anpassung an den Klimawandel in Luxemburg	10
2. DIE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DAS GROSßHERZOGTUM LUXEMBURG.	11
2.1. Klimaentwicklung historisch, zukünftig	11
2.2. Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Naturraum	26
3. METHODIK BEI DER ERSTELLUNG DER STRATEGIE	50
3.1. Literaturrecherche	50
3.2. Erstellung der 9-Felder-Klimafolgenmatrix.....	50
3.3. Erhebung von bestehenden Maßnahmen	51
3.4. Definition neuer Maßnahmen	51
4. KLIMAFOLGEN DER SEKTOREN, PRIORISIERUNG, ABGELEITETE HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	52
4.1. Bauen und Wohnen	52
4.2. Energie.....	54
4.3. Forstwirtschaft	55
4.4. Infrastruktur	58
4.5. Krisen- und Katastrophenmanagement.....	60
4.6. Landesplanung	62
4.7. Landwirtschaft inkl. pflanzlicher und tierischer Gesundheit	64
4.8. Menschliche Gesundheit.....	67
4.9. Ökosysteme und Biodiversität	70
4.10. Tourismus.....	72
4.11. Urbane Räume	74
4.12. Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft	76
4.13. Wirtschaft.....	78

5. BESTEHENDE UND ZUKÜNFTIGE MAßNAHMEN	80
5.1. Bauen und Wohnen	80
5.2. Energie.....	83
5.3. Forstwirtschaft	86
5.4. Infrastruktur	89
5.5. Krisen- und Katastrophenmanagement.....	92
5.6. Landesplanung	96
5.7. Landwirtschaft inkl. pflanzlicher und tierischer Gesundheit	99
5.8. Menschliche Gesundheit.....	105
5.9. Ökosysteme und Biodiversität	110
5.10. Tourismus.....	113
5.11. Urbane Räume	114
5.12. Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft	116
5.13. Wirtschaft.....	123
5.14. Sektorübergreifende Maßnahmen	126
6. SCHNITTSTELLEN ZWISCHEN DEN SEKTOREN BEI DER ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL.....	127
7. VERKNÜPFUNGEN ZU ANDEREN STRATEGIEN.....	137
7.1. Nationaler Plan für eine nachhaltige Entwicklung.....	137
7.2. Zweiter Nationaler Aktionsplan Klimaschutz	139
7.3. Maßnahmenprogramm Hochwassermanagement	140
7.4. Flussgebietsmanagementplan	142
7.5. Zweiter Nationaler Plan zum Schutz der Natur	143
8. UMSETZUNG UND WEITERENTWICKLUNG	144
9. GLOSSAR.....	145
10. TABELLENVERZEICHNIS	148
11. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	149
12. LITERATUR	151

ZUSAMMENFASSUNG

Der globale Klimawandel findet auch im Großherzogtum Luxemburg statt – seine Auswirkungen sind bereits deutlich mess- und spürbar. So betrug die mittlere Temperatur in Luxemburg im Zeitraum 1981 bis 2010 bereits 9,3 °C was um 1 °C wärmer ist als noch im Zeitraum 1961 bis 1990 (zum Vergleich: der globale Temperaturanstieg beträgt seit 1880 lediglich 0,85 °C). Sechzehn der insgesamt siebzehn wärmsten Jahre seit Beginn der systematischen Aufzeichnungen fallen in das 21. Jahrhundert. Klimaprojektionen für Luxemburg zeigen auch zukünftig einen weiteren Anstieg der Lufttemperaturen, vor allem verursacht durch einen Anstieg der Minimumtemperaturen in den Wintermonaten.

Bezüglich Niederschlag konnte im Referenzzeitraum 1961 bis 1990 durchschnittlich 875 mm Niederschlag gemessen werden; im Zeitraum von 1981 bis 2010 897 mm. Zukünftig ist laut Klimaprojektionen mit einer Abnahme der Niederschläge in den Sommermonaten, sowie einer Zunahme der Winterniederschläge zu rechnen. Dies in Verbindung mit höheren Lufttemperaturen in den Wintermonaten verringert die Wahrscheinlichkeit von Schneefällen und erhöht gleichzeitig die Hochwassergefährdung.

Um die negativen Folgen dieser klimatischen Veränderungen für die Bevölkerung, den Wirtschafts- und Naturraum zu begrenzen und sich bietende Chancen zu nutzen, hat das Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung die Erstellung einer Strategie zur Anpassung an den Klimawandel für das Großherzogtum in Auftrag gegeben.

In der vorliegenden Strategie wurden für die Sektoren

- Bauen und Wohnen
- Energie
- Forstwirtschaft
- Infrastruktur
- Krisen- und Katastrophenmanagement
- Landesplanung
- Landwirtschaft inkl. pflanzlicher und tierischer Gesundheit
- Menschliche Gesundheit
- Ökosysteme und Biodiversität
- Tourismus
- Urbane Räume
- Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
- Wirtschaft

Klimafolgen identifiziert und hinsichtlich ihrer Wichtigkeit für Luxemburg und dem Einfluss des Klimawandels (klein, mittel, groß) priorisiert. Die Bewertung der Klimafolgen basiert auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft und wurde in Kooperation mit dem Luxembourg Institute of

Science and Technology (LIST) durchgeführt. In *Tabelle 1* sind die wichtigsten Klimafolgen für Luxemburg Sektorweise aufgelistet.

Die Rahmenbedingungen, die zu dieser Priorisierung geführt haben, können sich zukünftig durch vertieftes Systemwissen, regionalisiertere Klimaprojektionen sowie eine verlängerte Beobachtungszeitreihe ändern. Daher ist eine regelmäßige Kontrolle der vorgenommenen Priorisierung erforderlich.

Tabelle 1: Prioritäre Klimafolgen für Luxemburg

Sektor	Klimafolge
Bauen und Wohnen	• Stärkere Auswirkungen von Extremereignissen • Höhere Sommertemperaturen (Gebäudeklima)
Energie	• Zunahme der Folgen von Extremereignissen • Veränderung des Strombedarfs • Höheres Biomasseaufkommen
Forstwirtschaft	• Zunahme heimischer Schadorganismen • Invasive Neobiota • Veränderung der (Baum-) Artenzusammensetzung • Beschleunigung von Umsetzungsprozessen (Böden)
Infrastruktur	• Störung der Infrastruktur durch Hitze • Verändertes Naturgefahrenpotenzial
Krisen- und Katastrophenmanagement	• Eintritt bisher nicht dimensionierter Ereignisse • Zunahme primärer und sekundärer Schäden durch Naturgefahren/stärkere Auswirkungen von Extremereignissen • Gefährdung der Trinkver- und Abwasserentsorgung
Landesplanung	• Verschärfung von Nutzungskonflikten um Flächen • Zunehmender Druck auf Freiräume • Veränderte Gefährdungsgebiete
Landwirtschaft inkl. pflanzlicher und tierischer Gesundheit	• Invasive Neobiota • Zunahme von Extremwetterereignissen/lokale Starkregenereignisse • Zunahme heimischer Schadorganismen • Verlängerung der Vegetationsperiode • Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit, -struktur und -stabilität, Bodenerosion
Menschliche Gesundheit	• Gefährdung der Wasserqualität • Zunahme allergener Organismen • Zunahme thermischer Stress • Zunahme Schadstoffbelastung (Ozon, Feinstaub)
Ökosysteme und Biodiversität	• Veränderung der Artenzusammensetzung • Veränderung der Phänologie/des Forpflanzungsverhaltens • Invasive Neobiota • Gefährdung von Feuchtlebensräume
Tourismus	• Zunahme Extremwetterereignisse
Urbane Räume	• Vermehrtes Auftreten von Hitzewellen • Zunahme von Extremwetterereignissen
Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft	• Sicherstellung der Trinkwasserversorgung (inkl. Beachtung von Aspekten des Pflanzenschutzes) • Zunahme von lokalen Starkniederschlägen/Extremereignisse und Schäden durch Hochwasser

	• Zunahme von Trockenperioden • Zunahme der Wassertemperaturen • Sicherstellung der Wasserentsorgung
Wirtschaft	• Reduktion von Arbeits- bzw. Leistungsfähigkeit durch thermischen Stress • Zunahme Extremereignisse (Versicherungssektor) • Vermehrtes Auftreten von Hitzewellen (Data Center) • Stranded Assets der fossilen Energie

Ausgehend von den in *Tabelle 1* aufgelisteten Klimafolgen wurden für jeden Sektor entsprechende Maßnahmen entwickelt. Eine Liste aller Maßnahmentitel ist in *Tabelle 2* aufgeführt.

Tabelle 2: Liste von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

Sektor	Maßnahmen
Bauen und Wohnen	BW01: Anpassen der Baunormen an extremere klimatische Bedingungen und projizierte Veränderungen BW02: Ausarbeitung einer Anleitung „Klimasicheres Bauen“
Energie	E01: Überprüfung und Anpassung der vorhandenen Energieinfrastrukturen in Bezug auf die Vulnerabilität gegenüber Extremereignissen E02: Bewusstseinsbildende Maßnahmen zum Thema Energiesparen und Ausbau von dezentraler Solarenergie und andere ungenutzte Energiequellen E03: Ausbau von Biomassekraftwerken unter Berücksichtigung von Aspekten der Nachhaltigkeit
Forstwirtschaft	F01: Flächendeckende Waldbiotopkartierung und Erstellung eines Maßnahmenkatalogs zur zukunftsfähigen Waldbewirtschaftung in einem sich ändernden Klima F02: Umbau von Monokulturen zu Mischwäldern F03: Erhaltung, Verbesserung bzw. Wiederherstellung der Funktionen des Waldbodens, insbesondere als Wasser- und Kohlenstoffspeicher sowie als Nährstofflieferant
Infrastruktur	I01: Identifizierung von kritischen Infrastrukturen und Initiierung von Maßnahmen zur Reduktion der Vulnerabilität I02: Integration von Klimawandel in die Konzeption neuer Infrastrukturen
Krisen- und Katastrophenmanagement	K01: Anpassen der Blaulichtorganisationen und Einsatzleitungen an sich verändernde klimatische Verhältnisse K02: Kontinuierliches Monitoring von Naturgefahrenprozessen und Ereignissen sowie Weiterentwicklung und Verbesserung der Methoden und Technologien zur Erkennung neuer Naturgefahrenprozesse K03: Integration von Klimawandel in die Konzeption von Regen-, Abwasser- und Trinkwassersysteme K04: Initiierung von robusten und anpassbaren Schutzmaßnahmen
Landesplanung	LP01: Climate proofing der Landesplanung: Integrierte Planung und verstärkte Abstimmung der nationalen, kommunalen und sektoralen Planungen unter Berücksichtigung des Klimawandels LP02: Erstellung von Gefahrenzonenplänen und Ausarbeitung von Vulnerabilitätskarten LP03: Förderung und Beratung für klimaeffizientes Planen und Bauen
Landwirtschaft inkl. pflanzlicher und tierischer Gesundheit	L01: Ausbau des Monitorings von invasiven Neobiota und Erarbeitung von Richtlinien zu deren Beseitigung bzw. präventiven Aktivitäten; optimales Zusammenarbeiten der betroffenen Verwaltungen

	L02: Intensivierung von Forschungsaktivitäten im Hinblick auf Extremwetterereignissen sowie Identifizierung der Implikationen für die verschiedenen Bereiche der Landwirtschaft L03: Etablierung von Szenarien zum Auftreten von Schadorganismen als Basis für die Planung von Pflanzen- und Tierschutzmaßnahmen sowie die Erforschung von Alternativen zur Reduktion von Schädlingsdruck und Entwicklung neuer Bekämpfungsstrategien (integrierte Schadorganismen-Regulierung) L04: Testen von Optionen zum Ausbau der Fruchtfolge bzw. der Sortenwahl im Hinblick auf eine längere Vegetationsperiode L05: Förderung von Bodenschutzmaßnahmen L06: Klimaresiliente Tierhaltung und -zucht
Menschliche Gesundheit	MG01: Installation eines Trinkwasser-Monitoring- und Warnsystems, sowie Ausarbeitung eines Maßnahmenkatalogs zum Schutz des Trinkwassers vor den Folgen des Klimawandels MG02: Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber allergenen Stoffen/pollenassoziierten Allergenen MG03: Management von lang andauernden Hitzewellen im Gesundheits-, Pflege- und Sozialwesen MG04: Vorhersage und Management erhöhter Ozon- und Feinstaubbelastung
Ökosysteme und Biodiversität	ÖB01: Gezielte Fördermaßnahmen für gefährdete Arten, insbesondere in den Teilarealen, welche auch in Zukunft klimatisch für eine Art geeignet sein könnten ÖB02: Berücksichtigung des Klimawandels in Naturschutzkonzepten und Managementplänen ÖB03: Monitoring, Kontrolle und Beseitigung von invasiven Neobiota
Tourismus	T01: Information von Touristen über Extremwetterereignisse
Urbane Räume	UR01: Ausarbeitung eines integrativen städteplanerischen Gesamtkonzeptes für städtebauliche Maßnahmen zur Reduktion von Hitzewellen UR02: Überprüfung der städtischen Infrastruktur im Hinblick auf die Zunahme von Extremwetterereignissen sowie die Ausarbeitung von Konzepten zur baulichen Anpassung
Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft	WW01: Berücksichtigung von Starkregenereignissen im zweiten Hochwasserisikomanagementplan WW02: Maßnahmen zur Senkung der Wassertemperatur WW03: Schutz der bestehenden und zukünftigen Trinkwasserressourcen WW04: Angepasste Abwasserbehandlung und effektive Nutzung des Abwassers
Wirtschaft	W01: Bauliche Maßnahmen zur Reduktion der thermischen Belastung in Betriebsgebäuden (Neubau/Sanierung) W02: Anpassung des Versicherungswesens W03: Erstellung einer Risikoanalyse hinsichtlich des Auftretens und der Auswirkungen von Extremereignissen auf das Data Center sowie die Erstellung eines Maßnahmenplans W04: Ökonomische Risikoanalyse der Auswirkungen durch den Klimawandel evaluieren

1. EINLEITUNG

Im Rahmen der 21. UN-Klimakonferenzen in Paris (COP21) einigten sich die Vertragspartner erstmals seit dem Abkommen von Kyoto auf gemeinsame, konkrete Klimaziele. So wurde in der Pariser Klimaschutzvereinbarung als generelles Ziel festgelegt, dass die Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C begrenzt wird, bzw. Anstrengungen unternommen werden, diese auf 1,5 °C zu beschränken (Art. 2.1a, UNFCCC, 2015). Langfristig sollen die globalen Treibhausgasemissionen sobald als möglich ihren Höchststand erreichen („peaking“) und danach rasch abnehmen, um in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ein Gleichgewicht zwischen Treibhausgasemissionen und Kohlenstoffbindung (z.B. in Wäldern) zu erreichen, was einer Netto-Nullemission nach 2050 entspricht (Art. 4.1, UNFCCC, 2015). Verknüpft mit dem Temperaturziel wurde im Pariser Abkommen die Thematik der Anpassung an den Klimawandel festgehalten, die zu einer Verbesserung der Anpassungsfähigkeit, sowie zu einer Stärkung der Widerstandskraft, bzw. zu einer Verringerung der Anfälligkeit führen soll. Artikel 7 (UNFCCC, 2015) verpflichtet Staaten, einen Anpassungsprozess zu starten, sowie Berichte zu legen und diese in regelmäßigen Abständen zu aktualisieren.

Aufbauend auf dem Pariser Abkommen wurde bei der COP22 in Marrakesch die Erstellung eines Regelbuches für das COP21 Abkommen bis 2018 vereinbart, welches im Rahmen der COP24 in Katowice angenommen werden soll. In diesem Regelbuch wird das Pariser Abkommen bestätigt, die Umsetzung konkret ausgestaltet sowie deren Dringlichkeit unterstrichen.

1.1. Anpassung an den Klimawandel in der Europäischen Union

Am 16. April 2013 stellte die Europäische Kommission die EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel vor (EC, 2013). Diese Strategie legt ihren Fokus auf drei Ziele:

- die Förderung von Anpassungsaktivitäten in den EU-Mitgliedsstaaten,
- die Integration von Klimawandelaspekten in SchlüsselSektoren auf EU-Ebene, sowie
- die fundierte und bessere Entscheidungsfindung bei der Umsetzung von Maßnahmen.

Hinsichtlich der Implementierung des zweiten Punktes hat die Europäische Kommission mit ihrer Anpassungsstrategie eine Anzahl von Leitfäden und Aktionsprogrammen veröffentlicht¹, die den Mitgliedstaaten bei der Berücksichtigung von Anpassungsmaßnahmen in ihrer

¹ siehe dazu: http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/documentation_en.htm

Planung helfen sollen. Derzeit wird die EU-Strategie evaluiert und Relevanz, Wirksamkeit, Effizienz, Kohärenz sowie deren EU-Mehrwert überprüft.

Derzeit haben 20 Mitgliedstaaten eine Anpassungsstrategie. Wie die Analyse der bestehenden Anpassungsstrategien zeigt, gibt es große Unterschiede bei deren Ausgestaltung (McCallum et al., 2013). Nicht alle Länder, die eine Strategie entwickelt haben, verfügen auch über die notwendigen Aktionsprogramme bzw. haben solche verabschiedet.

1.2. Anpassung an den Klimawandel in Luxemburg

Das Großherzogtum Luxemburg, das mit einer jährlichen Treibhausgasemission von 19,6 t CO₂-Äquivalent pro Einwohner (EEA, 2014) als größter Emitent der EU gilt, stellt sich bereits seit dem Jahr 2006 der globalen Herausforderung des Klimaschutzes. Daraus resultieren zwei *Aktionspläne Klimaschutz* aus den Jahren 2006 und 2013 (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2006 & 2013). Ein dritter *Aktionsplan Klimaschutz* ist gerade in Ausarbeitung.

Bereits vor der Fertigstellung des 2. *Nationalen Aktionsplans Klimaschutz* wurden im Bereich der Anpassung an den Klimawandel zwei Dokumente für Luxemburg erstellt:

- a) Die „Stratégie nationale d’adaptation au changement climatique“ (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2011a). Sie behandelt die Bereiche Biodiversität, Wasser, Forstwirtschaft und Landwirtschaft, sowie
- b) der Bericht „Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung“ (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012). Er ist ein Ergebnis des Interreg IVB NWE Projektes „C-Change“, das sich vor allem mit den Aspekten der Betroffenheit von Räumen im Hinblick auf die Auswirkungen des Klimawandels beschäftigt.

Mit der vorliegenden *Strategie und Aktionsplan für die Anpassung an den Klimawandel in Luxemburg*, die auf beiden oben erwähnten Strategien aufbaut, diese zusammenführt und aktualisiert, stellt sich das Land der Herausforderung des Klimawandels auf nationaler Ebene und bereitet sich auf die zu erwartenden klimatischen Veränderungen (vgl. Kapitel 2) vor. Die Strategie ermöglicht ein überlegtes und vorausschauendes Vorgehen zum Schutz vor den negativen Auswirkungen des Klimawandels.

In der *Strategie und Aktionsplan für die Anpassung an den Klimawandel in Luxemburg* werden die Veränderungen von Temperatur, Niederschlag und Extremereignissen sowie die dadurch zu erwartenden Auswirkungen auf das Großherzogtum – untergliedert nach Bio-, Pedo- und Hydrosphäre – dargestellt (vgl. Kapitel 2.1 und 2.2). Für die 13 wichtigsten Sektoren des Großherzogtums werden zu erwartende Klimafolgen identifiziert, die aufgrund der mit ihnen einhergehenden Risiken in den nächsten Jahrzehnten eine Rolle spielen können (vgl. Kapitel 4). Für die 41 identifizierten prioritären Klimafolgen sollen Maßnahmen gesetzt werden.

Bei der Zusammenstellung des Maßnahmenkatalogs (Kapitel 5) wird einerseits auf bestehende Maßnahmen zurückgegriffen, die die Erreichung von Zielen der Anpassung an den Klimawandel unterstützen. Andererseits werden für die prioritären Klimafolgen 42 neue Maßnahmen abgeleitet und den Sektoren zugeordnet. Die Maßnahmen werden in übersichtlicher Form mit Fokus auf relevante Informationen für Umsetzung und Implementierung dargestellt.

Die Identifizierung von speziell für das Großherzogtum Luxemburg relevanten und erwarteten Klimafolgen basiert auf einer umfassenden Literaturrecherche sowie in Abstimmung mit Experten des LIST (Dr. Jürgen Junk) sowie der verschiedenen Ministerien.

2. DIE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DAS GROSßHERZOGTUM LUXEMBURG

2.1. Klimaentwicklung historisch, zukünftig

2.1.1. Die historische Entwicklung des Klimas im Großraum Luxemburg

Die Beschreibung des Klimas von Luxemburg basiert auf den Messwerten der einzigen offiziellen *World Meteorological Organization* (WMO)-Messstation des Landes, welche aktuell Daten an die WMO liefert. Die Station Findel/Airport (WMO ID = 06590) befindet sich im Zentrum von Luxemburg (49° 37' 33.9" N / 6° 12' 12.5" E) auf einer Höhe von 376 m über NN. Sie wird von *MeteoLux – Klima, Abteilung der Administration de la navigation aérienne du Luxembourg* betrieben. Die Station erfasst alle relevanten meteorologischen Größen wie Lufttemperatur, relative Feuchte, Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Windrichtung sowie verschiedene Strahlungsgrößen. Geschlossene Datenreihen stehen für die meisten der gemessenen Parameter seit 1947 zur Verfügung. Zur Beschreibung der historischen Klimaentwicklung des Großherzogtums werden die Messungen von Lufttemperatur und Niederschlag im Zeitraum Januar 1947 bis Dezember 2016 herangezogen.

Damit es möglich ist eine geografische Verteilung der beobachteten Änderungen widerzugeben wurden zusätzlich auch Teile der langjährigen Messreihen von vier Stationen, welche von der meteorologischen Abteilung der *Administration des services techniques de l'agriculture* (ASTA) betrieben werden, ausgewertet. Die Station Asselborn befindet sich im Norden des Landes (50° 5' 49"N / 5° 58' 11"E) auf einer Höhe von 479 m über NN. Die Station Clemency liegt im Südwesten des Landes (49° 35' 56"N / 5° 52' 30"E) auf einer Höhe von 334 m über NN. Die beiden Stationen Grevenmacher (49° 40' 51"N / 6° 26' 7"E) und Remich (49°

32° 43' N / 6° 21' 18" E) liegen im Moseltal, im östlichen Teil des Landes auf einer Höhe von respektive 190 m und 207 m über NN.

Die ausgewerteten Temperaturzeitreihen der Stationen starten im Januar 1976 in Asselborn und im Januar 1979 an den drei anderen Stationen. Die ausgewerteten Niederschlagszeitreihen, starten im Januar 1977 in Asselborn und im Januar 1951 an den drei anderen Stationen.

2.1.1.1. Temperatur

Die Jahresmitteltemperaturen für den Zeitraum 1947 bis 2016 für die Station Findel sind in *Abbildung 1* dargestellt. Das langjährige Mittel für die Referenzperiode 1961 bis 1990 beträgt 8,3 °C (Referenzperiode 1981 bis 2010 9,3 °C). Das geringste Jahresmittel wurde 1956 mit 7,1 °C, das höchste Mittel mit 10,8 °C im Jahr 2014 registriert. Ab ca. 1990 ist ein deutlicher Anstieg der Jahresmitteltemperaturen zu verzeichnen. Dies zeigt sich auch im Anstieg des langjährigen Mittels von 8,3 °C während der Referenzperiode 1961 bis 1990, auf 9,3 °C für die Referenzperiode 1981 bis 2010. Der Unterschied zwischen den 30-jährigen Zeitreihen der beiden Referenzperioden ist statistisch signifikant ($P = < 0,001$).

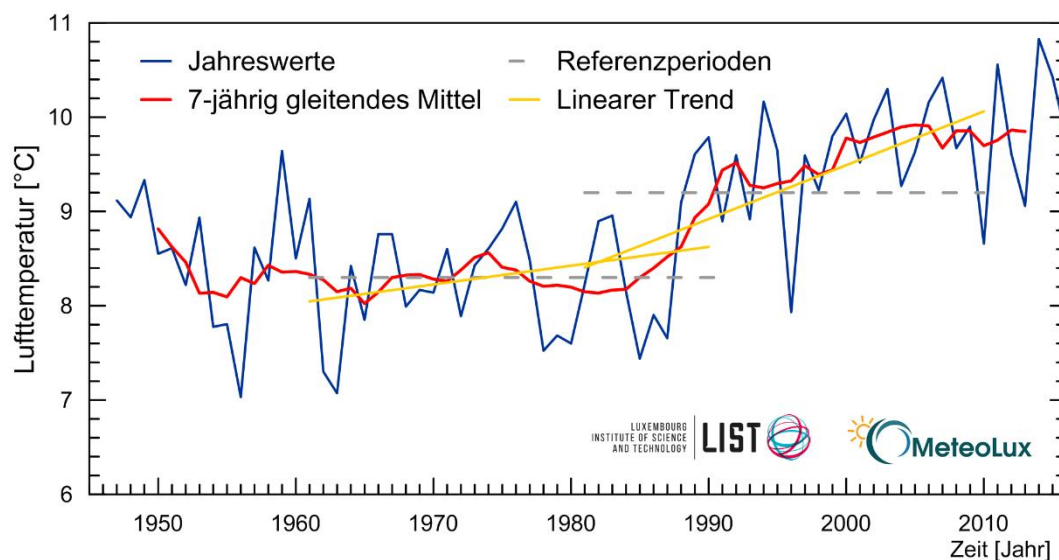


Abbildung 1: Jahresmittelwerte der Lufttemperatur für die Station Findel (blaue Linie), 7-jährig gleitendes Mittel (rote Linie) sowie für die beiden Referenzperioden 1961 bis 1990 (8,3 °C) und 1981 bis 2010 (9,3 °C); Auswertezeitraum 01/1947 bis 12/2016. Quelle: nicht publiziert, Rohdaten MeteoLux

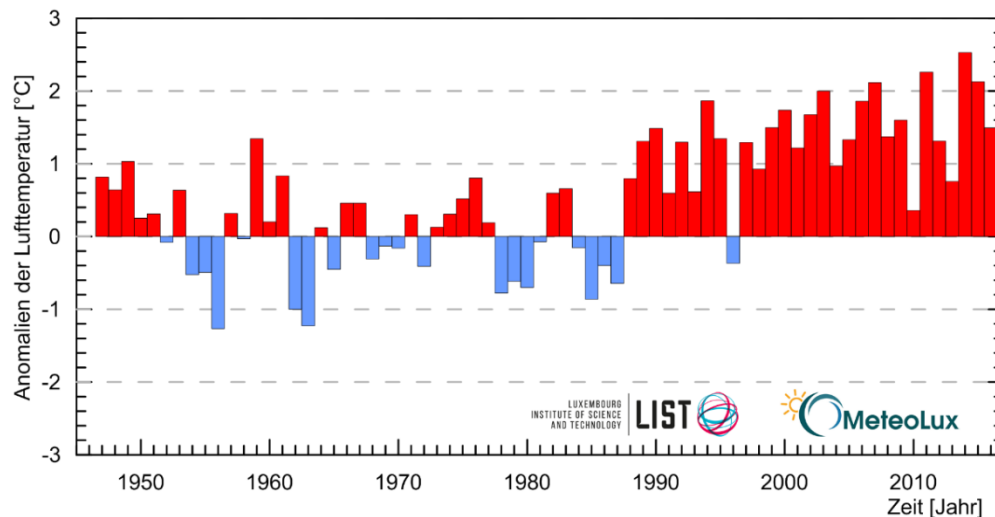


Abbildung 2: Jährliche Anomalien der Lufttemperatur für die Station Findel in der Referenzperiode 1961 bis 1990 (8,3 °C); Auswertezeitraum 01/1947 bis 12/2016. Quelle: nicht publiziert, Rohdaten MeteoLux

Der deutliche Anstieg der Lufttemperatur ab 1990 zeigt sich auch in den Anomalien der Lufttemperatur (Abbildung 2). Seit 1988 sind alle Anomalien der Lufttemperatur – bis auf das Jahr 1996 – positiv.

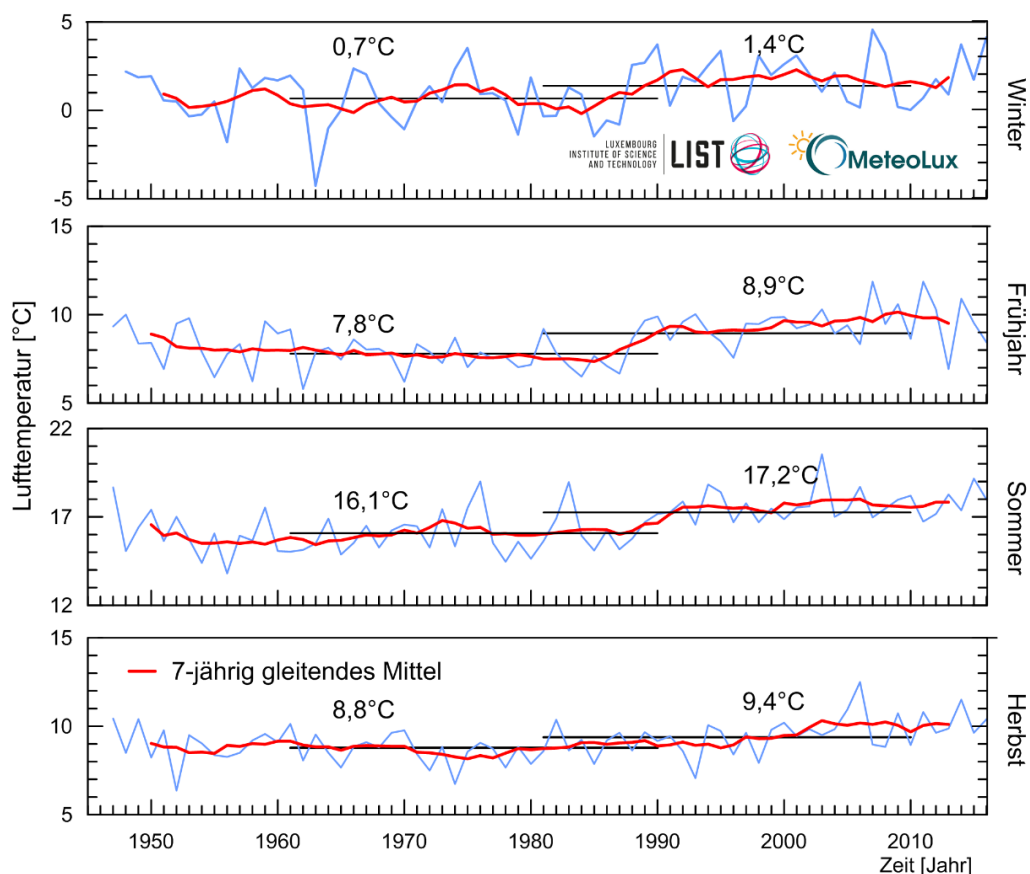


Abbildung 3: Mittelwerte der Lufttemperatur für die meteorologischen Jahreszeiten (Winter = Dezember bis Februar, Frühjahr = März bis Mai, Sommer = Juni bis August, Herbst = September bis November) für die Station Findel (blaue Linien), 7-jährig gleitendes Mittel (rote Linien) sowie Mittelwerte (schwarze Linien) der beiden Referenzperioden 1961 bis 1990 und 1981 bis 2010; Auswertezeitraum 01/1947 bis 12/2016. Quelle: nicht publiziert, Rohdaten MeteoLux

Die mittleren Temperaturen der meteorologischen Jahreszeiten sind in *Abbildung 3* dargestellt. In allen vier meteorologischen Jahreszeiten liegt die mittlere Lufttemperatur der zweiten Referenzperiode (1981 bis 2010) deutlich über derjenigen der ersten Referenzperiode. Betrachtet man die Entwicklung der Lufttemperatur innerhalb der Referenzperioden mittels linearer Trendanalysen, so zeigt sich generell eine Zunahme der Lufttemperatur innerhalb der 30-jährigen Zeitabschnitte.

Tabelle 3 fasst die Ergebnisse der linearen Trendanalysen zusammen. Angegeben sind Trendwerte pro Dekade für die verschiedenen Jahreszeiten, sowie für die Jahreswerte. Alle Trendwerte sind positiv, jedoch sind nur die Werte des Frühjahrs und des Sommers, sowie die Jahreswerte der zweiten Referenzperiode statistisch signifikant.

Tabelle 3: Lineare Trendanalyse der saisonalen und jährlichen Lufttemperaturen für die beiden Referenzperioden. Trendwert pro Dekade. Statistisch signifikante Werte (Mann Kendall Test) sind rot markiert

	Lufttemperatur [°C]	
	1961 bis 1990	1981 bis 2010
Winter (DJF)	+0,37	+0,52
Frühjahr (MAM)	+0,13	+0,78
Sommer (JJA)	+0,23	+0,63
Herbst (SON)	+0,07	+0,40
Jahr	+0,20	+0,55

Die vier Stationen der meteorologischen Abteilung der ASTA in *Abbildung 4* zeigen die geographische Variabilität der Temperatur. Die beiden Stationen im Mosel Tal (Remich und Grevenmacher) haben mit respektive 10,2 °C und 10,0 °C die höchsten Temperaturen für den Mittelwert der Referenzperiode 1981-2010. Asselborn, im Norden des Landes, mit 8,3 °C den geringsten Wert. Clemency im Süd-Westen hat mit 9,1 °C einen Wert der vergleichbar mit dem der Station am Findel ist. Der lineare Trend zu höheren Temperaturen an den vier Stationen über den ausgewerteten Zeitraum ist vergleichbar mit dem linearen Trend für den gleichen Zeitraum an der Station Findel.

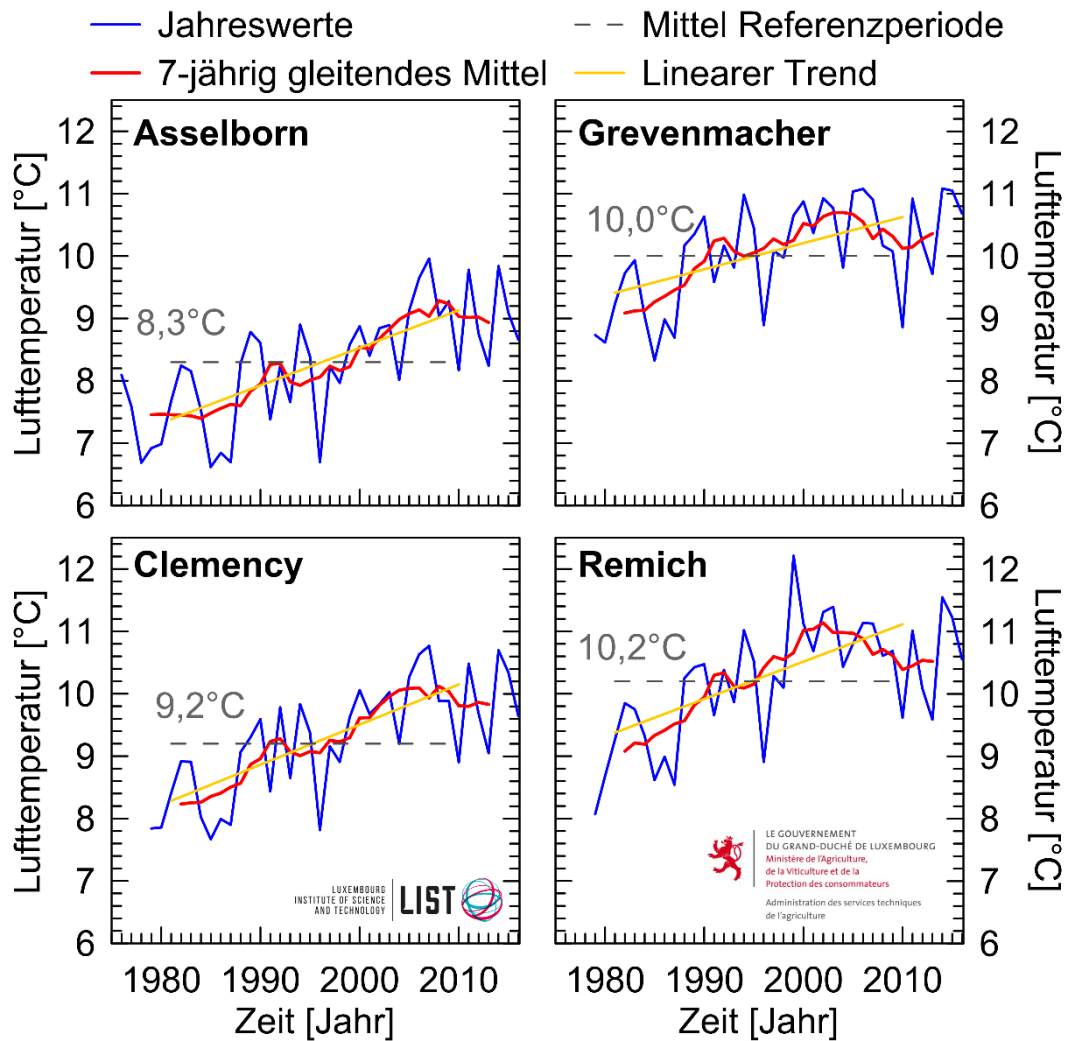


Abbildung 4: Jahresmittelwerte der Lufttemperatur für die ASTA Stationen Asselborn, Grevenmacher, Clemency und Remich (blaue Linie), 7-jährig gleitendes Mittel (rote Linie) sowie die Mittelwerte der Referenzperiode 1981 bis 2010; Quelle: Rohdaten ASTA

2.1.1.2. Niederschlag

Die jährlichen Niederschlagssummen für die Station Findel sind in *Abbildung 5* dargestellt. Im Gegensatz zur Lufttemperatur unterscheiden sich die Mittelwerte für die beiden Referenzperioden mit 875 mm (1961 bis 1990) und 897 mm (1981 bis 2010) nur geringfügig; der Unterschied ist statistisch nicht signifikant.

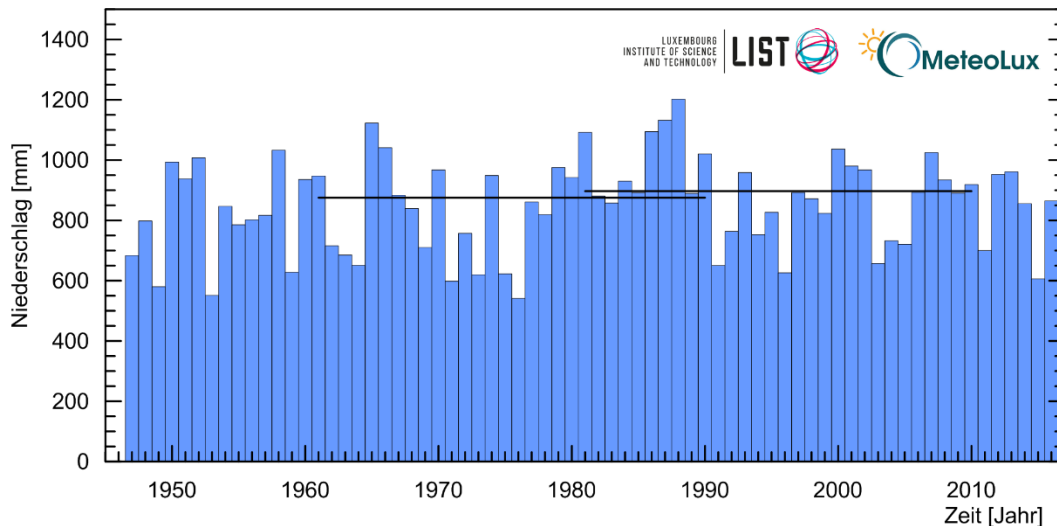


Abbildung 5: Jährliche Niederschlagssummen für die Station Findel, sowie mittlere jährliche Niederschlagssummen für die beiden Referenzperioden 1961 bis 1990 (875 mm) und 1981 bis 2010 (897 mm); Auswertzeitraum 01/1947 bis 12/2016. Quelle: nicht publiziert, Rohdaten MeteoLux

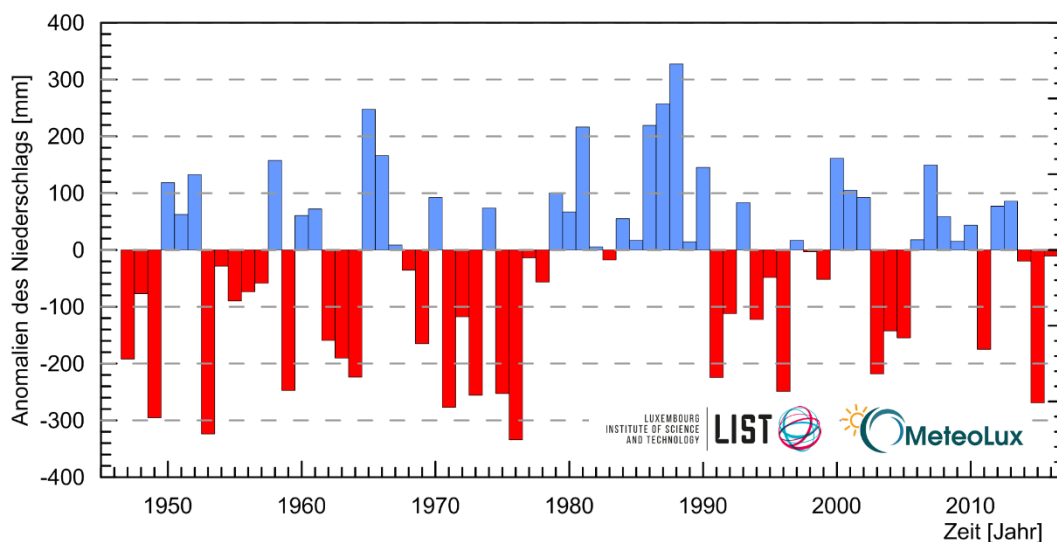


Abbildung 6: Jährliche Anomalien des Niederschlags für die Station Findel in der Referenzperiode 1961 bis 1990 (875 mm); Auswertzeitraum 01/1947 bis 12/2016. Quelle: nicht publiziert, Rohdaten MeteoLux

Diese Tatsache wird auch anhand der in *Abbildung 6* dargestellten Anomalien des Niederschlags bezüglich des langjährigen Mittels von 875 mm für die Referenzperiode 1961 bis 1990 deutlich.

Abbildung 7 illustriert die Änderungen der Niederschlagssummen in den meteorologischen Jahreszeiten. Die Unterschiede zwischen den beiden Referenzperioden sind gering und statistisch nicht signifikant. Analog zu den Auswertungen der Lufttemperatur wurden auch für den Niederschlag lineare Trendanalysen für die beiden 30-jährigen Referenzperioden durchgeführt. *Tabelle 4* zeigt, dass während der ersten Referenzperiode eine Zunahme der

Niederschlagssummen zu beobachten war, wobei jedoch nur der Trendwert für die Jahressummen statistisch signifikant ist. Die Abnahme während der zweiten Referenzperiode ist statistisch nicht signifikant.

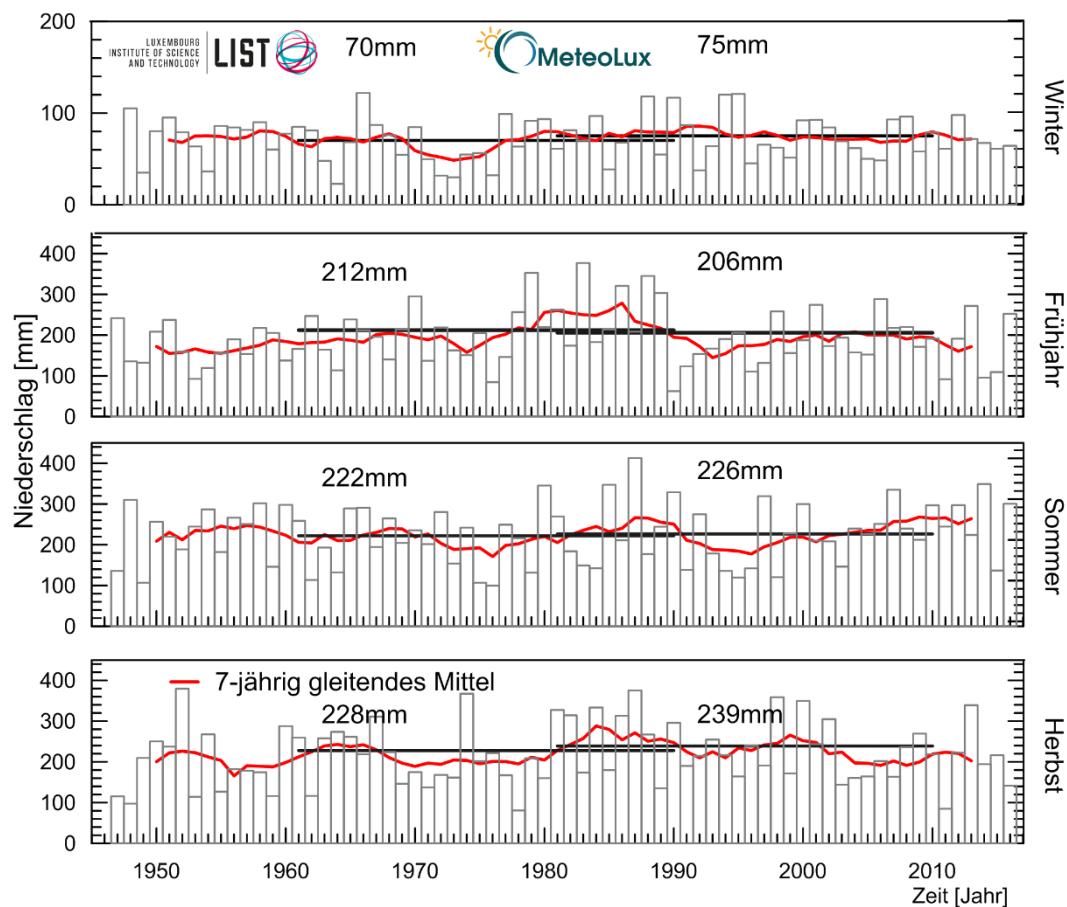


Abbildung 7: Mittelwerte des Niederschlags für die meteorologischen Jahreszeiten (Winter = Dezember bis Februar, Frühjahr = März bis Mai, Sommer = Juni bis August, Herbst = September bis November) für die Station Findel (graue Balken), 7-jährig gleitendes Mittel (rote Linien) sowie Mittelwerte (schwarze Linien) der beiden Referenzperioden 1961 bis 1990 und 1981 bis 2010; Auswertezeitraum 01/1947 bis 12/2016. Quelle: nicht publiziert, Rohdaten Meteolux

Die Auswertung der vorliegenden Niederschlagsdaten an den Stationen der meteorologischen Abteilung der ASTA in *Abbildung 8* zeigen die geographische Verteilung des Jahresniederschlags in Luxemburg. So findet man die höchsten jährlichen Niederschlagswerte entlang der westlichen Kante des Landes, in Asselborn und Clemency, und die niedrigsten im Moseltal, in Grevenmacher und Remich. Die höheren Werte der Station Findel erklären sich durch die Lage auf einem Plateau.

Die Zunahme der Werte zwischen der Referenzperioden 1961-1990 und 1981-2010 ist in Clemency am stärksten ausgeprägt, mit +47 mm. In Grevenmacher und Remich erhöhen sich die mittleren Jahresniederschläge um +30 mm respektive +28 mm.

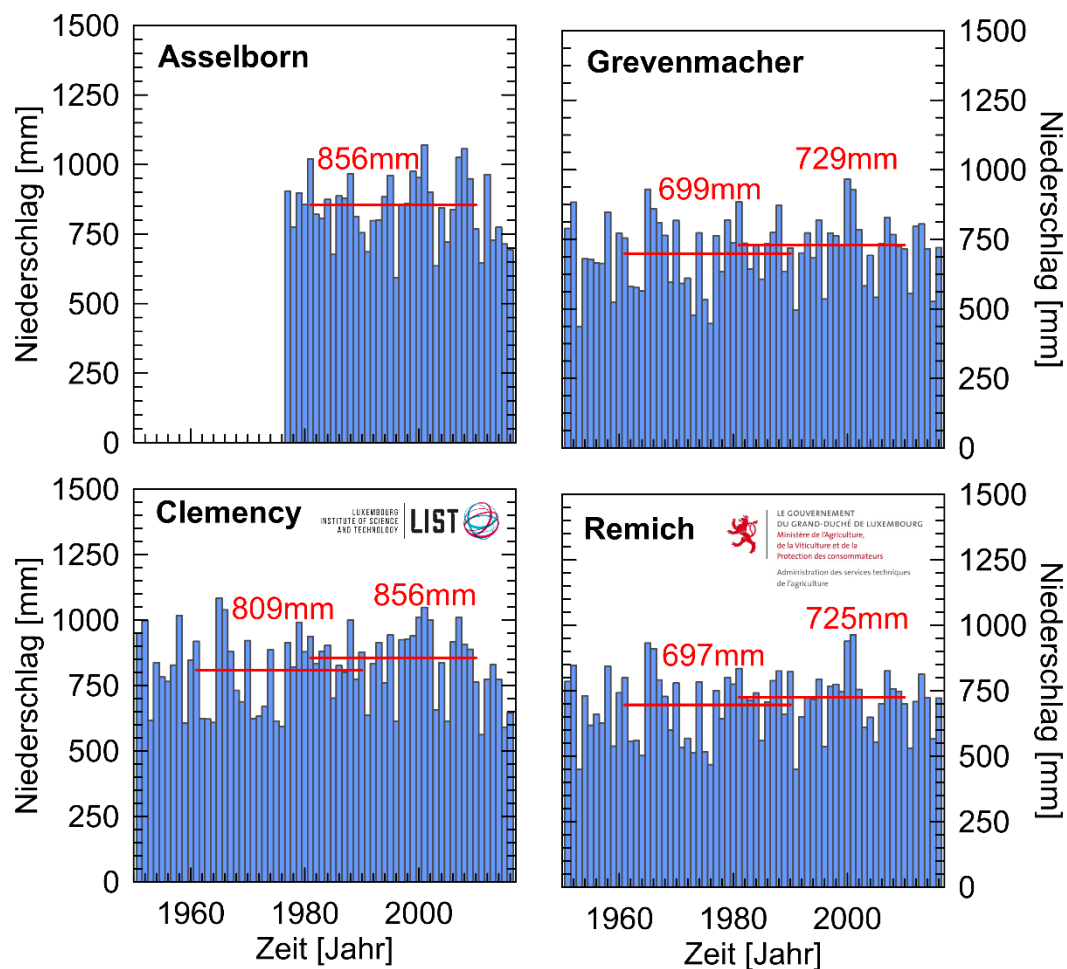


Abbildung 8: Jährliche Niederschlagssummen für die ASTA Stationen in blau, sowie Mittelwerte der Referenzperioden in rot.
Quelle: homogenisierte Daten, ASTA

Tabelle 4: Lineare Trendanalyse der saisonalen und jährlichen Niederschläge für die beiden Referenzperioden. Trendwert pro Dekade. Statistisch signifikante Werte (Mann Kendall Test) sind rot markiert

	Niederschlag [mm]	
	1961 bis 1990	1981 bis 2010
Winter (DJF)	+5,9	-1,3
Frühjahr (MAM)	+25,4	-19,2
Sommer (JJA)	+20,2	+6,1
Herbst (SON)	+16,6	-25,1
Jahr	+83,3	-42,1

2.1.1.3. Extremereignisse

Bezüglich extremer Wetterereignisse liegen für Luxemburg primär Untersuchungen zu Niederschlag und Lufttemperatur vor. *Abbildung 9* zeigt die jährliche Anzahl der Tage mit Starkniederschlägen für die Station Findel/Flughafen. Als Starkniederschlag ist der Tagesniederschlag definiert, der den Schwellenwert von 17,8 mm überschreitet. Das ist das 95. Perzentil (P95) der Niederschlagsverteilung während der Referenzperiode 1981 bis 2010.

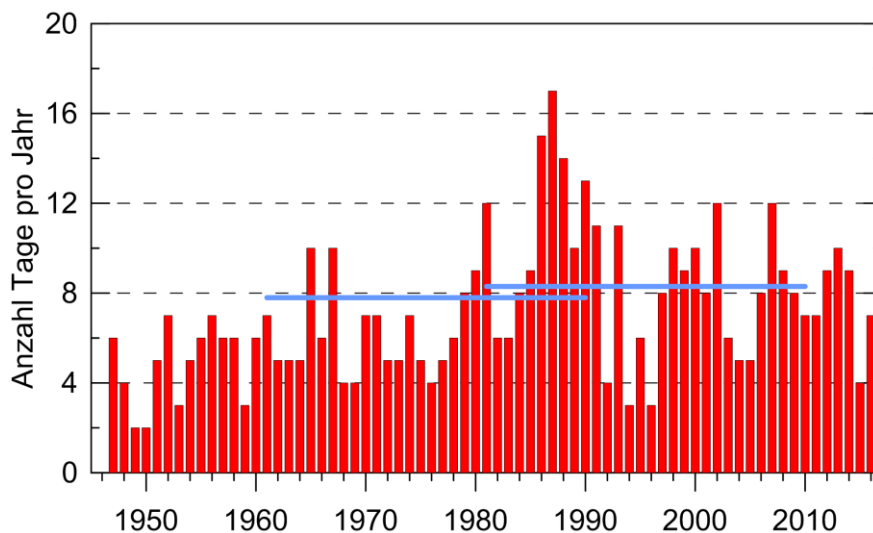


Abbildung 9: Anzahl der Tage pro Jahr mit Starkniederschlägen für die Station Findel; Zeitraum 1947 bis 2016. Schwellenwert abgeleitet aus der Referenzperiode 1981 bis 2010, P95 = 17,8 mm

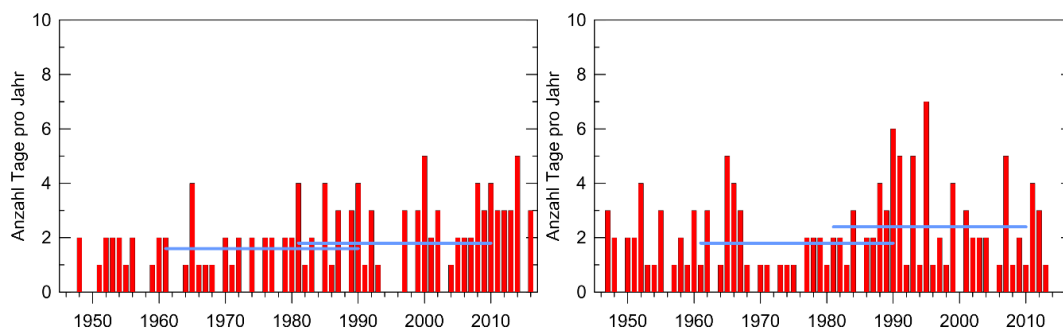


Abbildung 10: Anzahl der Tage pro Jahr mit Starkniederschlägen für die Station Findel für die meteorologischen Jahreszeiten Sommer (links) und Winter (rechts); Zeitraum 1947 bis 2016. Schwellenwert abgeleitet aus der Referenzperiode 1981 bis 2010, P95 Sommer = 21,8 mm und P95 Winter = 16,1 mm

Vergleicht man die Mittelwerte der Referenzperiode 1961 bis 1990 mit denen der Periode 1981 bis 2010, so ist nur eine geringfügige Zunahme der mittleren Ereignisanzahl von 7,8 auf 8,3 zu verzeichnen; dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant. *Abbildung 10* stellt die Ergebnisse für den meteorologischen Sommer (Juni bis August), sowie für den Winter (Dezember bis Februar) dar. Sowohl für die Sommer-, als auch die Wintermonate, ist eine

Zunahme der mittleren Anzahl der Tage mit Starkniederschlägen zwischen den zwei Referenzperioden zu beobachten. Der Anstieg fällt in den Wintermonaten etwas höher als in den Sommermonaten aus. Obwohl die Zunahme für beide Jahreszeiten deutlicher als für die Jahreswerte ist, sind auch diese Trends für die Station Findel statistisch noch nicht signifikant.

Zusätzlich zur Station Findel liegen auch für verschiedene Stationen der *Administration des services techniques de l'agriculture* (ASTA) lange Messreihen der Lufttemperatur und des Niederschlags vor. *Abbildung 11* zeigt die Entwicklung der Tage mit Starkniederschlägen an vier Stationen.

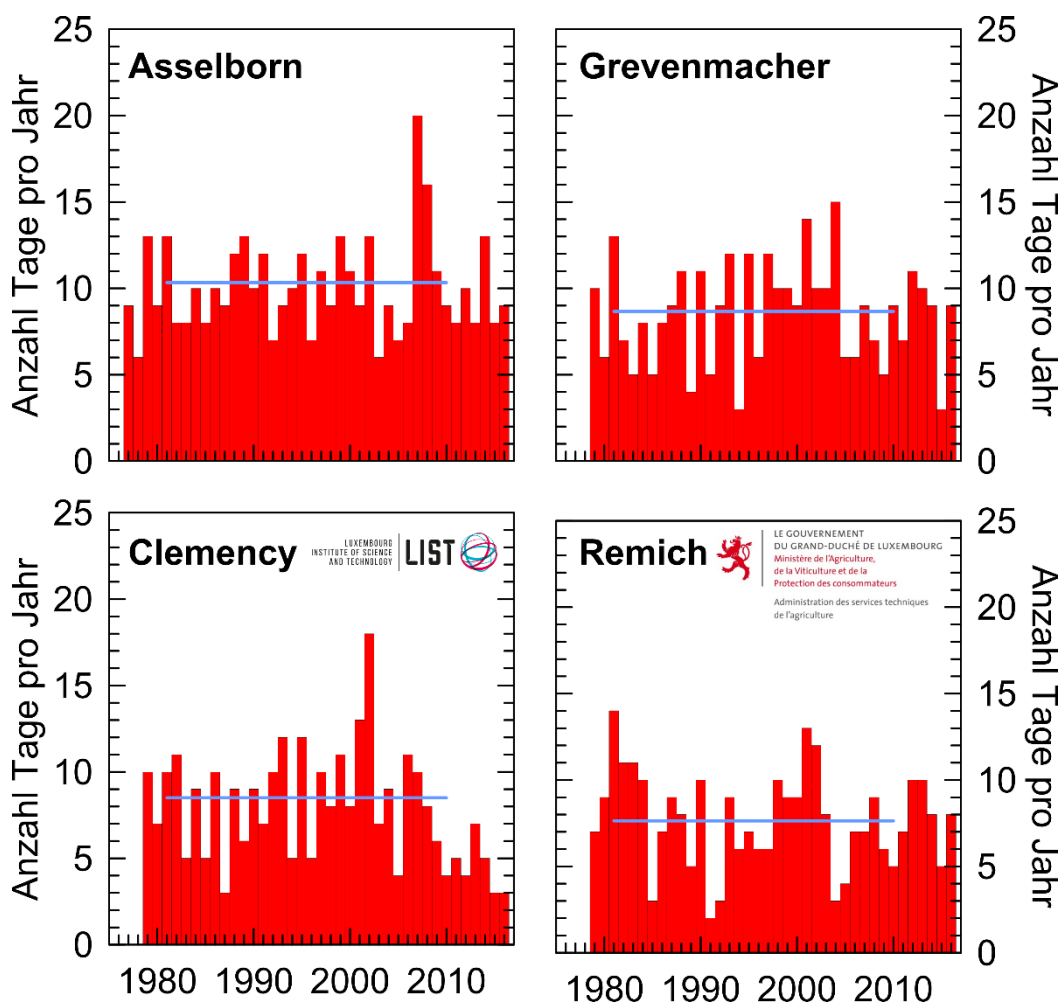


Abbildung 11: Anzahl der Tage pro Jahr mit Starkniederschlägen für verschieden ASTA Stationen; Schwellenwert abgeleitet aus der Referenzperiode 1981 bis 2010, Schwellenwerte für Tage mit Starkniederschlag: Asselborn = 14,6 mm, Grevenmacher = 15,7 mm, Clemency = 18,6 mm, Remich = 15,7 mm; Quelle: Rohdaten ASTA

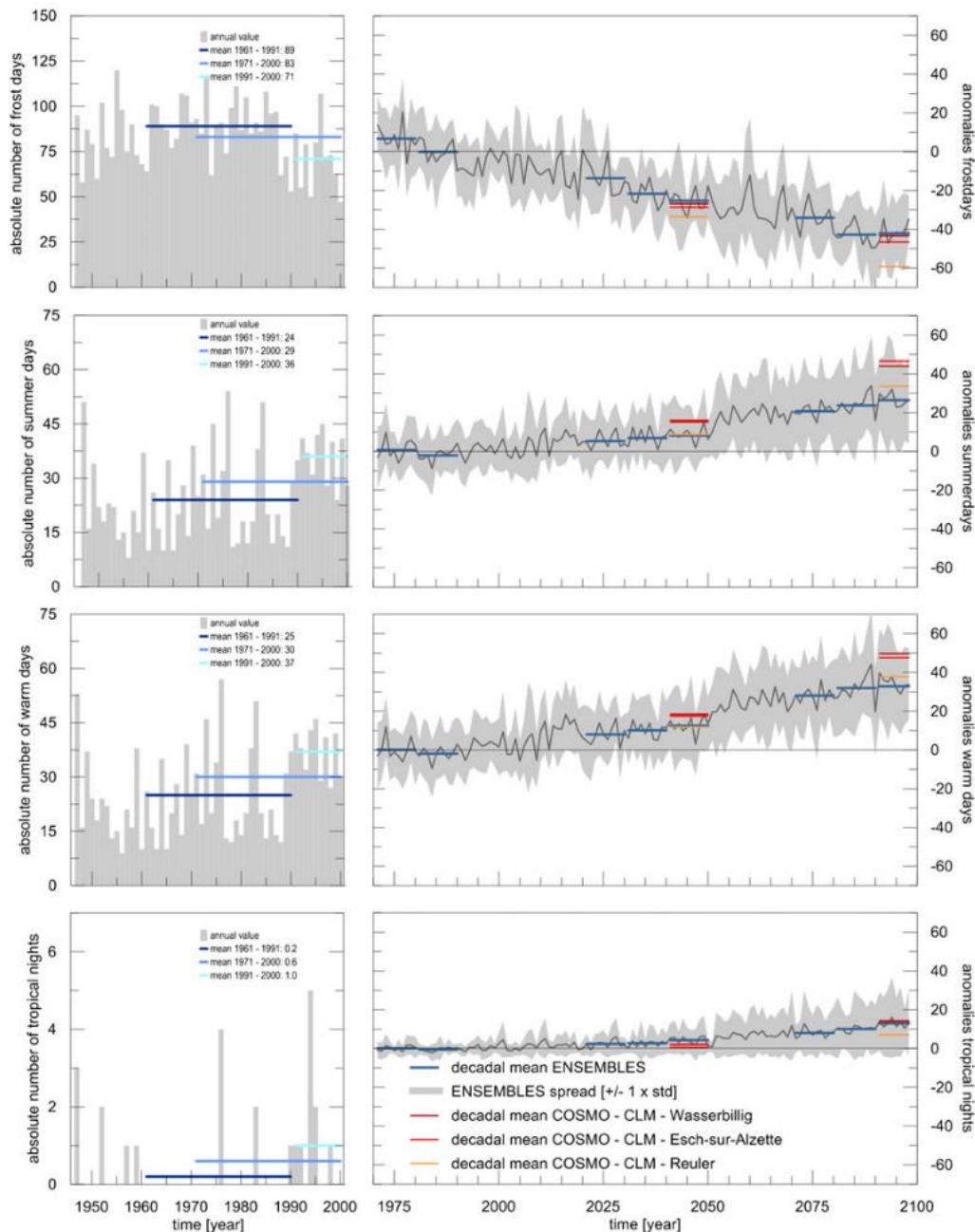


Abbildung 12: Absolute Anzahl von ausgewählten Ereignistagen basierend auf Messdaten der Station Findel (links: Zeitraum 1947 bis 2000) und basierend auf Klimaprojektionen mit dem COSMO-CLM Model. Quelle: Junk et al. 2013

In *Abbildung 12* ist die Entwicklung ausgewählter meteorologischer Ereignistage sowohl für die Vergangenheit (basierend auf Messwerten der Station Findel), als auch für die Zukunft (basierend auf hoch aufgelösten Klimaprojektionen mit dem COSMO-CLM Model) dargestellt (Junk et al. 2013). Die Anzahl der Frosttage (Tagesminimum der Lufttemperatur $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verringert. Im Gegensatz dazu hat sowohl die Anzahl der Sommertage (Tagesmaximum der Lufttemperatur $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$), der warmen Tage

(Tagesmaximum der Lufttemperatur $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) und die Anzahl der tropischen Nächte (Lufttemperatur in der Nacht $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) zugenommen.

2.1.2. Die projizierte Entwicklung des Klimas im Großraum Luxemburg in der Zukunft

Die für die folgenden Auswertungen genutzten Daten beruhen auf Klimaprojektionen mittels numerischer Modelle. Datengrundlage bilden die Ergebnisse regionaler Klimamodelle (RCM) aus dem EU FP6 Eensemble-Projekt. Die RCMs wurden mit verschiedenen globalen Klimamodellen (GCMs), in erster Linie HadCM3 und ECHAM5, unter Annahme des A1B Emissionsszenarios angetrieben (Multi-Model Ensemble). Die horizontale Auflösung der RCMs beträgt 25 km. Die Ergebnisfelder der RCMs wurden bias-korrigiert (Quantile-Mapping), um systematische Fehler zu reduzieren. Es liegen transiente Zeitreihen für Lufttemperatur und Niederschlag vor. Zusätzlich wird eine räumlich hoch aufgelöste Klimaprojektion (1,3 km), die ebenfalls auf dem A1B Emissionsszenario basiert und mit dem COSMO-CLM Modell gerechnet wurde, genutzt (Abbildung 13).

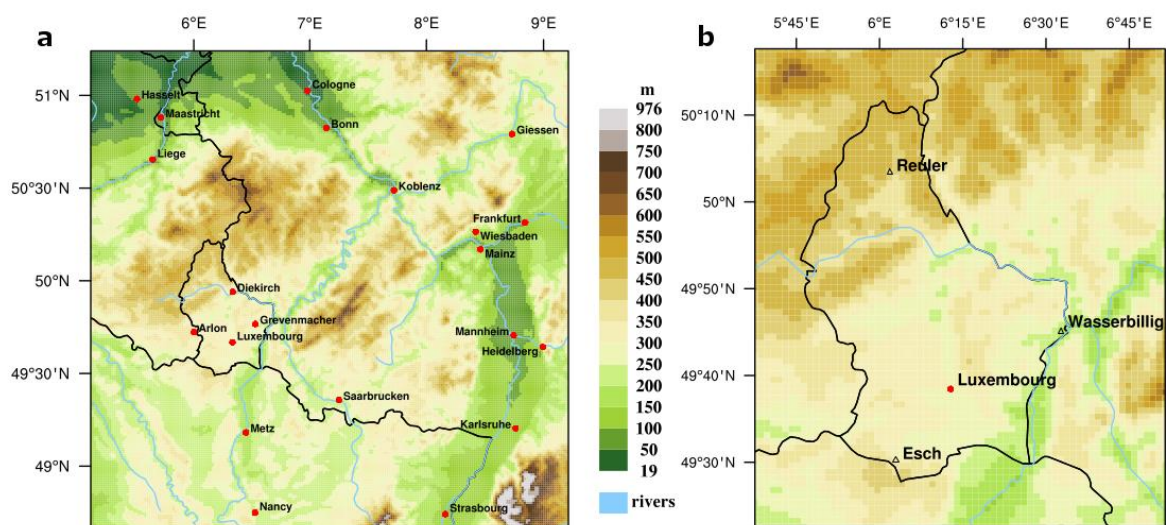


Abbildung 13: Verschiede Modelldomänen der hoch aufgelösten Modellierung mit dem COSMO-CLM Modell. Zieldomäne Luxemburg, 220 x 220 Gitterpunkte bei einer horizontalen Auflösung von ca. 1,3 km. Quelle: Junk et al. 2013

Hierzu liegen jedoch keine transienten Läufe, sondern nur 10-jährige Zeitscheiben für die Vergleichsperiode (1991 bis 2000), die nahe Zukunft (2041 bis 2050) und die ferne Zukunft (2091 bis 2100) vor. Weitere Informationen bezüglich der Klimaprojektionen sind in Görjen et al. (2013) oder Junk et al. (2012, 2013, 2016) zu finden.

2.1.2.1. Temperatur

Basierend auf den zur Verfügung stehenden Klimaprojektionen ist die Entwicklung der Lufttemperatur für Luxemburg bis zum Jahr 2098 dargestellt (*Abbildung 14*). Der grau schraffierte Bereich stellt die Bandbreite – abgeleitet aus allen Ensemble Mitgliedern – dar. Die schwarze Linie repräsentiert den Mittelwert des Multi-Modell Ensembles. Zusätzlich sind die Messwerte der Station Findel (rote Linie) dargestellt. Das langjährige Mittel (1961 bis 1990), berechnet aus allen Ensemble Mitgliedern, stimmt mit 8,1 °C sehr gut mit dem Mittel der Station Findel für den gleichen Zeitraum überein. Die Lufttemperatur steigt im Mittel bis zur Mitte des Jahrhunderts auf 9,2 °C und bis zum Ende des Jahrhunderts auf 11,2 °C an.

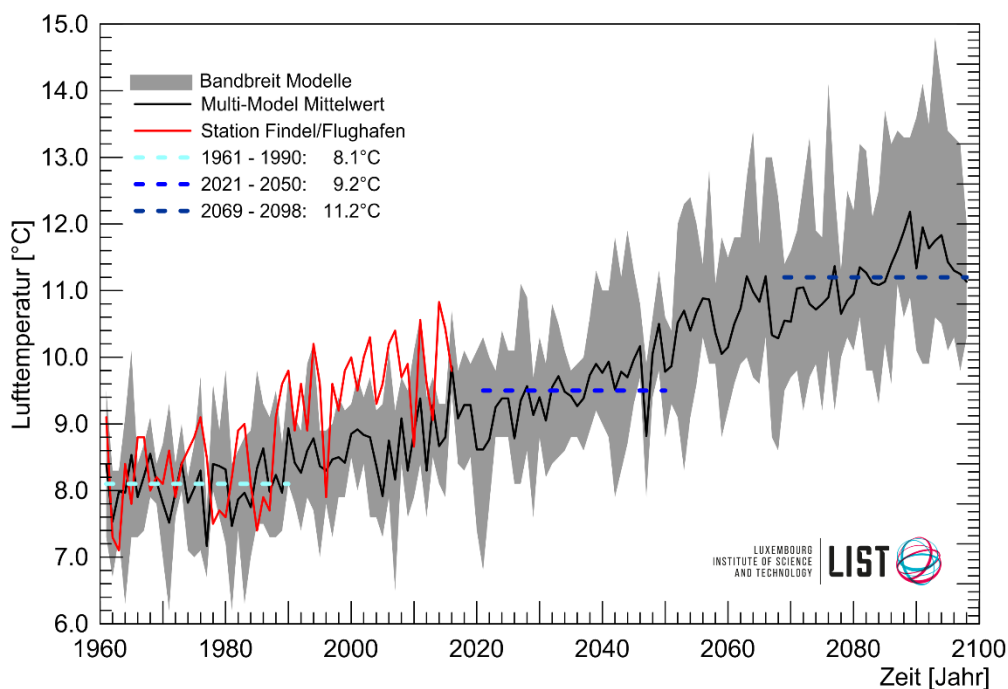


Abbildung 14: Entwicklung der Lufttemperatur für Luxemburg basierend auf einem Ensemble von Klimaprojektionen; Zeitraum 1961 bis 2098. Quelle: Junk et al. 2012 (verändert)

2.1.2.2. Niederschlag

Analog zu den Lufttemperaturen sind in *Abbildung 15* die Ergebnisse für den Niederschlag dargestellt. Auch hier stimmt der Mittelwert der Referenzperiode von 880 mm (1961 bis 1990) sehr gut mit dem Wert der WMO Station Findel Airport überein (875 mm). Die modellierten Jahressummen des Niederschlags zeigen kein deutliches Änderungssignal. Betrachtet man die Situation für die meteorologischen Jahreszeiten (hier nicht dargestellt), so ist eine Zunahme der Winter- und eine Abnahme der Sommerniederschläge zu beobachten.

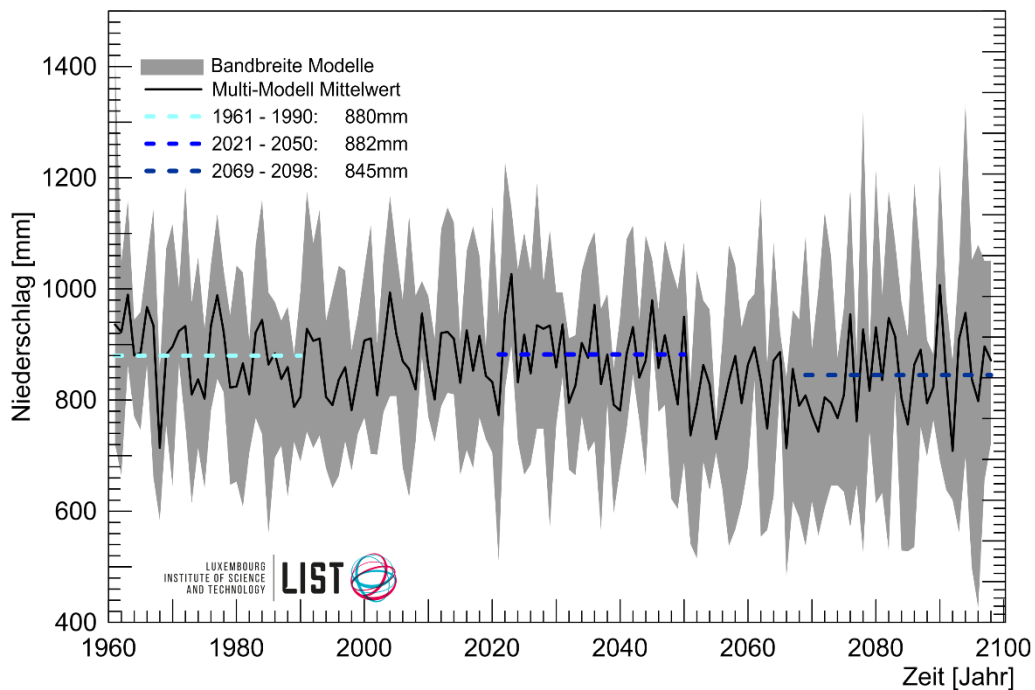


Abbildung 15: Entwicklung des Niederschlags für Luxemburg basierend auf einem Ensemble von Klimaprojektionen; Zeitraum 1961 bis 2098. Quelle: nicht publiziert

2.1.2.3. Extremereignisse

Die mögliche Entwicklung der Extremereignisse in der Zukunft basiert auf Datensätzen des Ensemble Projektes. In *Abbildung 16* ist die Entwicklung der Lufttemperatur und des Niederschlags auf Tagesbasis für die meteorologischen Jahreszeiten Sommer und Winter dargestellt. Sowohl in der nahen (2021 bis 2050), als auch in der fernen Zukunft (2069 bis 2098) erfolgt eine Verschiebung der Lufttemperaturen hin zu höheren Werten bei einem gleichzeitigen Rückgang der Niederschlagsmengen in den Sommermonaten. Im Gegensatz dazu, erfolgt in den Wintermonaten eine Verschiebung hin zu sowohl höheren Lufttemperaturen, als auch höheren Niederschlagswerten. Die Anzahl der aus den modellierten Lufttemperaturen abgeleiteten meteorologischen Ereignistage ist in *Abbildung 16* (rechte Seite) dargestellt. Sowohl die räumlich grob aufgelösten Ensemble Daten, als auch die Ergebnisse des COSMO-CLM Modells zeigen einen deutlichen Rückgang der FrostTage und eine Zunahme der warmen Tage, der SommerTage und der tropischen Nächte für Luxemburg (nicht dargestellt, Definitionen siehe Kapitel 2.1.1.3).

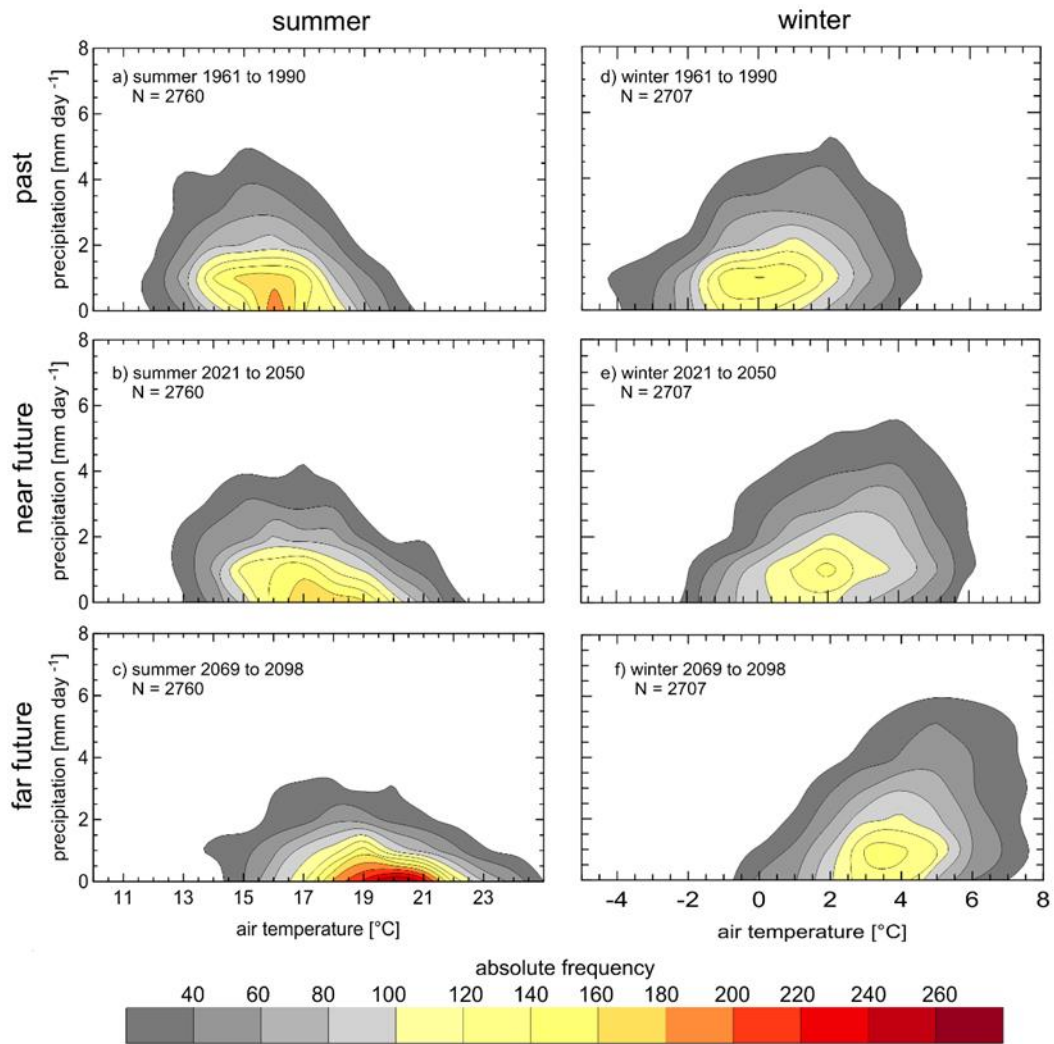


Abbildung 16: Absolute Häufigkeitsverteilung der Tageswerte der Lufttemperatur und des Niederschlags, abgeleitet aus 6 regionalen Klimaprojektionen für Luxemburg für die Referenzperiode (1961 bis 1990), die nahe (2021 bis 2050) und die ferne Zukunft (2069 bis 2098). Quelle: Goergen et al. (2013)

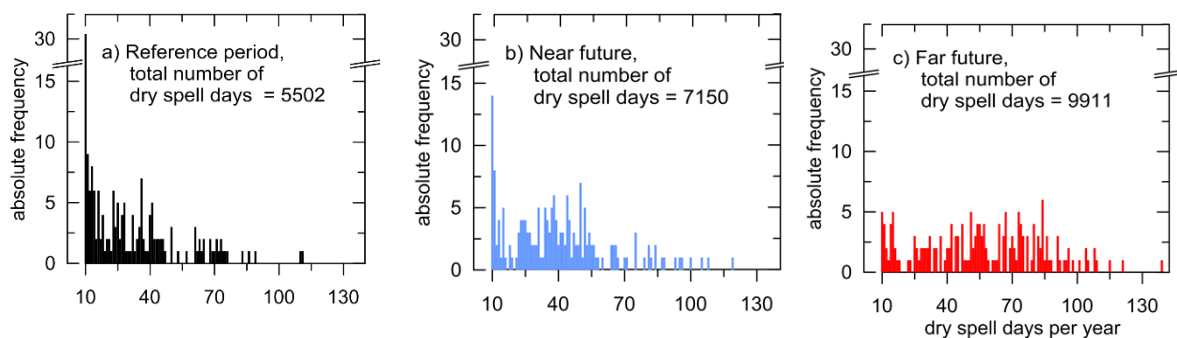


Abbildung 17: Absolute Häufigkeitsverteilung der Tage ohne Niederschlag berechnet aus 6 Ensemble Mitgliedern für die Referenzperiode (a), die nahe Zukunft (b), sowie die ferne Zukunft (c). Quelle: nicht veröffentlicht

In *Abbildung 17* ist die absolute Häufigkeit der Tage ohne Niederschlag für Luxemburg dargestellt. Die Häufigkeiten sind aus 6 verschiedenen regionalen Klimaprojektionen aus dem

EU Ensemble Projekt berechnet. Im Vergleich zur Referenzperiode nimmt die Anzahl der Tage ohne Niederschlag in der nahen Zukunft zu. Dieser Effekt verstärkt sich gegen Ende des Projektionszeitraum 2069 bis 2098 weiter.

2.1.3. Zusammenfassung

Das Klima Luxemburgs gehört zum feucht-gemäßigten, ozeanischen Klima mit leichtem kontinentalen Einfluss und ist durch gemäßigte Jahrestemperaturen, sowie überwiegend aus südwestlicher Richtung kommende Winde geprägt. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt im langjährigen Mittel 8,3 °C (1961 bis 1990; 1981 bis 2010: 9,3 °C) und es fallen durchschnittlich 875 mm (1961 bis 1990; 1981 bis 2010 897 mm) Niederschlag.

Bezüglich der Starkniederschläge ist an der Station Findel eine Zunahme im Laufe der ersten Referenzperiode (1961 bis 1990) zu beobachten; die leichte Abnahme der Werte in der zweiten Referenzperiode ist jedoch statistisch nicht signifikant. Daraus ergeben sich sowohl positive als auch negative Effekte z.B. für die Landwirtschaft. Als negativ zu bewerten ist die Gefahr einer erhöhten Bodenerosion, einer Schädigung der Pflanzen durch z.B. Hagel und einer Auswaschung von Nährstoffen.

Klimaprojektionen für Luxemburg zeigen einen deutlichen Anstieg der Lufttemperaturen, vor allem verursacht durch einen Anstieg der Minimumtemperaturen in den Wintermonaten. Ferner ist mit einer Abnahme der Niederschläge in den Sommermonaten, sowie einer Zunahme der Winterniederschläge zu rechnen. Dies in Verbindung mit höheren Lufttemperaturen in den Wintermonaten verringert die Wahrscheinlichkeit von Schneefällen und erhöht gleichzeitig die Hochwassergefährdung.

2.2. Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Naturraum

Die Folgen des Klimawandels für das Großherzogtum Luxemburg sind bereits zu erkennen und betreffen neben dem Naturraum, welcher die Bio-, Hydro-, und Pedosphäre umfasst, auch den vom Menschen geschaffenen Lebensraum, die Anthroposphäre.

Hinsichtlich Ursache und Auswirkung des Klimawandels stehen diese Sphären miteinander in Wechselwirkung. In den Kapiteln 2.2.1 - 2.2.3 werden die Klimafolgen auf die Bio-, Hydro-, und Pedosphäre behandelt. Der Einfluss des Klimawandels auf verschiedenste Sektoren wird in Kapitel 4 behandelt.

2.2.1. Biosphäre

Der Klimawandel erhöht den Druck auf Ökosysteme und einzelne Arten, die teilweise schon jetzt durch vielfältige Faktoren belastet sind. So wird die Resilienz von Ökosystemen durch Luftverschmutzung, sowie der zunehmenden Zerschneidung landschaftsräumlicher Zusammenhänge, beziehungsweise der Homogenisierung von Natur- und Kulturräumen zusätzlich beeinträchtigt.

Zur Erhaltung der Biodiversität, zum Schutz von Lebensräumen, sowie zum nachhaltigen Umgang mit Ressourcen, hat das Großherzogtum 27 % der Landesfläche als Natura 2000 Gebiete ausgewiesen. Darüber hinaus sind in Luxemburg 60 Naturschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von rund 8.100 ha (Stand Juli 2018 https://environnement.public.lu/fr/natur/biodiversite/mesure_3_zones_especes_proteges/zones_protegees_interet_national.html) dokumentiert. Diese Naturschutzgebiete setzen sich unter anderem aus Feuchtgebieten, Trockenrasen oder Naturwaldreservaten zusammen.

Diesem Schutz von Lebensräumen kommt aufgrund der negativen Auswirkungen des Klimawandels, wie z.B. vermehrte Hitzeperioden, oder die zunehmende Ausbreitung von Neobiota, große Bedeutung zu. Besonders vom Klimawandel betroffen sind Feuchtlebensräume, wie z.B. Feucht- und Nasswiesen, Übergangs- und Schwingrasenmoore oder Niedermoore, die durch steigende Temperaturen und andere Faktoren des globalen Wandels gefährdet sind.

Die Artenzusammensetzung und Dominanzstruktur von Gewässerökosystemen wird durch höhere Wassertemperaturen entlang der Flussläufe verändert. Besonders empfindlich sind Arten, die an niedrige Temperaturen gebunden sind. Ihre Areale können sich nach Norden oder in höhere Gewässerregionen verschieben (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2015). Arten, die große Temperaturschwankungen ertragen können, und wärmeliebende Arten, darunter zahlreiche Neobiota, die bisher eher in den mündungsnahen Bereichen vorkamen, werden begünstigt und können sich weiter oben in den Flussläufen ansiedeln (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2015).

Die Wichtigkeit der Anpassung von Waldökosystemen an den Klimawandel durch vorausschauende und naturnahe Bewirtschaftung wird dadurch unterstrichen, dass rund 35 % der Landesfläche mit Wald bedeckt sind. Klimawandelbedingte Störungen sind z.B. das vermehrte Auftreten von Schadinsekten (z.B. Borkenkäfer) oder neuartige Schäden durch eingeschleppte oder aus südlicheren Regionen eingewanderte Schadorganismen. Diese Störungen stellen besonders dann eine Gefährdung für Waldökosysteme dar, wenn sie sich überlagern. Als Beispiel sei hier die Verlängerung der Vegetationsperiode genannt.

Neben diesen Auswirkungen beeinflussen außergewöhnliche Naturereignisse wie Hochwasser, Stürme oder Waldbrände die verschiedenen Ökosysteme und deren Dienstleistungen (z.B. Hangstabilisierung, Bodenbildung, Nährstoff- oder Wasserkreislauf). Besonders die Auswirkungen von Waldbränden sind oft noch nach Jahrzehnten im Landschaftsbild zu sehen.

Die durch einen Brand verminderte Schutzfunktion des Waldes führt zu einem erheblich erhöhten Potenzial für sekundäre Naturgefahren. Mögliche Konsequenzen sind eine Veränderung der touristischen Eignung bestimmter Gebiete, die Beeinträchtigung von Infrastruktur und Kommunikationsstrukturen, die Minderung landwirtschaftlicher Erträge oder Waldbestandsverlust.

Durch die erwartete Verlängerung der Vegetationsperiode können sich bei ausreichender Wasserversorgung durchaus positive Auswirkungen (z.B. Erhöhung des Ertragspotenzials) für die Landwirtschaft des Großherzogtums ergeben. So konnte beispielsweise nachgewiesen werden, dass mit einem deutlichen Anstieg der Lufttemperaturen (um ca. 2 °C während der Vegetationsperiode in den ersten Dekaden des neuen Jahrtausends im Vergleich zu den 1970er Jahren) im letzten Jahrzehnt in der Mehrzahl der Jahre die für die Kultivierung und vollständige Ausreifung der Burgunder-Sorten und Riesling notwendigen Wärmesummen erreicht oder überschritten wurden. Auch hat die Spätfrostgefährdung in den letzten Jahrzehnten tendenziell abgenommen (Molitor et al., 2014a). Darüber hinaus zeigen Modellprojektionen, dass die Frequenz von Frühfrostschäden in den Weinbauregionen Luxemburgs abnehmen wird (Molitor et al., 2014 b).

Allerdings ist auch davon auszugehen, dass sowohl für den Wein- als auch für den Ackerbau eine Verlängerung der Vegetationsperiode eine Zunahme von Schadorganismen (z.B. Kohltriebrüssler, Rapsstängelrüssler, Kirschessigfliege) erwartet wird (Junk et al., 2011). Regionale Klimaprojektionen zeigen auch, dass sich die Bedingungen für z.B. Weizenblattrostinfektionen verbessern werden (Junk et al., 2015c).

Im Grünland können, bedingt durch zunehmende Trockenperioden, Trockenschäden die Verunkrautung mit Wurzelunkräutern fördern.

In *Tabelle 5* werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Biosphäre in Luxemburg, sowie in Nachbarländern dargestellt und erläutert. Darüber hinaus wird die Entwicklung einiger, für bestimmte Klimafolgen relevanter Indikatoren, sowohl für Luxemburg, als auch im Vergleich zum europäischen Durchschnitt dargestellt.

Tabelle 5: Auswirkungen des Klimawandels auf die Biosphäre

Legende: "+", "=" oder "-" als erstes Zeichen: Zunahme, Konstanz oder Abnahme des jeweiligen Indikators in Luxemburg in diesem Jahrhundert. "+", "=" oder "-" als zweites Zeichen: Änderung in Luxemburg stärker, gleich oder schwächer als der europäische Durchschnitt (www.eea.europa.eu/data-and-maps, www.atlas.impact2c.eu/en/). k. A.: Vergleich mit der untersuchten Literatur nicht möglich.

Klimafolge	Erläuterung	Relevante Indikatoren, Entwicklung	Literatur
Veränderung der Artenzusammensetzung	<i>Erläuterung:</i> Durch die temperaturbedingte Verschiebung von Lebensräumen kommt es zu einer Veränderung der Artzusammensetzung der Ökosysteme und damit einer Gefährdung bestimmter Arten. <i>Bezug Literatur:</i> Deutschland: Der Klimawandel führt zu Veränderungen von Artengemeinschaften. Bei 88 in Deutschland häufig vorkommenden Brutvogelarten haben sich in den Jahren 1990 bis 2010 die relativen Häufigkeiten zu Gunsten wärmeliebender Arten bzw. zu Ungunsten kälteliebender Arten in statistisch signifikanter Weise verschoben. Welche weiteren Auswirkungen dies auf die biologische Vielfalt hat, lässt sich derzeit noch nicht abschätzen. Die Fichte wird unter den sich verändernden Klimabedingungen zunehmend für sie ungünstige Wuchsbedingungen vorfinden. Zwischen 2002 und 2012 hat sich die Risikosituation in den deutschen Wäldern noch nicht gravierend verändert 16). Belgien: Einige Nadelgehölze, wie z.B. Fichte, werden immer weniger, aufgrund der mildereren, regenreicheren Winter, an das Klima angepasst sein. Gleichzeitig, könnten Laubgehölze (z.B. Buche) aufgrund zunehmender Trockenperioden ebenfalls schlechter an das Klima angepasst sein 8). Saarland: Mittel- bis langfristig sind vom Klimawandel Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften und ein Rückgang der Biodiversität zu erwarten 4). Insbesondere in den vergangenen 30 Jahren ist eine deutliche Ausbreitung von Wärme liebenden Arten, die ursprünglich im Mittelmeerraum beheimatet waren, festzustellen. Dies belegen zahlreiche Beispiele für Vögel (Orpheusspötter), Libellen (Feuerlibelle), Heuschrecken (Weinhähnchen) und Spinnen (Wespenpinne) 10).	Wintertemperatur + / - Sommertemperatur + / = Heiße Tage + / - Jahresmitteltemperatur + / = Dürre + / = Sommerniederschlag - / k. A. Anzahl FrostTage - / = Tropische Nächte + / -	2); 3); 4); 5); 6); 9); 10); 19); 20)
Verschiebung von Lebensräumen	<i>Erläuterung:</i> Temperaturbedingte Verschiebung der Lebensräume von Pflanzen und Tieren. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Klimabedingte Veränderung der geographischen Verteilung von Arten; Besiedelung von Regionen die ihren spezifischen klimatischen Toleranzen und Anforderungen entsprechen 7). Saarland: Die Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse sowie die zunehmende Häufigkeit von Extremereignissen werden sich auf Jahresrhythmus, Verhalten, Fortpflanzung, Konkurrenzfähigkeit und Nahrungsbeziehung von Arten auswirken. Dies wird Arealverschiebungen von Arten und Ökosystemen zur Folge haben, wobei solche mit einem engen ökologischen Toleranzbereich, insbesondere Kälte- und Feuchtigkeit liebende Arten, sowie Arten mit eingeschränkter	Wintertemperatur + / - Sommertemperatur + / = Heiße Tage + / - Jahresmitteltemperatur + / = Dürre + / = Sommerniederschlag - / k. A. Anzahl FrostTage - / = Tropische Nächte + / -	2); 3); 4); 5); 6); 7); 9); 10); 19); 20)

	Migrationsfähigkeit am stärksten betroffen sein werden, ebenso Gewässerökosysteme, Feuchtgebiete und Waldökosysteme. Die Verbreitungsareale vieler Tier- und Pflanzenarten verschieben sich zunehmend nach Norden oder im Gebirge aufwärts. Wärmeliebende Arten wandern entlang des Rheingrabels von Süden her ein (z.B. Auftreten von mediterranen Libellenarten; Arealausdehnung von Feuerlibelle und Gottesanbeterin; Einwanderung und Vermehrung wärmeliebender Vogelarten wie Bienenfresser und Silberreiher 10).		
Invasive Neobiota	<i>Erläuterung:</i> Neophyten/Neozoen/Neomyzten: Etablierung neuer Arten und höhere Individuenzahlen. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Der Klimawandel begünstigt die Etablierung von neuen Arten aus Nordafrika und dem Osten 7). Belgien: Die Ansiedelung von neuen Arten, die an ein wärmeres Klima angepasst sind, wird unterschiedliche Auswirkungen auf die Ökosysteme haben. Einige Arten werden bestehende Ökosysteme oder Artgefüge stören (aufgrund von Konkurrenz um Lebensräume oder Nahrung). Gleichzeitig könnten sich Arten wärmerer Gebiete/Bereiche wie z.B. aus Gebäuden und/oder Städten in die Umwelt ausbreiten und so mit den einheimischen Arten in Konkurrenz treten 8). Deutschland: Wärmere Klimabedingungen können die Etablierung und Ausbreitung der Asiatischen Tigermücke in Deutschland begünstigen. Wächst zugleich auch die Durchseuchung der Mücke mit Krankheitserregern, steigt die Infektionsgefahr für den Menschen. Vor allem zwischen 2012 und 2013 haben die positiven Befunde von Eiern und Mücken in Fallen und Beprobungen im Oberrheingebiet deutlich zugenommen 16). Saarland: Nicht heimische Mückenarten können zu einer verstärkten Verbreitung von bisher wenig auftretenden Tierkrankheiten (bspw. Blauzungkrankheit) führen 10).	Jahresmitteltemperatur + / = Heiße Tage + / - Wintertemperatur + / - Anzahl FrostTage - / = Tropische Nächte + / -	2); 3); 4); 5); 6); 7); 9); 19); 20)
Zunahme heimischer Schadorganismen	<i>Erläuterung:</i> Ausdehnung der Verbreitungsgebiete und Ausbildung mehrerer Generationen heimischer Schadorganismen; veränderte Reaktion auf Pflanzenschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Starke Vermehrung von Insekten und dadurch Probleme mit dem Pflanzenschutz 7). Regionale Klimaprojektionen zeigen eine Zunahme der Temperaturen von 1,6 K für die Periode 2041-2050 und von 3,7 K für die Periode 2091-2100 verglichen mit der Referenzperiode 1991-2000. Positiver Trend von günstigen Bedingungen für eine Weizenblattrostinfektion in den Untersuchungsgebieten bezogen auf die Referenzperiode 21). Kohltriebrüssler, Rapsstängelrüssler: Früherer Beginn und eine Verlängerung des möglichen Auftretens und der Hauptmigration werden für die nahe (2021 bis 2050) und die ferne (2069 und 2098) Zukunft festgestellt 22). Deutschland: Im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990), beginnt der Befall durch den Rapsstängelrüssler im Zeitraum 2021-2050 signifikant früher (10 Tage) und 19 Tage früher im Zeitraum 2069-2098. Der Einfluss der frühzeitigen Erwärmung auf die Phänologie der Pflanze, zeigt in der projizierten Kolonisierung von Raps durch den Rapsrüsselkäfer eine Verfrühung der Eiablage in die achsenden Rapssprossen die zu einer Zunahme des Schadenspotenzials führt 23).	Jahresmitteltemperatur + / = Heiße Tage + / - Wintertemperatur + / - Sommertemperatur + / = Anzahl FrostTage - / = Tropische Nächte + / -	2); 3); 4); 5); 6); 7); 9); 19); 20); 21)

	Der Buchdrucker profitiert von trockener und heißer Witterung und befällt bevorzugt bereits vorgeschädigte oder geschwächte Bäume. Befallsdaten aus acht Bundesländern machen deutlich, dass es in der Folge von Hitze- und Trockenjahren sowie von Sturmereignissen zu einem Schadholzaufkommen kommt, das gegenüber dem langjährigen Mittelwert deutlich höher ist. Der Befall mit dem wärmeliebenden Eichenprozessionsspinner hat in den zurückliegenden Jahren stetig zugenommen. Dies wird u. a. mit den günstigeren klimatischen Bedingungen in Verbindung gebracht. Der Befall kann unter Umständen sowohl aus gesundheitlicher als auch forstlicher Sicht ein Problem darstellen. Im Falle des Braunrosts, Echten Mehltaus und Rapsglanzkäfers wird davon ausgegangen, dass der Klimawandel mit wärmeren Wintern und einem trockeneren und wärmeren Frühjahr den Befall fördert. Dennoch verläuft die Schaderregerentwicklung sehr spezifisch. Generalisierende Aussagen zum Einfluss des Klimawandels auf die Befallssituation sind auf der derzeitigen Datengrundlage noch nicht möglich 16). Saarland: Es gibt auch Hinweise darauf, dass das vermehrte Auftreten von Schädlingen wie Borkenkäfer und Schwammspinner mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht werden kann. Die Forstwirtschaft ist von Trockenheit und der zunehmenden Gefahr von Krankheiten und Schädlingsbefall betroffen. Indirekt steigt durch den Klimawandel auch die Gefahr von Schädlingsbefall und Krankheiten 10).		
Auftreten neuer Krankheitserreger	<i>Erläuterung:</i> Veränderung der Ausbreitungsbedingungen neuer Krankheitserreger bzw. deren Vektoren und dadurch Gefährdung von Nutzpflanzen und -tieren (Vektorkrankheiten). <i>Bezug Literatur:</i> Rheinland-Pfalz: Bisher war nicht bekannt, dass heimische Mücken den Blauzungenvirus übertragen können, das Virus traf also auf einen geeigneten Vektor 13). Europa: könnte einer Zunahme von Seuchen/Krankheiten wie z.B. Nahrungsmittelvergiftungen ausgelöst durch warmes anaerobes Wasser und Vektorkrankheiten entgegensehen. Vektorkrankheiten werden durch Arthropoden wie Zecken (Vektorenzephalitis, FSME, Lyme Borreliose), Moskitos (z.B. Chikungunya Fieber, Dengue Fieber, Malaria, Riftalfieber) oder Sandfliegen (z.B. viszerale Leishmaniose) hervorgerufen. Heißere und längere Sommer, wärmere Winter und/oder eine Zunahme der jährlichen Niederschläge könnten es diesen poikilothermen Organismen ermöglichen, ihre Lebensräume zu verändern und potenziell Krankheiten in Gebiete einzuschleppen in denen sie zuvor nicht angetroffen wurden 17).	Jahresmitteltemperatur + / = Wintertemperatur + / - Heiße Tage + / - Sommertemperatur + / = SommerTage + / k. A. Tropennächte + / - Anzahl FrostTage - / =	2); 3); 4) 5); 6); 9); 19); 20)
Förderung heimischer Krankheitserreger	<i>Erläuterung:</i> Bedingt durch die Erwärmung und die Verlängerung der Vegetationsperiode. <i>Bezug Literatur:</i> Rheinland-Pfalz: Die Vermehrung mancher Krankheitsüberträger kann für den Menschen gefährlich werden – so haben sich die Zecken im Pfälzer Wald und in Rheinhessen deutlich vermehrt und sind länger im Jahr aktiv 13).	Wintertemperatur + / - Sommertemperatur + / = Jahresmitteltemperatur + / = Anzahl FrostTage - / =	2); 3); 4); 5); 6); 9); 19); 20)
Veränderung des Wasserdargebots	<i>Erläuterung:</i> Auswirkungen der veränderten räumlichen und zeitlichen Verteilung/Variabilität der Niederschläge auf Land- und Forstwirtschaft sowie Ökosysteme.	Winterniederschlag + / = Sommerniederschlag - / = Abfluss Sommer - / k. A. Abfluss Winter + / k. A.	2); 3); 4) 5); 11); 12); 13); 14); 20)

	<i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Die saisonale Verteilung des Niederschlags hat in den letzten 130 Jahren große Variabilität aufgewiesen. Zunahme der Frequenz von Hochwässern als Resultat von gravierenden Umverteilungen der Niederschläge im Winter und einer Zunahme des maximalen täglichen Abflusses im Winter 2). Rhein Einzugsgebiet: Veränderungen von Spitzenabflüssen: Für Raunheim (Main), Trier (Mosel), Köln und Lobith wird vor allem für die ferne Zukunft eine Zunahme projiziert. Für die nahe Zukunft sind die Tendenzen kleiner bzw. fehlen (Ausnahme Raunheim). Die Unsicherheit in den Modellen wird von der nahen zur fernen Zukunft größer. Die Unsicherheiten nehmen von MHQ zu HQ1000 zu. Keine Konklusion für Messstellen mit einem Strömungsregime möglich, das von sommerlichen Spitzenabflüssen gekennzeichnet ist (z.B. Basel, Maxau und Worms). Für die ferne Zukunft ist eine Abnahme der niedrigen Ströme im Sommer mit -25 % bis 0 % für den Sommer für NM7Q offensichtlich, während für den Winter kein klares NM7Q-Änderungssignal erfasst werden kann. Für FDC_Q90 gibt es kein klares Signal für die weite Zukunft. Einige Messungen zeigen Abnahmen, andere zeigen keine klare Tendenz der Veränderung. Die beiden Maße auf den Nebenflüssen Main und Mosel weichen von dem obigen Bild ab. Die Bandbreiten sind in der Regel höher als bei den Messgeräten am Rhein 20).	Grundwassererneuerung + / k. A. Schnee - / - MoMQ (Sauer) Winterhalbjahr + / k. A. MoMQ (Sauer) Sommerhalbjahr = / k. A. MoMHQ (Sauer) Winterhalbjahr + / k. A. MoMHQ (Sauer) Sommerhalbjahr + / k. A. MoMnQ (Sauer) Winterhalbjahr + / k. A. MoMnQ (Sauer) Sommerhalbjahr - / k. A. Strömung Fließgewässer + / =	
Gefährdung von Feucht-lebensräumen	<i>Erläuterung:</i> Bedingt durch eine Abnahme des Niederschlages im Sommer und Temperaturerhöhungen kommt es zu einer Gefährdung von Feuchtlebensräumen. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Die Zunahme des Trockenstresses für Pflanzen und Tiere gefährdet feuchteabhängige Lebensgemeinschaften. Auch bei wasser gebundenen Lebensgemeinschaften der Still- und Fließgewässer kann es durch Austrocknung oder Sauerstoffmangel zu Schäden kommen 7).	Wintertemperatur + / - Sommertemperatur + / = Heiße Tage + / - Jahrestemperatur + / = Dürre + / = Sommerniederschlag - / k. A.	2); 3); 6); 11); 20)
Steigender Bewässerungs-bedarf in der Land-wirtschaft	<i>Erläuterung:</i> Bedingt durch eine Zunahme von Hitzeperioden im Sommer wird der Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft steigen. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: In der Land- und Forstwirtschaft sowie für Freiräume und Grünflächen im urbanen Umfeld führt Trockenstress zu einem höheren Bewässerungsbedarf und damit zu höheren Kosten 6). Belgien: Der Wasserbedarf während des Sommers wird zunehmen, vor allem wenn Bewässerung zu einer weitverbreiteten Praxis wird. Trockene Sommer und die Zunahme der Evapotranspiration in Kombination mit einer möglichen Abnahme der Niederschläge werden den Grundwasserspiegel signifikant senken 14).	Sommertemperatur + / = Heiße Tage + / - Jahresmitteltemperatur + / = Dürre + / = Sommerniederschlag - / =	2); 3); 4); 5); 12); 20)
Verlängerung der Vegetationsperiode	<i>Erläuterung:</i> Erhöhung des landwirtschaftlichen Ertragspotenzials bei ausreichender Wasserversorgung sowie Veränderungen in der Phänologie bzw. dem Fortpflanzungsverhalten. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Die Anzahl von Frosttagen wird sich um mehr als 40 Tage zwischen der Referenzperiode (1971-2000) und der letzten Dekade dieses Jahrhunderts reduzieren. Tropische Nächte die in der	Jahrestemperatur + / = Heiße Tage + / - Wintertemperatur + / - Sommertemperatur + / = SommerTage + / k. A. CO₂-Angebot + / = Tropennächte + / - Anzahl FrostTage - / =	2); 3); 4); 5); 6); 19); 20)

	Referenzperiode nicht vorkommen, nehmen um bis zu 11 Ereignisse zu, was zu einem signifikanten Anstieg des Wärmestresses für Luxemburg führt 19). Modellierte Projektionen zeigen, dass die Frequenz von Frühjahrsfrostschäden in der Weinbauregion Luxemburgs abnehmen wird 24). Deutschland: Mit Hilfe phänologischer Modelle lassen sich in der Verknüpfung mit Klimaprojektionen auch Aussagen über weitere Veränderungen der phänologischen Entwicklung treffen. So zeigen Studien, dass bis zum Ende des Jahrhunderts eine weitere Verfrühung der phänologischen Entwicklung insbesondere im Frühling zu erwarten ist. Für den Vollfrühling wurden nochmals etwa 15 Tage frühere Blühtermine des Apfels ermittelt. Im Vergleich der Referenzperiode 1961-1990 mit dem nachfolgenden Abschnitt von 1991-2015 zeigt sich, dass der Vorfrühling nunmehr schon am 17.2. startet und auch vier Tage länger geworden ist als in der Referenzperiode. Auch der Erstfrühling (27.3.) und der Vollfrühling (27.4.) beginnen früher 3). Frankreich: Verlängerung der Vegetationsperiode von Süd- nach Nordfrankreich; dies kann zu Problemen führen wenn dadurch zusätzlicher Bewässerungsaufwand entsteht 18). Rheinland-Pfalz: Vor allem der Vegetationsbeginn hat sich z. T. erheblich verfrüht 13).		
Änderung des Ertragspotenzials	<i>Erläuterung:</i> Durch eine höhere CO₂ Konzentration sowie die Verlängerung der Vegetationsperiode kommt es zu einer Veränderung des Ertragspotenzials. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Modellierte Projektionen zeigen, dass die Frequenz von Frühjahrsfrostschäden in der Weinbauregion Luxemburgs abnehmen wird 24). Die Auswirkungen einer Veränderung der Lufttemperatur auf Traubensorten wird mit dem Huglin Index analysiert der die verschiedenen Traubensorten hinsichtlich ihres minimalen Wärmebedarfs klassifiziert. Analysen zeigen einen statistisch signifikanten Trend hin zur Möglichkeit einer Kultivierung von Traubensorten mit einem höheren Wärmebedarf in der Zukunft. Höhere Temperaturen werden zu einer Zunahme des Zuckergehaltes und eines geringeren Säuregehaltes im Wein führen 22). Die vorliegenden Datenanalysen zeigen, dass in den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts die klimatischen Bedingungen zur optimalen Ausreifung der vorhandenen Rebsorten im Oberen Moseltal (mit Ausnahme von Gunstlagen) häufig nicht gegeben waren. Erst mit einem deutlichen Anstieg der Lufttemperaturen (um ca. 2 °C während der Vegetationsperiode in der ersten Dekade des neuen Jahrtausends im Vergleich zu den 1970er Jahren) wurden im letzten Jahrzehnt in der Mehrzahl der Jahre die für die Kultivierung und vollständige Ausreifung der Burgunder-Sorten und Riesling notwendigen Wärmesummen erreicht oder überschritten. Dies zeigt sich in deutlich angestiegenen mittleren Mostgewichten und reduzierten mittleren Gesamtsäuregehalten. Weiterhin hat die Spätfrostgefährdung in den letzten Jahrzehnten tendenziell abgenommen. Im Hinblick auf die Weinqualität und die Ertragsgefährdung durch Spätfrostschäden sind die beobachteten Veränderungen der Temperaturbedingungen in den letzten Dekaden bisher als überwiegend positiv für den Weinbau an der Oberen Mosel zu bewerten 25). Belgien: CO₂ steigert die Effizienz der Wassernutzung in Pflanzen und eine Zunahme der Temperatur wirkt sich positiv auf die Vegetation (z.B. Mais) aus. Zunehmende CO₂ Konzentration in der Atmosphäre wird Waldwachstum beschleunigen 8).	Jahrestemperatur + / = CO₂-Net-Primary-Production (NPP) + / = frühere Blühtermine + / k. A. Tropennächte + / - Anzahl FrostTage - / =	1); 2); 3); 4); 5); 6); 19); 20)

Zunahme von Extremwetterereignissen	<i>Erläuterung:</i> Die potenzielle Zunahme von Starkniederschlägen, eine Erhöhung der Niederschläge im Winter (Hochwässer) sowie längere Trocken- und Dürreperioden im Sommer führen zu Ertragseinbußen in der Landwirtschaft. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Auch Bodenerosion und Hangabbrüche mit Folgen für die Landwirtschaft, Infrastrukturen oder den Siedlungsbestand können auftreten 6). Rhein Einzugsgebiet: Veränderungen von Spitzenabflüssen: Für Raunheim (Main), Trier (Mosel), Köln und Lobith wird vor allem für die ferne Zukunft eine Zunahme projiziert. Für die nahe Zukunft sind die Tendenzen kleiner bzw. fehlen (Ausnahme Raunheim). Die Unsicherheit in den Modellen wird von der nahen zur fernen Zukunft größer. Die Unsicherheiten nehmen von MHQ zu HQ1000 zu. Keine Konklusion möglich für Messstellen mit einem Strömungsregime möglich, das von sommerlichen Spitzenabflüssen gekennzeichnet ist (z.B. Basel, Maxau und Worms) 20).	Sommertemperatur + / = Heiße Tage + / - Jahresmitteltemperatur + / = Dürre + / = Winterniederschlag + / = Sommerniederschlag - / = SommerTage + / k. A. Tropennächte + / -	2); 3); 4); 5); 6); 11); 20)
Veränderung der Phänologie/des Fortpflanzungsverhaltens	<i>Erläuterung:</i> Bedingt durch die Verlängerung der Vegetationsperiode kommt es zu Veränderungen in der Phänologie/im Fortpflanzungsverhalten. <i>Bezug Literatur:</i> Deutschland: Im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990), beginnt der Befall durch den Rapsstängelrüssler im Zeitraum 2021-2050 signifikant früher (10 Tage) und 19 Tage früher im Zeitraum 2069-2098. Der Einfluss der frühzeitigen Erwärmung auf die Phänologie der Pflanze, zeigt in der projizierten Kolonisierung von Raps durch den Rapsrüsselkäfer eine Verfrühung der Eiablage in die wachsenden Rapsprossen die zu einer Zunahme des Schadenspotenzials führt 23). Der Beginn des phänologischen Frühlings, Sommers und Herbstes hat sich in den letzten 61 Jahren im Jahresverlauf nach vorne verschoben. Der Winter ist deutlich kürzer, der Frühherbst deutlich länger geworden. Diese Veränderungen sind Ausdruck der Anpassungsfähigkeit von Pflanzen an das veränderte Klima, können aber auch weitergehende Folgen für die biologische Vielfalt bis hin zur Gefährdung von Tier- und Pflanzenarten haben 16). Saarland: Zugvögel kehren heute um bis zu drei Wochen früher aus ihren Winterquartieren zurück als vor 30 Jahren. Daneben zeigen Vögel weitere Verhaltensänderungen: aus Zugvögeln wurden Teilzieher; Teilzieher wurden zu Standvögeln, verweilen also ganzjährig in ihrem Brutgebiet und ziehen gar nicht mehr weg 16). Die Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse sowie die zunehmende Häufigkeit von Extremereignissen werden sich auf Jahresrhythmus, Verhalten, Fortpflanzung, Konkurrenzfähigkeit und Nahrungsbeziehung von Arten auswirken. Dies wird Arealverschiebungen von Arten und Ökosystemen zur Folge haben, wobei solche mit einem engen ökologischen Toleranzbereich, insbesondere Kälte und Feuchtigkeit liebende Arten, sowie Arten mit eingeschränkter Migrationsfähigkeit am stärksten betroffen sein werden, ebenso Gewässerökosysteme, Feuchtgebiete und Waldökosysteme 10).	Wintertemperatur + / - Sommertemperatur + / = Heiße Tage + / - Jahrestemperatur + / = Dürre + / = Sommerniederschlag - / k. A. Tropennächte + / - Anzahl FrostTage - / =	2); 3); 4); 5); 6); 10); 15); 19); 20)

	Rheinland-Pfalz: Die Phänologie vom Vogelzug und das Brutverhalten (z.B. frühere Eiablage der Kohlmeise) sind ebenfalls im Wandel begriffen 13). Belgien: Klimabedingte Veränderungen der Phänologie bestimmter Arten führen zu Störungen der Interaktionen zwischen den Arten. Wenn z.B. der Blühzeitpunkt einer bestimmten Pflanze und das Auftreten des benötigten Bestäubers nicht zur gleichen Zeit erfolgen kann dies zu einer Gefährdung von Pflanze und Bestäuber führen 15).		
Zunahme abiotischer Waldschäden	<i>Erläuterung:</i> Unter abiotischen Waldschäden werden durch Hitze, Frost, Schnee und Eis, Sturm oder Feuer hervorgerufene Schäden verstanden. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Steigende Niederschläge, insbesondere im Winter, verschärfen die Hochwassersituation in den Flusstälern. Neben der Schifffahrt sind hiervon vor allem die Land- und Forstwirtschaft sowie die Erholungsnutzung, aber auch Infrastrukturen – Straßen, Schienen, Stromleitungen und Telekommunikationseinrichtungen – betroffen. 1). Zunahme von Windwurf 4).	Starkniederschlag + / = Stürme + / k. A. Hochwasser + / k. A. Dürre + / = Heiße Tage + / - Windwurf + / k. A.	2); 8); 4)
Zunehmende Waldbrandgefahr	<i>Erläuterung:</i> Bedingt durch eine Zunahme von Hitze- und Trockenperioden kann sich die Waldbrandgefahr erhöhen. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Zunahme von Frequenz und Länge von Trockenperioden 2). Saarland: Erhöhte Waldbrandgefahr 10).	Seasonal Severity Rating (SSR) + / + Jahrestemperatur + / = Dürre + / = SommerTage + / o Tropennächte + / -	1); 2); 3); 4); 6); 19); 20)

Literatur: 1) www.eea; 2) OECD 2013; 3) DWD 2016; 4) Ministerium des Inneren und Sport des Saarlandes 2012; 5) Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg 2015; 6) Ministère du Développement durable et des Infrastructures 2012; 7) Ministère du Développement durable et des Infrastructures 2011a; 8) National Climate Commission 2010; 9) Baguis et al. 2009; 10) Ministerium für Umwelt Saarland 2008; 11) Ntegeka et al. 2009; 12) Gellens & Roulin 1998; 13) Ministerium für Umwelt, Forst und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz 2007; 14) d'Ieteren et al. 2004; 15) Gagnon-Lebrun & Agrawala 2006; 16) Umweltbundesamt 2015; 17) <http://eoedu.belspo.be/en/profs/vgt-europe-diseases.asp?section=1.3.4>; 18) Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique 2007; 19) Junk et al. 2013; 20) Görgen et al. 2010; 21) Junk et al. 2015c; 22) Junk et al. 2011; 23) Eickermann et al. 2012; Junk et al. 2012; 2014; 2015a, b 24) Molitor et al. 2014a; 25) Molitor et al. 2014b.

2.2.2. Pedosphäre

Der Boden spielt nicht nur bei der Nahrungsmittelproduktion eine wesentliche Rolle, er übernimmt auch weitere wichtige Funktionen

- im Nährstoffkreislauf,
- bei der Kohlenstoffdeposition,
- beim Filtern und Puffern von Verunreinigungen,
- bei der Milderung von Hochwasserereignissen mittels Retentionsflächen, oder
- als Lebensraum für eine Vielzahl von Mikroorganismen.

Diese Funktionen sind vom Bodenklima abhängig und dieses wiederum wird durch die Auswirkungen des Klimawandels, wie z.B. Temperaturerhöhungen oder Veränderung der Niederschlagsverhältnisse, beeinflusst.

Durch eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur in einer Bodentiefe von 50 cm zwischen 3 °C und 6 °C bis zum Ende des Jahrhunderts, kann für Mitteleuropa von einer Verlängerung des biologischen Fensters ausgegangen werden. Das biologische Fenster entspricht einer Bodentemperatur über 8 °C in 50 cm Tiefe und einem wenigstens teilweise feuchten Millieu (Trnka et al., 2013). Mineralisationsprozesse in Böden werden somit beschleunigt und organisches Bodenmaterial verstärkt abgebaut. Das führt nicht nur zur vermehrten Emission von Treibhausgasen, sondern hat auch negative Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit (APCC, 2014) und die Bodenwasser-Rückhaltefähigkeit.

Darüber hinaus nimmt auch die jährliche Variabilität des biologischen Fensters, vor allem aufgrund der zunehmenden Niederschlagsvariabilität, stark zu. Eine Zunahme der Tage mit zur Gänze trockenen Bodenprofilen oder erhöhtem Abfluss ist zu erwarten, sodass die Erosion in Europa bis Mitte des Jahrhunderts um 10 % - 15 % ansteigen wird (Panos, 2015).

Erhöhte Luft- beziehungsweise Bodentemperaturen haben zudem Auswirkungen auf Pflanzengemeinschaften und infolgedessen auf die Gemeinschaftsstruktur der Bodenlebewesen. Veränderungen des Wurzelwachstums können ebenfalls zur Abnahme der Bodenstabilität führen und Bodenerosion weiter begünstigen (APCC, 2014).

Gleichzeitig intensivieren sich unter Klimawandelbedingungen Starkniederschlagsereignisse und Stürme, sodass Erosion zu einer Bedrohung für den Boden des Großherzogtums werden wird. Beim europaweiten Vergleich der Erosion von Ackerfläche hat Luxemburg mit 4,54 t ha⁻¹ yr⁻¹ die drittgrößte Bodenverlustrate Europas (Panos, 2015). Einer der Gründe hierfür ist die hohe Erodierbarkeit von Lössboden, der in Luxemburg vorherrscht. In diesem Zusammenhang kommt der Bodenwasser-Rückhaltefähigkeit – als Mittel gegen abflussbedingte Erosion – eine wachsende Bedeutung zu. Diese wird jedoch durch Bodenverdichtung (z.B. durch den Einsatz schwerer Maschinen bei Nässe) oder durch die Reduktion organischen Materials (z.B. in Monokulturen) beeinträchtigt so wie sich auch Bodenversiegelung negativ

auswirkt. Die Urbanisierung von Grasland verringert die Bodenwasser-Rückhaltefähigkeit um 10 %. Außerdem behindert Bodenversiegelung die Verdunstung, die im Sommer maßgeblich zur Milderung von Hitze beiträgt.

Maßnahmen des Bodenschutzes sind hier vor allem in der Landwirtschaft sinnvoll. In diesem Zusammenhang ist auch der wachsende Bedarf an landwirtschaftlicher Bewässerung zu erwähnen, der für den Boden Probleme der Versalzung hervorrufen kann.

Böden stellen vor allem durch die potenzielle Zunahme von Starkniederschlagsereignissen einen wichtigen Schutz vor Hochwässern dar, zumal sie als Retentionsflächen dienen. Dabei ist allerdings festzuhalten, dass die Ressource Boden in Luxemburg einem hohen Flächenverbrauch durch Bodenverdichtung und -versiegelung unterliegt. So beträgt der tägliche Flächenverbrauch 1,3 ha (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2010; Stand 2006). Dieser Flächenverbrauch wird im Bericht zur *Umsetzung des Plans für nachhaltige Entwicklung (PNDD) Luxemburg* von 2010 (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2010) als eine der zentralen Herausforderungen definiert. Der Thematik des hohen Flächenverbrauchs sowie der Boden-Übernutzung sollte im Hinblick auf den Klimawandel eine erhöhte Aufmerksamkeit zukommen.

In *Tabelle 6* werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Pedosphäre in Luxemburg sowie in Nachbarländern dargestellt und erläutert. Darüber hinaus wird die Entwicklung einiger, für bestimmte Klimafolgen relevanter Indikatoren, sowohl für Luxemburg, als auch im Vergleich zum europäischen Durchschnitt dargestellt.

Tabelle 6: Auswirkungen des Klimawandels auf die Pedosphäre

Legende: "+", "=" oder "-" als erstes Zeichen: Zunahme, Konstanz oder Abnahme des jeweiligen Indikators in Luxemburg in diesem Jahrhundert. "+", "=" oder "-" als zweites Zeichen: Änderung in Luxemburg stärker, gleich oder schwächer als der europäische Durchschnitt (www.eea.europa.eu/data-and-maps, www.atlas.impact2c.eu/en/). k. A.: Vergleich mit der untersuchten Literatur nicht möglich

Klimafolge	Erläuterung	Relevante Indikatoren Entwicklung	Literatur
Beschleunigung von Umsetzungsprozessen (Böden)	<i>Erläuterung:</i> Veränderung der Bodenparameter. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Erhöhung des organischen Materials im Boden führt zu einer Versauerung und einem Verlust an Nährstoffen 1).	Wintertemperatur + / - Sommertemperatur + / = Heiße Tage + / - Jahresmitteltemperatur + / =	2); 3); 4); 5); 6); 7); 12)
Erhöhte Bodenerosion	<i>Erläuterung:</i> Bedingt durch eine potenzielle Verstärkung von Starkniederschlägen kommt es zu einer erhöhten Bodenerosion. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Auch Bodenerosion und Hangabrutschungen mit Folgen für die Landwirtschaft, Infrastrukturen oder den Siedlungsbestand können auftreten 6). Deutschland: Hohe Niederschlagsintensitäten erhöhen das Bodenabtragsrisiko. In Nordrhein-Westfalen ist die sommerliche Regenerosivität seit den 1970er Jahren signifikant angestiegen 11). Rheinland-Pfalz: Die Erosionswirksamkeit der Niederschläge ist die klimatisch bedingte Komponente bei der Ermittlung der Erosionsgefahr durch Wasser. Aufgrund der bereits beobachteten Häufigkeits- und Intensitätszunahme dieser Niederschlagsereignisse wird die prognostizierte Intensivierung der Starkniederschläge als der maßgebliche Faktor für eine künftig verstärkte Erosionsgefahr durch Wasser eingeschätzt. In Hanglagen können sie sogar im Extremfall das Auftreten von Schlammlawinen bewirken. Aber auch längere Trockenperioden, die Winderosion fördern, werden wahrscheinlicher 9).	Stürme + / k. A. Hochwasser + / k. A. Dürre + / = Starkniederschlag + / =	6); 8); 3)
Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit, -struktur & -stabilität	<i>Erläuterung:</i> Durch die Zunahme von Starkniederschlägen oder Trockenperioden kommt es zu einer Veränderung der Bodenstruktur und -stabilität. Von einer Beeinträchtigung landwirtschaftlicher Erträge sollte ausgegangen werden. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Verschlechterung der Wasserqualität aufgrund der Intensivierung von Regenereignissen (Zunahme der Erosion, schnelle Infiltrierung ins Grundwasser) und der Verschiebung der Grundwasserneubildung 7). Zunahme der Frequenz von Hochwässern als Resultat von gravierenden Umverteilungen der Niederschläge im Winter und einer Zunahme des maximalen täglichen Abflusses im Winter. Steigende Niederschläge, insbesondere im Winter, verschärfen die Hochwassersituation in den Flusstälern. Neben der Schifffahrt sind hiervon vor allem die Land- und Forstwirtschaft sowie die Erholungsnutzung, aber auch Infrastrukturen betroffen 6).	Stürme + / k. A. Hochwasser + / k. A. Dürre + / = Heiße Tage + / - Windwurf + / k. A. Starkniederschlag + / = Abfluss - / k. A.	1); 6); 7); 8); 19)

	Deutschland: Ein ausreichender Bodenwasservorrat ist eine entscheidende Einflussgröße für die Pflanzenentwicklung. Bei landwirtschaftlichen Kulturen können sowohl Unter- als auch Übersättigung in kritischen Entwicklungsphasen die Erträge negativ beeinflussen. Sowohl auf leichten als auch auf schweren Böden haben in den letzten rund 40 Jahren die Bodenwasservorräte während der Vegetationsperiode mit signifikantem Trend abgenommen. Hohe Niederschlagsintensitäten erhöhen das Bodenabtragsrisiko. In Nordrhein-Westfalen ist die sommerliche Regenerosität seit den 1970er Jahren signifikant angestiegen. 11)		
--	--	--	--

Literatur: 1) Ministère du Développement durable et des Infrastructures 2011a; 2) Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg 2015; 3) Ministerium für Inneres und Sport des Saarlandes 2012; 4) Baguis et al. 2009; 5) DWD 2016; 6) Ministère du Développement durable et des Infrastructures 2012; 7) OECD 2013; 8) National Climate Commission 2010; 9) Ministerium für Umwelt, Forst und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz 2007; 10) Gellens & Roulin 1998; 11) Umweltbundesamt 2015; 12) Görgen et al. 2010.

2.2.3. Hydrosphäre

Die Nutzung des Wassers in Luxemburg lässt sich wie folgt zusammenfassen (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2015):

- Grundwasser und Oberflächenwasser (Stausee Obersauer) spielen bei der Trinkwasserversorgung Luxemburgs eine wesentliche Rolle. Statistisch gesehen verbraucht ein luxemburgischer Haushalt im Durchschnitt 150 Liter Trinkwasser pro Tag. Hierbei liegt der tatsächliche Verbrauch jedoch bei etwa 137 Litern. Der höhere rechnerische Wert ist durch die hohe Anzahl an Grenzgängern (etwa 160.000) bedingt, die in Luxemburg arbeiten und zum Trinkwasserverbrauch beitragen, jedoch nicht in die Ermittlung des Durchschnittsverbrauchs eingerechnet werden. Die Bedeutung des Wasserverbrauchs der Haushalte (24.602.141 m³ im Jahr 2012) im Vergleich zu den Sektoren Landwirtschaft und Industrie ist signifikant höher (mehr als Faktor 10). Grundsätzlich ist bis 2024 von einem weiter steigenden Trinkwasserbedarf auszugehen. Gegenwärtig gibt es 242 kommunale Kläranlagen mit unterschiedlichen Ausbaugrößen. Bei etwa der Hälfte handelt es sich um Kleinstanlagen, die vor mehr als 30 Jahren gebaut wurden und nur über eine mechanische Reinigungsstufe verfügen. Somit werden viele Gewässerabschnitte in Luxemburg durch ungereinigtes Wasser belastet.
- In Luxemburg befinden sich die beiden größten Wasserkraftwerke in Esch-Sauer und Vianden. Der Staudamm in Esch-Sauer deckt ungefähr die Hälfte der nationalen Trinkwasserbedürfnisse, während er gleichzeitig eine kleine Menge an Strom produziert. Das Pumpspeicherkraftwerk Vianden (an der Our) produziert und liefert Elektrizität während des Spitzenkonsums. Der größte Teil der luxemburgischen Stromproduktion stammt von dieser Anlage, die eine Maximalkapazität von 1.100 MWh hat. Es gibt ebenfalls vier mittelgroße Durchlaufkraftwerke an der Mosel (Grevenmacher-Wellen, Stadtbredimus-Palzem, Schengen-Apach) und der Sauer (Rosport), mit einer gesamten installierten Kapazität von über 33,5 MWh. Auch das Durchlaufkraftwerk Ettelbrück (an der Alzette) zählt zu den größeren Wasserkraftwerken. Etwa 30 weitere, kleine Wasserkraftwerke speisen das nationale Stromnetz oder werden für den privaten Bedarf genutzt.
- Durch Luxemburg verläuft die Mosel als eine der meist befahrendsten Binnenschiffahrtsstraßen Europas.

Die genannten Aktivitäten sowie ihre ökologischen Auswirkungen werden auch unter Bedingungen des Klimawandels die zentralen Themen der Wasserwirtschaft bleiben. Im Einzelnen stehen der nördliche und der südliche Landesteil aber ganz unterschiedlichen Herausforderungen gegenüber.

Die Nordhälfte des Landes bildet den Naturraum Ösling, der stark bewaldet ist. Der Niederschlagsreichtum sowie die geringe Speicherkapazität der Böden begünstigen häufige Hochwasserereignisse sowie äußerst geringe Niedrigwasserabflüsse während der regenarmen Perioden. Einzige wirtschaftlich nutzbare Grundwasserleiter (Nutzung > 10 m³/Tag) stellen die Quarzite von Berlé dar.

Die Südhälfte des Landes bildet den Naturraum Gutland. Die Vegetationsperiode schwankt hier von 160 bis 190 Tagen. Die hohe Besiedlungsdichte und die gebietsweise sehr intensive Landwirtschaft (v. a. Viehhaltung) haben im Gutland teilweise hohe organische und nährstoffliche Belastungen zur Folge. Gutland besitzt einige bewirtschaftbare Grundwasserleiter. Die Mosel ist mit einem Gesamteinzugsgebiet von 28.286 km² und einem mittleren Abfluss von 328 m³/s der größte Strom des Landes. Trinkwasser wird besonders in der Stadt Luxemburg in stark variierenden Mengen verbraucht (Pendler: Anstieg des Verbrauchs wochentags um 30 %). In den ersten Sommermonaten werden noch einmal zusätzliche 30 % für Kühlung und private Schwimmbecken benötigt. Ungefähr die Hälfte des Trinkwassers werden aus Grundwasser, vor allem aus dem Grundwasserkörper des unteren Lias gewonnen. Regional erhöhter Viehbesatz und eine zum Teil nicht standortgerechte bzw. nicht nachhaltige Anbauweise sind Faktoren die einen erheblichen Einfluss auf die Qualität der Gewässer haben.

Der Klimawandel beeinflusst die Hydrosphäre durch erhöhte Temperaturen und ein geändertes Niederschlagsregime. Die momentane jährliche Niederschlagsmenge von ca. 830 mm wird sich zwar nicht wesentlich ändern. Allerdings ist von regenreicheren Wintern und trockeneren Sommern auszugehen. Außerdem rechnet man damit, dass sowohl Anzahl als auch Intensität von Starkniederschlägen zunehmen wird. Schnee wird als puffernder Speicher nicht mehr zur Verfügung stehen. Es wird zu ausgeprägteren Niedrigwasserständen und Trockenzeiten kommen.

Vor diesem Hintergrund sind die Nutzung und die Eingriffe in Fließgewässer durch Schifffahrt, Wasserkraft, Hochwasserschutz, Stoffeintrag und Wärmeeinleitungen neu zu bewerten. Die Zunahme der Wassertemperatur wird durch die Erhöhung der Lufttemperatur verursacht und durch Verringerung des Abflusses weiter verstärkt. Für den Rhein wird zum Ende des Jahrhunderts beispielsweise eine Zunahme der Tage pro Jahr, an denen 25 °C überschritten werden von 11 auf 64 bzw. 74 erwartet. Gleichzeitig wird keine Unterschreitung von 3 °C mehr erreicht werden. Wärmeliebende Arten, darunter zahlreiche Neobiota, Makrozoobenthos, Fische und Makrophyten aus mündungsnahen Bereichen werden so begünstigt und können sich weiter oben in den Flussläufen ansiedeln. Neben der erhöhten Wärmeexposition werden die Ökosysteme außerdem durch hochwasser- und erosionsbedingte Einschwemmungen von Schad-, Nähr- und Giftstoffen sowie Sediment weiter unter Druck geraten.

Positive Auswirkungen auf die Gewässer hat der Austausch mechanischer Kläranlagen gegen biologische sowie die Anpassung der Kapazitäten der Vorfluter. Ebenfalls wirkt sich der Rückgang des Wasserverbrauchs in der Stahlindustrie positiv auf den Zustand der

Oberflächengewässer aus. Weitere abwassertechnische sowie hydromorphologische und landwirtschaftliche Maßnahmen werden nötig sein, um einen guten ökologischen Zustand an vielen Oberflächenwasserkörper zu erreichen.

In *Tabelle 7* werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrosphäre in Luxemburg sowie in Nachbarländern dargestellt und erläutert. Darüber hinaus wird die Entwicklung einiger, für bestimmte Klimafolgen relevanter Indikatoren, sowohl für Luxemburg, als auch im Vergleich zum europäischen Durchschnitt dargestellt.

Tabelle 7: Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrosphäre

Legende: "+", "=" oder "-" als erstes Zeichen: Zunahme, Konstanz oder Abnahme des jeweiligen Indikators in Luxemburg in diesem Jahrhundert. "+", "=" oder "-" als zweites Zeichen: Änderung in Luxemburg stärker, gleich oder schwächer als der europäische Durchschnitt (www.eea.europa.eu/data-and-maps, www.atlas.impact2c.eu/en/). k. A.: Vergleich mit der untersuchten Literatur nicht möglich.

Klimafolge	Erläuterung	Relevante Indikatoren Entwicklung	Literatur
Veränderung des Wasserdargebots	<i>Erläuterung:</i> Bedingt durch eine Veränderung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Niederschläge kommt es zu einer Veränderung des Wasserdargebots. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Die saisonale Verteilung des Niederschlags hat in den letzten 130 Jahren große Variabilität aufgewiesen 1). Rhein Einzugsgebiet: Durchschnittliche jährliche Abflussmenge der Messstation Raunheim: für die nahe Zukunft werden Zunahmen für Kaub, Köln und Lobith (0 % bis +15 %) erwartet; für die ferne Zukunft werden keine weiteren Tendenzen ausgemacht die mit unterschiedlichen Änderungen im Winter und Sommer zusammenhängen; die durchschnittliche hydrologische Winter-Abflussmenge erhöht sich um 0 % bis +25 % in der nahen und um +5 % bis +40 % in der fernen Zukunft; für den Sommer werden unterschiedliche Tendenzen erwartet allerdings nur in der fernen Zukunft (Abnahme von 30 % bis 5 %; Ausnahme Raunheim). In der fernen Zukunft wird der Monat mit dem niedrigsten und dem höchsten Abfluss früher eintreten. Für die ferne Zukunft ist eine Abnahme der niedrigen Ströme im Sommer mit -25 % bis 0 % für NM7Q offensichtlich, während für den Winter kein klares NM7Q-Änderungssignal erfasst werden kann. Für FDC_Q90 gibt es kein klares Signal für die weite Zukunft. Einige Messungen zeigen Abnahmen, andere zeigen keine klare Tendenz der Veränderung. Die beiden Maße auf den Nebenflüssen Main und Mosel weichen von dem obigen Bild ab. Die Bandbreiten sind in der Regel höher als bei den Messgeräten am Rhein 15). Belgien: Beobachtungen der Niederschläge zeigen, dass zwischen 1833 und dem Ende des 20. Jahrhunderts, die Region Brüssel eine Zunahme der jährlichen Niederschläge von ungefähr 7 % zu verzeichnet hat (Zunahmen von ca. 15 % im Winter und im Frühjahr). Darüber hinaus zeigen die Aufzeichnungen der meisten Klimastationen Belgiens in den letzten 50 Jahren einen Trend hin zu einer signifikanten bzw. hochsignifikanten Zunahme von jährlichen Extremniederschlägen über mehrere Tage hinweg was normalerweise nur im Winter zu beobachten ist 13).	Winterniederschlag + / = Sommerniederschlag - / = Abfluss Sommer - / k. A. Abfluss Winter + / k. A. Grundwassererneuerung + / k. A. Schnee - / - MoMQ (Sauer) Winterhalbjahr + / k. A. MoMQ (Sauer) Sommerhalbjahr = / k. A. MoMHQ (Sauer) Winterhalbjahr + / k. A. MoMHQ (Sauer) Sommerhalbjahr + / k. A. MoMnQ (Sauer) Winterhalbjahr + / k. A. MoMnQ (Sauer) Sommerhalbjahr - / k. A. Strömung Fließgewässer + / =	1); 2); 3); 4); 6); 7); 8); 9); 10); 15)
Gefährdung der Wasserqualität	<i>Erläuterung:</i> Zu einer Gefährdung der Wasserqualität kommt es einerseits eher in stehenden Gewässern aufgrund von intensiveren Hitzeperioden im Sommer, andererseits durch Überschwemmungen im Winter. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Die klimawandelbedingte Verschlechterung der Wasserqualität für den menschlichen Gebrauch führt zu einem Gesundheitsrisiko. Darüber hinaus könnte die Absenkung des Durchflusses der	Wintertemperatur + / - Sommertemperatur + / = Heiße Tage + / - Jahrestemperatur + / = Winterniederschlag + / = Schnee - / - Dürre + / = Sommerniederschlag - / k. A.	1); 3); 4); 5); 6); 9); 10); 11); 15)

	Flussläufe und eine Temperaturerhöhung die Vermehrung von Algen und toxischen Mikroorganismen in Seen und Flüssen erhöhen 12).		
Temperaturerhöhung von stehenden Gewässern	<i>Erläuterung:</i> Eine Temperaturerhöhung in stehenden Gewässern führt zu einer Gefährdung der Wasserqualität (siehe auch Klimafolge <i>Gefährdung der Wasserqualität</i>). <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Die klimawandelbedingte Verschlechterung der Wasserqualität für den menschlichen Gebrauch führt zu einem Gesundheitsrisiko. Darüber hinaus könnte die Absenkung des Durchflusses der Flussläufe und eine Temperaturerhöhung die Vermehrung von Algen und toxischen Mikroorganismen in Seen und Flüssen erhöhen 12).	Sommertemperatur + / = Heiße Tage + / - Jahrestemperatur + / = Dürre + / = Sommerniederschlag - / k. A. Abfluss - / k. A.	1); 2); 4); 5); 6); 11); 15)
Temperaturerhöhung von Fließgewässern	<i>Erläuterung:</i> Durch die Zunahme von Hitzeperioden kann es auch zu einer Temperaturerhöhung in Fließgewässern, Seen und im Grundwasser kommen; Auswirkungen auf chemische und ökologische Parameter. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Der Anstieg der Temperatur von Wasserläufen und die Reduktion ihrer Abflussmenge führen zu Problemen mit der Wasserqualität (das verfügbare Wasser reicht nicht aus um Schadstoffe genügend zu verdünnen und mangelnder Sauerstoff beeinträchtigt die Fischfauna) 12).	Sommertemperatur + / = Heiße Tage + / - Jahrestemperatur + / = Dürre + / = Sommerniederschlag - / k. A. Abfluss - / k. A.	1); 2); 4); 5); 6); 11)
Zunahme der Niederschlagsvariabilität	<i>Erläuterung:</i> Durch eine veränderte räumliche und zeitliche Verteilung der Niederschläge wie z.B. Sommergewitter und Starkregenereignisse kommt es zu einer Zunahme der Niederschlagsvariabilität. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Die saisonale Verteilung des Niederschlags hat in den letzten 130 Jahren große Variabilität aufgewiesen. Zunahme der Frequenz von Hochwässern als Resultat von gravierenden Umverteilungen der Niederschläge im Winter und einer Zunahme des maximalen täglichen Abflusses im Winter 1).	Dürre + / = Sommerniederschlag - / k. A. Abfluss - / k. A. Starkniederschlag + / = Winterniederschlag + / = Grundwassererneuerung + / k. A.	1); 2); 3); 6); 15)
Zunahme von Schäden durch Extremereignisse	<i>Erläuterung:</i> Bedingt durch eine potenzielle Zunahme von Hochwasser- und Sturmereignissen aber auch Hitzeperioden. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Steigende Niederschläge, insbesondere im Winter, verschärfen die Hochwassersituation in den Flusstälern. Neben der Schifffahrt sind hiervon vor allem die Land- und Forstwirtschaft sowie die Erholungsnutzung, aber auch Infrastrukturen – Straßen, Schienen, Stromleitungen und Telekommunikationseinrichtungen – betroffen. Innerhalb der Siedlungen kann es zu Schäden an Gebäuden sowie zu Umweltverschmutzungen durch ungesicherte Lagerbestände wassergefährdender Stoffe wie Heizöl kommen 5). Frankreich: Generell zeigt sich, dass aufgrund der Intensivierung des Wasserkreislaufes das Risiko für Überschwemmungen im Frühling und im Winter ansteigt ebenso wie die Dauer von Niedrigwasser im Juni/Juli und im Oktober/November 14).	Winterniederschlag + / = Sommerniederschlag - / = Starkniederschlag + / = Hochwasser + / k. A. Strömung Fließgewässer + / =	1); 2); 4); 5); 10)
Zunahme von Trockenperioden	<i>Erläuterung:</i> Engpässe in der Versorgungssicherheit in Gebieten mit temporärem Wasserdefizit.	Dürre + / =	1); 2); 3); 4); 5); 6)

	<i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Zunahme von Frequenz und Länge von Trockenperioden 1). Rheinland-Pfalz: Extrem warme Frühlingstage sind in ganz Rheinland-Pfalz viel häufiger, außergewöhnlich kalte Tage entsprechend seltener geworden. Im Sommer treten ebenfalls im ganzen Land extrem heiße Tage verstärkt auf. Außergewöhnlich kalte Tage hingegen sind nur im Westen deutlich seltener, ansonsten in Rheinland-Pfalz eher gleichwahrscheinlich geblieben 10).		
Zunahme des Wasserbedarfs	<i>Erläuterung:</i> Bedingt durch eine Zunahme der Trockenperioden kommt es zu einer Zunahme des Wasserbedarfs in verschiedenen Sektoren. <i>Bezug Literatur:</i> Belgien: Der Wasserbedarf während des Sommers wird zunehmen, vor allem wenn Bewässerung zu einer weitverbreiteten Praxis wird. Trockene Sommer und die Zunahme der Evapotranspiration in Kombination mit einer möglichen Abnahme der Niederschläge werden den Grundwasserspiegel signifikant senken 13); 14).	Heiße Tage + / - Sommertemperatur + / = Dürre + / = Sommerniederschlag - / = Tropennächte + / -	1); 4); 5); 6); 8); 15)
Veränderung der saisonalen Niederschlagsverteilung	<i>Erläuterung:</i> Klimaprojektionen zeigen eine Abnahme der Niederschläge im Sommer und eine Zunahme im Winter. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Zunahme der Frequenz von Hochwässern als Resultat von gravierenden Umverteilungen der Niederschläge im Winter und einer Zunahme des maximalen täglichen Abflusses im Winter. Die saisonale Verteilung des Niederschlags hat in den letzten 130 Jahren große Variabilität aufgewiesen 1). Mosel- und Saareinzugsgebiet: Niederschlagsentwicklung für die Periode 2021-2050 (Referenzperiode 1971-2000): Während die Sommer in Zukunft trockener werden, nehmen die Niederschläge in den Winterhalbjahren zu 6). Deutschland: Analysen der täglichen Niederschläge im Winter zeigen für den Zeitraum 1951-2006 eine Zunahme der Tage mit hohen Niederschlagsmengen um ca. 25 %. Die Zunahmen treten in allen Regionen Deutschlands auf. Die Jahreszeiten Frühjahr und Herbst weisen einen leicht ansteigenden Trend auf. Zunahme der Jahresniederschlagshöhe um 11 % in 135 Jahren; Niederschlagsanstieg im Frühling, Herbst und Winter, aber nicht im Sommer; Hinweise auf früheren Beginn und späteres Ende der Saison mit konvektiven Niederschlägen bei gleichzeitig stärkerer Ausprägung der Starkregenereignisse 4). Belgien: Regionale Projektionen für Belgien sagen eine maximale Zunahme der Winterniederschläge bis zu 60 % und eine maximale Abnahme der Sommerniederschläge bis zu 70 % für die Periode 2071-2100 (Referenzperiode 1961-1990) voraus 3). Rheinland-Pfalz: Für alle betrachteten Zukunftsszenarien wird die weitere Fortsetzung des in Rheinland-Pfalz beobachteten Trends zu steigenden Winterniederschlagshöhen und zur Abnahme der mittleren Niederschlagsspenden im Sommer abgeschätzt 10). Saarland: Die Sommer im Saarland werden trockener (bis Ende des Jahrhunderts zwischen 15 und 40 % geringere mittlere Niederschlagsmengen; größtmöglicher Rückgang: über 50 %); die Winter im Saarland werden feuchter (je nach Klimamodell bis Ende des Jahrhunderts zwischen 5 und 70 % höhere mittlere	Dürre + / = Sommerniederschlag - / k. A. Abfluss - /k. A. Starkniederschlag + / = Winterniederschlag + / = Grundwassererneuerung + / k. A.	1); 3); 4); 9); 10); 15)

	Niederschlagsmengen); stark abnehmende Schneemengen im Winter (bis Ende des Jahrhunderts um 69 bis 98 %); Abnahme der Anzahl der RegenTage bis Ende des Jahrhunderts im Sommer (-6 bis -22 Tage) und eine Zunahme im Winter (0 bis +9 Tage) 9).		
Veränderung des Abflussregimes	<i>Erläuterung:</i> Bedingt durch eine Veränderung der Niederschlagsverteilung. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Die saisonale Verteilung des Niederschlags hat in den letzten 130 Jahren große Variabilität aufgewiesen 1). Rhein Einzugsgebiet: Durchschnittliche jährliche Abflussmenge der Messstation Raunheim; für die nahe Zukunft werden Zunahmen für Kaub, Köln und Lobith (0 % bis +15 %) erwartet; für die ferne Zukunft werden keine weiteren Tendenzen ausgemacht die mit unterschiedlichen Änderungen im Winter und Sommer zusammenhängen; die durchschnittliche hydrologische Winter-Abflussmenge erhöht sich um 0 % bis +25 % in der nahen und um +5 % bis +40 % in der fernen Zukunft; für den Sommer werden unterschiedliche Tendenzen erwartet allerdings nur in der fernen Zukunft (Abnahme von 30 % bis 5 % Ausnahme Raunheim). In der fernen Zukunft wird der Monat mit dem niedrigsten und dem höchsten Abfluss immer früher einzutreten. Für die ferne Zukunft ist eine Abnahme der niedrigen Ströme im Sommer mit -25 % bis 0 % für für NM7Q offensichtlich, während für den Winter kein klares NM7Q-Änderungssignal erfasst werden kann. Für FDC_Q90 gibt es kein klares Signal für die weite Zukunft. Einige Messungen zeigen Abnahmen, andere zeigen keine klare Tendenz der Veränderung. Die beiden Maße auf den Nebenflüssen Main und Mosel weichen von dem obigen Bild ab. Die Bandbreiten sind in der Regel höher als bei den Messgeräten am Rhein 15). Deutschland: Analysen der täglichen Niederschläge im Winter zeigen für den Zeitraum 1951-2006 eine Zunahme der Tage mit hohen Niederschlagsmengen um ca. 25 %. Die Zunahmen treten in allen Regionen Deutschlands auf. Die Jahreszeiten Frühjahr und Herbst weisen einen leicht ansteigenden Trend auf. Zunahme der Jahresniederschlagshöhe um 11 % in 135 Jahren; Niederschlagsanstieg im Frühling, Herbst und Winter, aber nicht im Sommer; Hinweise auf früheren Beginn und späteres Ende der Saison mit konvektiven Niederschlägen bei gleichzeitig stärkerer Ausprägung der Starkregenereignisse 4).	Abfluss - / k. A. Abfluss Winter + / k. A. Abfluss Sommer - / k. A.	1); 2); 3); 4); 5); 6); 15)
Zunahme der Anzahl an Hochwässern und veränderte Erwartungswerte	<i>Erläuterung:</i> Bedingt durch eine potenzielle Zunahme von Starkniederschlägen kann es zu einer Zunahme von Hochwässern kommen. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Zunahme der Frequenz von Hochwässern als Resultat von gravierenden Umverteilungen der Niederschläge im Winter und einer Zunahme des maximalen täglichen Abflusses im Winter. Zunahme des Risikos von Hochwasserströmen und eine Zunahme des Risikos von Trockenperioden 1). Rhein Einzugsgebiet: Veränderungen von Spitzenabflüssen: Für Raunheim (Main), Trier (Mosel), Köln und Lobith wird vor allem für die ferne Zukunft eine Zunahme projiziert. Für die nahe Zukunft sind die Tendenzen kleiner bzw. fehlen (Ausnahme Raunheim). Die Unsicherheit in den Modellen wird von der nahen zur fernen Zukunft größer. Die Unsicherheiten nehmen von MHQ zu HQ1000 zu. Keine Konklusion für Messstellen mit einem Strömungsregime möglich, das von sommerlichen Spitzenabflüssen gekennzeichnet ist (z.B. Basel, Maxau und Worms) 15).	Starkniederschlag + / = Winterniederschlag + / = Hochwasser + / k. A. Strömung Fließgewässer + / =	1); 2); 5); 6); 7); 8)

	Frankreich: Generell zeigt sich, dass aufgrund der Intensivierung des Wasserkreislaufes das Risiko für Überschwemmungen im Frühling und im Winter ansteigt ebenso wie die Dauer von Niedrigwasser im Juni/Juli und im Oktober/November 14). Belgien: Eine Zunahme der Strömung von Fließgewässern von 4 bis 28 % bis 2100 wird prognostiziert, was in einer Zunahme des Hochwasserrisikos in allen untersuchten Einzugsgebieten resultiert 7). Saarland: Aufgrund höherer Niederschlagssummen im Winterhalbjahr und vermehrter Starkregenereignisse wird eine klimawandelbedingte Zunahme der 10- und 50-jährigen Hochwasserereignisse erwartet 9).		
Absenkung des Grundwasserspiegels	<i>Erläuterung:</i> Durch Veränderungen der Niederschlagsverteilung sowie vermehrten Trockenperioden kommt es zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels. <i>Bezug Literatur:</i> Belgien: Während der Wintermonate wird davon ausgegangen, dass die Grundwassererneuerung zunehmen wird. Obwohl das z. T. durch sommerliche Trockenperioden kompensiert wird, könnten in spezifischen Regionen (vor allem in Bergbaugebieten) höhere Grundwasserleitern möglicherweise zu Hochwasser beitragen 8).	Dürre + / = Sommerniederschlag - / k. A. Sommertemperatur + / =	1); 2); 3); 4); 5); 15)
Veränderung des Naturgefahrenpotenzials	<i>Erläuterung:</i> Durch eine potenzielle Zunahme von Extremereignissen kommt es zu einer Veränderung des Naturgefahrenpotenzials. <i>Bezug Literatur:</i> Luxemburg: Zunahme der Frequenz von Hochwässern als Resultat von gravierenden Umverteilungen der Niederschläge im Winter und einer Zunahme des maximalen täglichen Abflusses im Winter 2). Die Trockenheit führt zu hygienischen Problemen bei der Stadtentwässerung, wenn Abwasserkanäle nicht mehr genügend Wasser führen und damit nicht mehr ausreichend durchspült werden. Extremniederschläge wie Starkregen führen im Gegensatz zu Hochwasser zu plötzlichen Sturzfluten, die nicht nur die Flüsse über ihre Ufer treten lassen, sondern auch einen Rückstau im Kanalsystem bedingen können. Wasser wird aus den Kanälen in die Straßenräume und Gebäudekeller gedrückt, Freiflächen geflutet. Steigende Niederschläge, insbesondere im Winter, verschärfen die Hochwassersituation in den Flusstälern. Neben der Schifffahrt sind hiervon vor allem die Land- und Forstwirtschaft sowie die Erholungsnutzung, aber auch Infrastrukturen – Straßen, Schienen, Stromleitungen und Telekommunikationseinrichtungen – betroffen. Innerhalb der Siedlungen kann es zu Schäden an Gebäuden sowie zu Umweltverschmutzungen durch ungesicherte Lagerbestände wassergefährdender Stoffe wie Heizöl kommen 1). Frankreich: Generell zeigt sich, dass aufgrund der Intensivierung des Wasserkreislaufes das Risiko für Überschwemmungen im Frühling und im Winter ansteigt genau wie die Dauer von Niedrigwasser im Juni/Juli und im Oktober/November 9). Deutschland: Statistische Analysen der hagelrelevanten Konvektionsparameter zeigen für die vergangenen 20-30 Jahre eine leichte Zunahme des Potenzials 6).	Starkniederschlag + / = Stürme + / k. A. Winterniederschlag + / = NN7Q = / k. A. NM7Q - / k. A. HQ10 + / k. A. HQ50 + / k. A. HQ100 + / k. A. Abfluss Winter + / k. A. Abfluss Sommer - /k. A.	5); 3); 7); 15)

Veränderte Gefährdungsgebiete	Erläuterung: Reaktion der Raumordnung auf verändertes Naturgefahrenpotenzial; Sicherung von Siedlungs- und Versorgungsinfrastruktur. Bezug Literatur: Luxemburg: Zunahme der Frequenz von Hochwässern als Resultat von gravierenden Umverteilungen der Niederschläge im Winter und einer Zunahme des maximalen täglichen Abflusses im Winter 2). Die Trockenheit führt zu hygienischen Problemen bei der Stadtentwässerung, wenn Abwasserkanäle nicht mehr genügend Wasser führen und damit nicht mehr ausreichend durchspült werden. Extremniederschläge wie Starkregen führen im Gegensatz zu Hochwasser zu plötzlichen Sturzfluten, die nicht nur die Flüsse über ihre Ufer treten lassen, sondern auch einen Rückstau im Kanalsystem bedingen können. Wasser wird aus den Kanälen in die Straßenräume und Gebäudekeller gedrückt, Freiflächen geflutet. Steigende Niederschläge, insbesondere im Winter, verschärfen die Hochwassersituation in den Flusstälern. Neben der Schifffahrt sind hiervon vor allem die Land- und Forstwirtschaft sowie die Erholungsnutzung, aber auch Infrastrukturen – Straßen, Schienen, Stromleitungen und Telekommunikationseinrichtungen – betroffen. Innerhalb der Siedlungen kann es zu Schäden an Gebäuden sowie zu Umweltverschmutzung durch ungesicherte Lagerbestände wassergefährdender Stoffe wie Heizöl kommen 1). Frankreich: Generell zeigt sich, dass aufgrund der Intensivierung des Wasserkreislaufes das Risiko für Überschwemmungen im Frühling und im Winter ansteigt, ebenso wie die Dauer von Niedrigwasser im Juni/Juli und im Oktober/November 9). Rhein Einzugsgebiet: Veränderungen von Spitzenabflüssen: Für Raunheim (Main), Trier (Mosel), Köln und Lobith wird vor allem für die ferne Zukunft eine Zunahme projiziert. Für die nahe Zukunft sind die Tendenzen kleiner bzw. fehlen (Ausnahme Raunheim). Die Unsicherheit in den Modellen wird von der nahen zur fernen Zukunft größer. Die Unsicherheiten nehmen von MHQ zu HQ1000 zu. Keine Konklusion für Messstellen mit einem Strömungsregime möglich das von sommerlichen Spitzenabflüssen gekennzeichnet ist (z. B. Basel, Maxau und Worms) 12). Durchschnittliche jährliche Abflussmenge der Messstation Raunheim; für die nahe Zukunft werden Zunahmen für Kaub, Köln und Lobith (0 % bis +15 %) erwartet; für die ferne Zukunft werden keine weiteren Tendenzen ausgemacht die mit unterschiedlichen Änderungen im Winter und Sommer zusammenhängen; die durchschnittliche hydrologische Winter-Abflussmenge erhöht sich um 0 % bis +25 % in der nahen und um +5 % bis +40 % in der fernen Zukunft; für den Sommer werden unterschiedliche Tendenzen erwartet allerdings nur in der fernen Zukunft (Abnahme von 30 % bis 5 % Ausnahme Raunheim). In der fernen Zukunft wird der Monat mit dem niedrigsten und dem höchsten Abfluss früher eintreten 12).	Hochwasser + / k. A. Winterniederschlag + / = Grundwassererneuerung + / k. A. Schnee - / - MoMQ (Sauer) Winterhalbjahr + / k. A. MoMQ (Sauer) Sommerhalbjahr = / k. A. MoMHQ (Sauer) Winterhalbjahr + / k. A. MoMHQ (Sauer) Sommerhalbjahr + / k. A. MoMnQ (Sauer) Winterhalbjahr + / k. A. MoMnQ (Sauer) Sommerhalbjahr - / k. A. Strömung Fließgewässer + / = Abfluss Winter + / k. A. Abfluss Sommer - / k. A.	3); 5); 7); 15)
--------------------------------------	---	--	------------------------

Literatur: 1) OECD 2013; 2) Ministerium für Inneres und Sport des Saarlandes 2012; 3) Ntegeka et al. 2009; 4) DWD 2016; 5) Ministère du Développement durable et des Infrastructures 2012; 6) Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg 2015; 7) Gellens & Roulin 1998; 8) d'Ieteren et al. 2004; 9) Ministerium für Inneres und Sport des Saarlandes 2012; 10) Ministerium für Umwelt, Forst und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz 2007; 11) Baguis et al. 2009; 12) Ministère du Développement durable et des Infrastructures 2011a; 13) National Climate Commission 2010; 14) Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique 2007; 15) Görgen et al. 2010.

2.2.4. Zusammenfassung

In den Kapiteln 2.2.1 bis 2.2.3 wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf Bio-, Pedo- und Hydrosphäre dargestellt. *Tabelle 8* gibt einen Überblick über deren wichtigsten Klimafolgen.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Auswirkungen des Klimawandels auf Luxemburg

	Klimafolge
Biosphäre	Veränderung der Artenzusammensetzung
	Verschiebung von Lebensräumen
	Invasive Neobiota
	Zunahme heimischer Schadorganismen
	Auftreten neuer Krankheitserreger
	Förderung heimischer Krankheitserreger
	Veränderung des Wasserdargebots
	Gefährdung von Feuchtlebensräumen
	Steigender Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft
	Verlängerung der Vegetationsperiode
	Änderung des Ertragspotenzials
	Zunahme von Extremwetterereignissen
	Veränderung der Phänologie/des Fortpflanzungsverhaltens
	Zunahme abiotischer Waldschäden
	Zunehmende Waldbrandgefahr
Pedosphäre	Beschleunigung von Umsetzungsprozessen (Böden)
	Erhöhte Bodenerosion
	Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit, -struktur & -stabilität
Hydrosphäre	Veränderung des Wasserdargebots
	Gefährdung der Wasserqualität
	Temperaturerhöhung von stehenden Gewässern
	Temperaturerhöhung von Fließgewässern
	Zunahme der Niederschlagsvariabilität
	Zunahme von Schäden durch Extremereignisse
	Zunahme von Trockenperioden
	Zunahme des Wasserbedarfs
	Veränderung der saisonalen Niederschlagsverteilung

3. METHODIK BEI DER ERSTELLUNG DER STRATEGIE

Im folgenden Teil wird umrissen, wie die Vulnerabilität für 13 Sektoren Luxemburgs (siehe Kapitel 4) erhoben und bewertet wurde, um, darauf aufbauend, Maßnahmen auszuarbeiten (siehe Kapitel 5).

3.1. Literaturrecherche

Basierend auf einer umfassenden Literaturrecherche, bei der unter anderem die Anpassungsstrategien der Nachbarländer Luxemburgs gesichtet wurden (z.B. Deutschland: Saarland, Rheinland-Pfalz; Belgien, Frankreich), wurde eine Liste möglicher Klimafolgen für folgende Sektoren erstellt:

- Bauen und Wohnen
- Energie
- Forstwirtschaft
- Infrastruktur
- Krisen- und Katastrophenmanagement
- Landesplanung
- Landwirtschaft inkl. pflanzlicher und tierischer Gesundheit
- Menschliche Gesundheit
- Ökosysteme und Biodiversität
- Tourismus
- Urbane Räume
- Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
- Wirtschaft

Berücksichtigt bei dieser Literaturrecherche wurden sowohl bereits beobachtete als auch projizierte Veränderungen. Die Ergebnisse dieser Recherche sind sowohl in die Kapitel 2.2 als auch 4 eingearbeitet.

3.2. Erstellung der 9-Felder-Klimafolgenmatrix

Die durch die Literaturrecherche identifizierten Klimafolgen wurden für jeden der 13 Sektoren in einer 9-Felder-Klimafolgenmatrix angeordnet und bewertet. Diese Bewertung fand mit Hilfe folgender drei Fragen statt:

1. Wie groß ist die erwartete Veränderung der betrachteten Klimafolge durch den Klimawandel bis 2050? Positionierung auf der y-Achse der Matrix: hoch, mittel, klein.
2. Wie wichtig ist die betrachtete Klimafolge im Vergleich zu anderen Klimafolgen? Positionierung der Klimafolgen zueinander.
3. Wie relevant ist die Veränderung der betrachteten Klimafolge für das Großherzogtum Luxemburg? Positionierung auf der x-Achse der Matrix: hoch, mittel, klein.

Die Positionierung der Klimafolgen auf den 9-Felder-Matrizen basierte auf der Literaturrecherche sowie der Unterstützung von Experten des LIST und verschiedener Ministerien.

Die Beurteilung erfolgte aus Sicht des jeweiligen Sektors. Klimafolgen sind nur innerhalb eines Sektors und nicht zwischen Sektoren vergleichbar, da die Einordnung nicht auf einheitlichen quantitativ messbaren Größen beruht. So kann es sein, dass dieselbe Klimafolge in verschiedenen Sektoren unterschiedlich beurteilt wurde.

3.3. Erhebung von bestehenden Maßnahmen

Die vom Auftraggeber übermittelten Unterlagen wurden hinsichtlich bereits bestehender Maßnahmen mit Relevanz für den Anpassungsprozess aufbereitet. Diese Liste erhält keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

3.4. Definition neuer Maßnahmen

Basierend auf der ausgewerteten Literatur wurden gleichzeitig Lücken im Maßnahmenkatalog hinsichtlich der ausgewählten, priorisierten Klimafolgen eruiert. In Kapitel 5 werden sowohl bestehende als auch zukünftige Maßnahmen erläutert.

4. KLIMAFOLGEN DER SEKTOREN, PRIORISIERUNG, ABGELEITETE HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

In den folgenden Kapiteln werden für 13 Sektoren Klimafolgen identifiziert. Diese Klimafolgen beziehen sich auf den Zeithorizont 2050. In der Ausformulierung der Maßnahmen (siehe Kapitel 5) wird jedoch ein Planungshorizont bis 2030 angesetzt.

4.1. Bauen und Wohnen

4.1.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

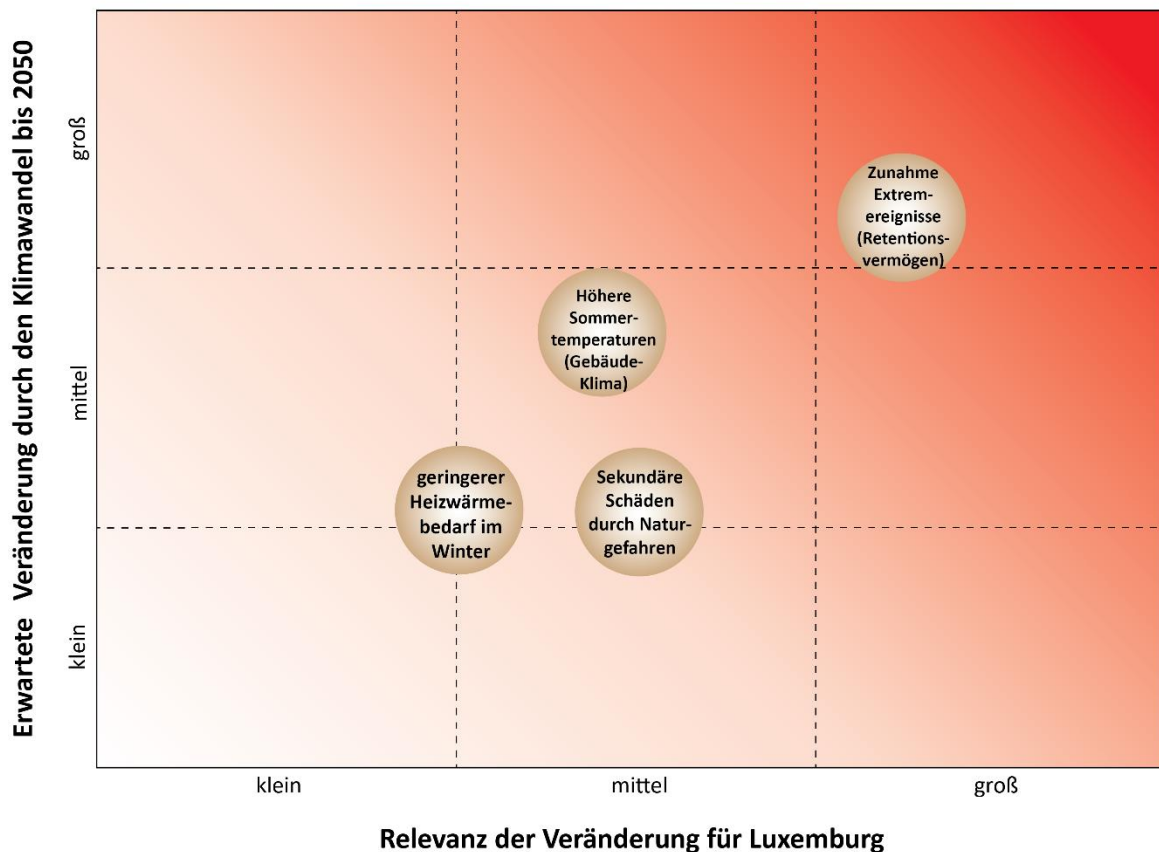
Für den Sektor Bauen und Wohnen ergibt sich aufgrund der steigenden Temperaturen sowie durch eine veränderte Naturgefahrenexposition Handlungsbedarf zur Einschränkung des Gefahrenpotenzials für Siedlungsgebiete sowie Infrastrukturen.

Steigende Temperaturen resultieren in einem erhöhten Kühlbedarf in den Sommermonaten. Gebäudeplanung und Haustechnik müssen an diese Temperaturen mit zunehmenden Hitzetagen angepasst werden, um gesundheitliche Belastungen der Bevölkerung sowie Schäden an Infrastrukturen einzudämmen.

Entscheidend für die Prävention von Hochwässern ist ein hohes Retentionsvermögen von Infrastrukturen und Grundstücken. Vor allem bei der Gestaltung von Neubauten ist dies zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang erstellt das luxemburgische *Wasserwirtschaftsamt* Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten im Rahmen der *Hochwasserrisikomanagementrichtlinie* (EU HWRM-RL 2007/60/EG). Diese Hochwassergefahrenkarten zeigen, an welchen Fließgewässern bei bestimmten Extremereignissen Hochwasser auftritt und welche Bereiche überflutet werden. Hochwasserrisikokarten geben darüber hinaus Auskunft, welche Nutzungen und kritischen Infrastrukturen in den potenziell überfluteten Bereichen liegen (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012).

4.1.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix

Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor „Bauen und Wohnen“ in Luxemburg



4.1.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix (Kapitel 4.1.2) werden nachstehende Klimafolgen als prioritär angesehen:

- Stärkere Auswirkungen von Extremereignissen
- Höhere Sommertemperaturen (Gebäudeklima)

4.1.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 werden in Kapitel 5.1 nachstehende, aus den priorisierten Klimafolgen abgeleitete Maßnahmen erstellt:

- Anpassen der Baunormen an extremere klimatische Bedingungen und projizierte Veränderungen
- Ausarbeitung einer Anleitung „Klimasicheres Bauen“

4.2. Energie

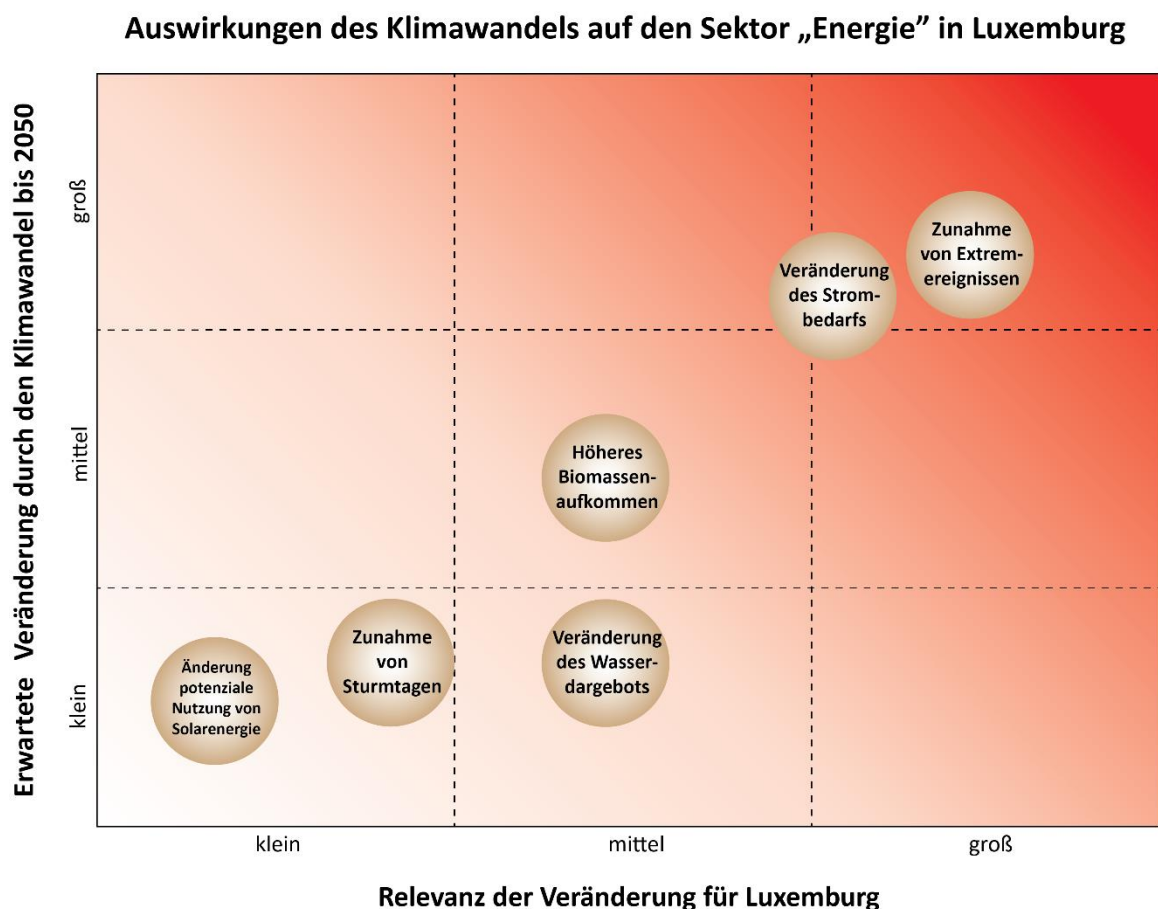
4.2.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

Die Energieversorgung von Luxemburg basiert zum Großteil auf dem Import von Öl (rund 60 % im Jahr 2013). Die Energiegewinnung durch Wasserkraft (0,3 %) sowie Windkraft (0,2 %) bzw. Solarenergie (0,2 %) spielt eine untergeordnete Rolle (IEA, 2014). Obwohl die Auswirkungen des Klimawandels, wie z.B. Änderungen der saisonalen Niederschlagsverteilung, die Energieversorgung Luxemburgs nicht substantiell gefährden werden, stellt dies eine Herausforderung für Wasserkraftwerke dar.

Darüber hinaus wird sich die Elektrizitätswirtschaft auf eine Zunahme von Extremwetterereignissen wie Überflutungen oder einem Anstieg der Sturmereignisse ab Mitte des Jahrhunderts einzustellen haben. Es ist von einer Zunahme der Störungshäufigkeit von Transport-, Speicher- und Übertragungsinfrastruktur auszugehen.

Auch wird sich der Energiebedarf aufgrund niedrigerer Wintertemperaturen bzw. höherer Sommertemperaturen verschieben zumal für den Sommer mit einem erhöhten Kühlbedarf und im Winter mit einem geringeren Heizwärmebedarf zu rechnen ist.

4.2.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix



4.2.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix (Kapitel 4.2.2) werden nachstehende Klimafolgen als prioritär angesehen:

- Zunahme der Folgen von Extremereignissen
- Veränderung des Strombedarfs
- Höheres Biomasseaufkommen

4.2.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 werden in Kapitel 5.2 nachstehende, aus den priorisierten Klimafolgen abgeleitete Maßnahmen erstellt:

- Überprüfung und Anpassung der vorhandenen Energieinfrastrukturen in Bezug auf die Vulnerabilität gegenüber Extremereignissen
- Bewusstseinsbildende Maßnahmen zum Thema Energiesparen und Ausbau von dezentraler Solarenergie und anderen ungenutzten Energiequellen
- Ausbau von Biomassekraftwerken unter Berücksichtigung von Aspekten der Nachhaltigkeit

4.3. Forstwirtschaft

4.3.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

35 % der Landesfläche des Großherzogtums sind bewaldet. Obwohl von Natur aus in Luxemburg ein buchendominierter Laubwald wachsen würde, ist aufgrund der Bewirtschaftung der Wälder der letzten Jahrhunderte ein knappes Drittel (32 %) der Waldfläche mit Nadelholz bestockt (vorwiegend Fichte mit 19 %, gefolgt von Douglasie 3 % und Kiefer 1 %)².

Im Hinblick auf die Standorteignung dieser Bestände im Kontext des Klimawandels, der mit einer Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur bzw. einer Zunahme von Trockenperioden einhergeht, steht die Forstwirtschaft des Großherzogtums vor Herausforderungen zumal rund 9.500 ha der Waldfläche als überaltert eingestuft werden (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2016). Dies muss auch im Licht des phytosanitären Zustandes des Luxemburger Waldes betrachtet werden: der Anteil gesunder Bäume hat seit 1986 von 75 % auf 33 % im Jahr 2015 abgenommen³. Dadurch ist der Luxemburger Wald gegenüber biotischen und abiotischen Störungen besonders anfällig.

² https://environnement.public.lu/fr/natur/forets/L_Inventaire_Forestier_National.html

³ <http://www.statistiques.public.lu/stat/>, Phytosanitary status (in %) 1986 - 2015

Weiters kommt es, bedingt durch die Verlängerung der Vegetationsperiode, zur Ausbildung mehrerer Generation von Schadinsekten (z.B. Borkenkäfer) sowie zur Einwanderung neuer invasiver Schädlinge, die zusätzlichen Druck auf Waldökosysteme ausüben.

Auch können längere Trockenperioden das Waldbrandrisiko erhöhen⁴. Besonders für West- und Zentraleuropa wird eine starke relative Zunahme der Waldbrandgefahr erwartet⁵. Höhere Temperaturen erhöhen außerdem den Hitzestress der Pflanzen und erhöhen die Evapotranspiration. Im Winter werden die für die Abholzung günstigen Zeiträume aufgrund der Reduzierung des Frosts reduziert und die Arbeit im Wald wird komplexer.

Abgesehen von den negativen Auswirkungen des Klimawandels kann bei ausreichender Wasserversorgung mit einer temperaturbedingten Zunahme der Produktivität von Wäldern gerechnet werden. Darüber hinaus führt eine Beschleunigung von Umsetzungsprozessen in Waldböden zur Veränderung der Nährstoffverfügbarkeit.

Was die Zunahme abiotischer Störungsfaktoren wie etwa Stürme angeht, so können für die Forstwirtschaft ebenfalls höhere Schäden als bisher verursacht werden. Dies ist allerdings mit großen Unsicherheiten behaftet.

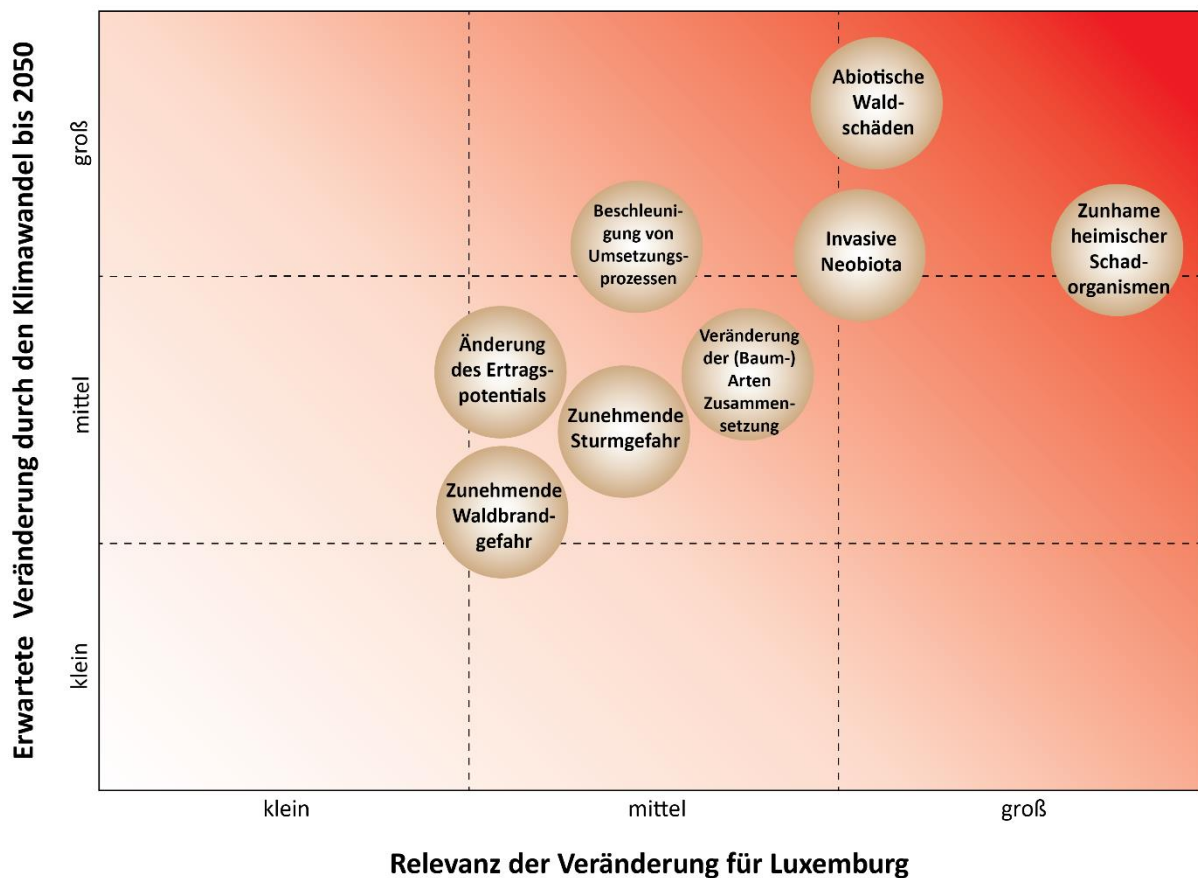
Fragmentierte Wälder werden verstärkt von negativen Randeffekte (Edge effect) belastet werden, unter anderem wegen der erhöhte Lichtabschirmung und Temperatur.

⁴ <https://environnement.public.lu/fr/actualites/2018/07/canicule.html>

⁵ http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/forest-fire-danger-2/assessment/#_edn5

4.3.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix

Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor „Forstwirtschaft“ in Luxemburg



4.3.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix (Kapitel 4.3.2) werden nachstehende Klimafolgen als prioritär angesehen:

- Zunahme heimischer Schadorganismen
- Invasive Neobiota
- Veränderung der (Baum-) Artenzusammensetzung
- Beschleunigung von Umsetzungsprozessen (Böden)

Es ist zu bemerken, dass in einem komplexen Ökosystem wie der Wald eine sehr starke Verknüpfung zwischen den aufgeführten Klimafolgen die in der Matrix genannt sind besteht, vor allem die abiotischen Waldschäden. Auch wenn man diese Schäden nicht direkt beeinflussen kann (oder durch Maßnahmen in anderen Sektoren), soll man den Wald so bewirtschaften dass diese Folgen minimiert werden.

4.3.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 werden in Kapitel 5.3 nachstehende, aus den priorisierten Klimafolgen abgeleitete, Maßnahmen erstellt:

- Flächendeckende Waldbiotopkartierung und Erstellung eines Maßnahmenkatalogs zur zukunftsfähigen Waldbewirtschaftung in einem sich ändernden Klima
- Umbau von Monokulturen zu Mischwäldern
- Erhaltung, Verbesserung bzw. Wiederherstellung der Funktionen des Waldbodens, insbesondere als Wasser- und Kohlenstoffspeicher sowie als Nährstofflieferant

4.4. Infrastruktur

4.4.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

Der Motorisierungsgrad Luxemburgs nimmt einen europäischen Spitzenplatz ein (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2011b). Entsprechend entwickelt sind die Transportinfrastrukturen. Im Kontext des Klimawandels sind allerdings auch Infrastruktureinrichtungen der Telekommunikation, der Wasserversorgung aber auch öffentliche Gebäude zu betrachten, die besonders von einer Zunahme von Extremereignissen betroffen sein werden. Konkrete Aussagen zu bisherigen Änderungen der Häufigkeit schadensverursachender Extremereignisse sind allerdings wegen der zum Teil unzureichender Datenlage mit Unsicherheiten behaftet.

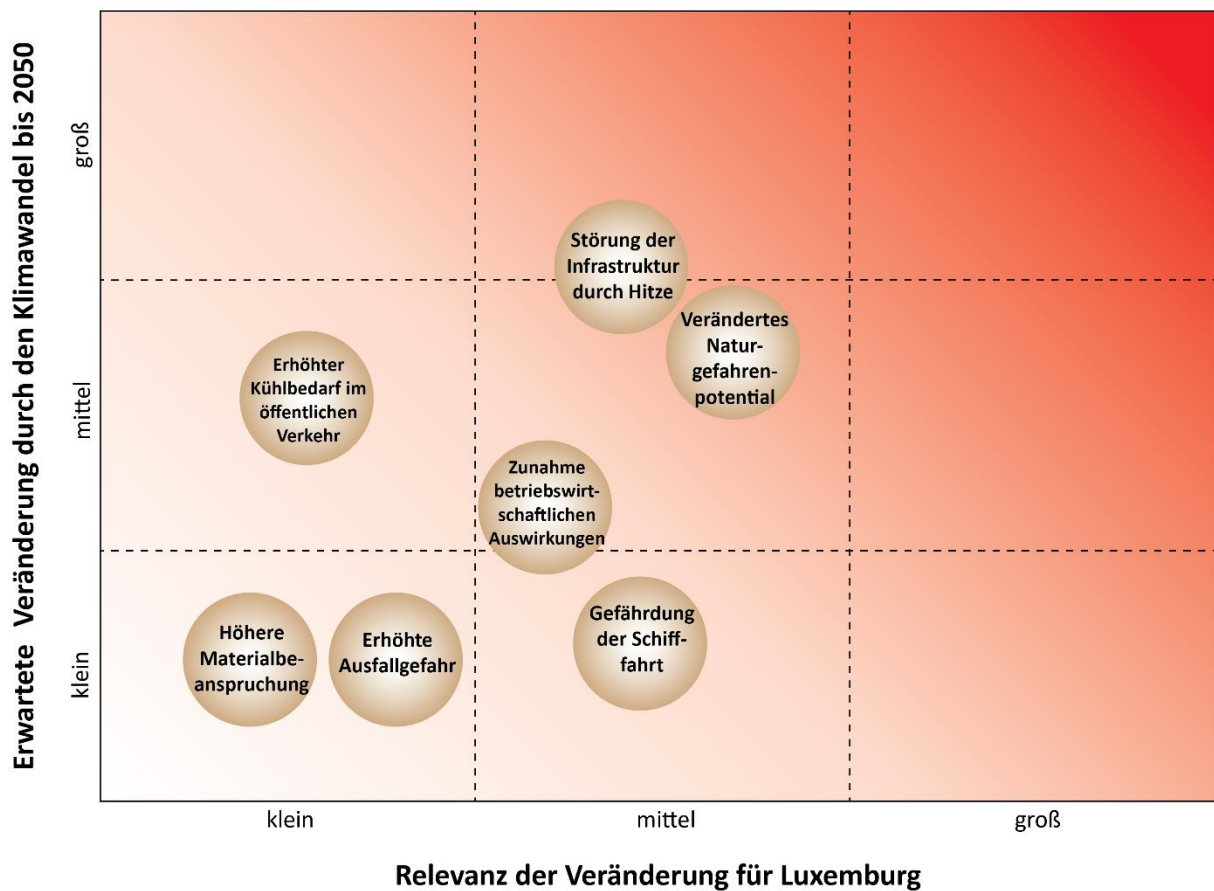
Die potenzielle Zunahme von Starkniederschlags-, Hochwasser- oder Sturmereignissen hat jedoch negative betriebswirtschaftliche Auswirkungen. Dies kann zum einen das Straßen- und Schienennetz aber auch Infrastruktureinrichtungen wie den Flughafen Findel treffen. In diesem Zusammenhang sind auch das Cargocenter Luxemburg, Elektrizitäts- oder Telekommunikationsleitungen, Alten- und Pflegeheime, Kindergärten und Schulen aber auch kulturell bedeutsame Objekte zu erwähnen.

Hinsichtlich der Zunahme von Hitzewellen muss mit erhöhtem Kühlbedarf im öffentlichen Verkehr, höherer Materialbeanspruchung aber auch mit einer Störung der IT Infrastruktur gerechnet werden.

Von einer Beeinträchtigung auf Wasserstraßen bei Niedrigwasser ist in Luxemburg, mit Ausnahme der Mosel, kaum auszugehen (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012).

4.4.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix

Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor „Infrastruktur“ in Luxemburg



4.4.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix (Kapitel 4.4.2) werden nachstehende Klimafolgen als prioritär angesehen:

- Störung der Infrastruktur durch Hitze
- Verändertes Naturgefahrenpotential

4.4.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 werden in Kapitel 5.4 nachstehende, aus den priorisierten Klimafolgen abgeleitete, Maßnahmen erstellt:

- Identifizierung von kritischen Infrastrukturen und Initiierung von Maßnahmen zur Reduktion der Vulnerabilität
- Integration von Klimawandel in die Konzeption neuer Infrastrukturen

4.5. Krisen- und Katastrophenmanagement

4.5.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

Steigende Temperaturen sowie die Häufung und Intensivierung von Wetterextremen werden zu einer Erhöhung des Naturgefahrenpotenzials und zum Eintritt bisher nicht dimensionierter Ereignisse führen. Vermehrte Krisen haben unmittelbare Auswirkungen auf den Bereich des Krisen- und Katastrophenmanagements.

In der 2004 gegründeten nationalen Rettungsdienst-Agentur *Administration des services de secours* (ASS) sind der Zivilschutz und die Generalinspektion der Feuerwehren integriert worden. Ihre Hauptaufgaben sind unter anderem die Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz und zur Rettung von Personen in Gefahr sowie die Rettung von Gütern bei verheerenden Ereignissen, Katastrophen, Schadensfällen, Bränden, Hochwasser und Überschwemmungen. Die Reform der Luxemburger Rettungsdienste, welche 2018 durchgeführt wurde, hat zur Schaffung eines neuen *Corps grand-ducal d'incendie et de secours* (CGDIS) geführt. Im CGDIS wurden die ASS, sowie die kommunalen Feuerwehren in einer durch Staat und Gemeinden finanzierten Organisation, zusammenführt. Neben den technischen Verantwortlichkeiten der Katastrophenbewältigung obliegt der neu gegründeten Anstalt öffentlichen Rechts (*établissement public*) auch die Kommunikation mit den Hilfsorganisationen der Nachbarländer. Das CGDIS erhält politische und verwaltungstechnische Autorität durch ihre direkte Unterstellung unter den Minister des Innern.

Das Gesetz vom 23. Juli 2016 zur Einrichtung einer Hochkommission für den nationalen Schutz⁶ (*Haut-Commissariat à la protection nationale – HCPN*) definiert die Aufgaben des HCPN. Der Verwaltung obliegen die Aufgaben Prävention, Antizipation und Krisenmanagement. Die Missionen bestehen darin, Krisen zu verhindern bzw. das Land und die Bevölkerung vor den Auswirkungen einer Krise zu schützen. Im Krisenfall umfasst es das Management von Maßnahmen und Aktivitäten zur Bewältigung der Krise und ihrer Auswirkungen sowie zur Förderung der Rückkehr zur Normalität. Das HCPN ist auch verantwortlich für die Einrichtung eines *Nationalen Krisenzentrums/Centre national de crise*. Darüber hinaus wird das HCPN als zuständige nationale Behörde für die Koordinierung von Fragen zum Schutz kritischer Infrastrukturen, einschließlich kritischer europäischer Infrastruktur in Luxemburg, benannt. Schließlich ist das HCPN zuständig für die Koordinierung der Bekämpfung des Terrorismus auf nationaler Ebene.

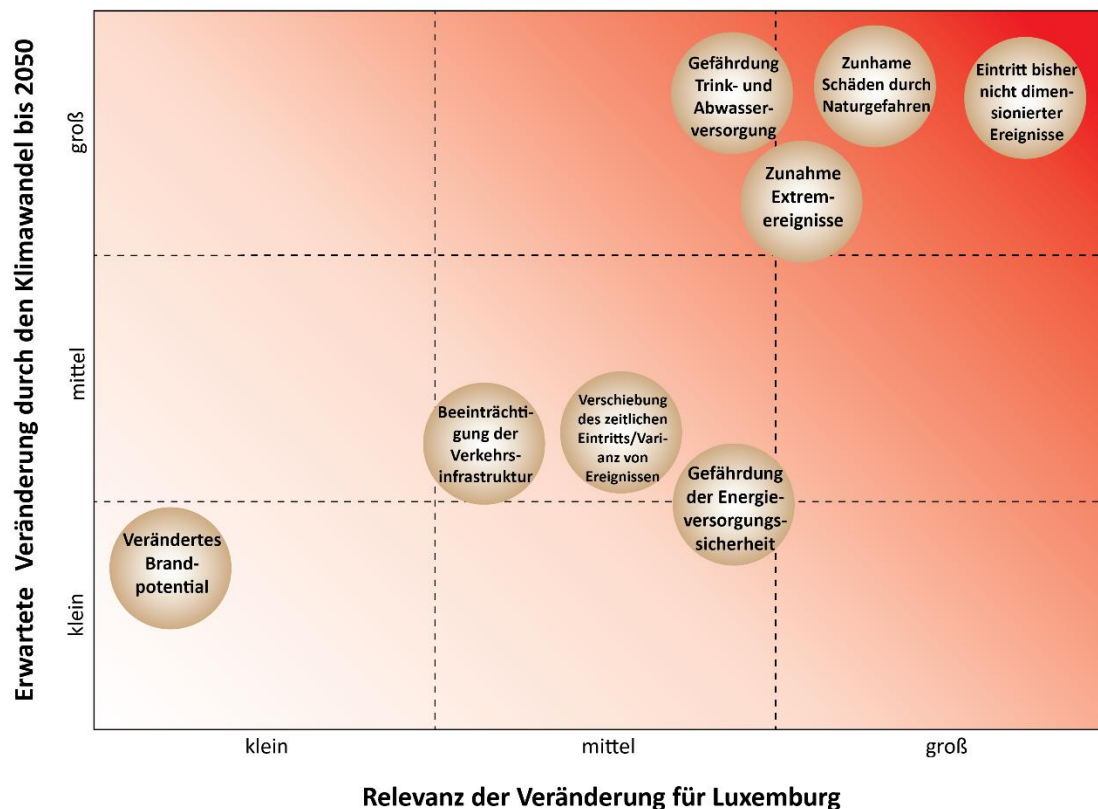
⁶ Loi du 23 juillet 2016 portant création d'un Haut-Commissariat à la protection nationale
<http://data.legilux.public.lu/file/eli-etat-leg-memorial-2016-137-fr-pdf.pdf>

In die strategische Ausrichtung des Krisen- und Katastrophenmanagements Luxemburgs sollte, neben der sich wandelnden politischen Situation, auch das klimawandelbedingt erhöhte Naturgefahrenpotenzial einfließen. Bei den Vorbereitungsaktivitäten rücken meteorologische Extremereignisse stärker in den Fokus. Neben dem Bevölkerungsschutz wird auch der Schutz kritischer Infrastrukturen vor Naturgefahren prioritär.

Konkret wird das Krisen- und Katastrophenmanagement auf ein verändertes Brandpotenzial, Beeinträchtigung der Verkehrsinfrastruktur, Gefährdung der Versorgungssicherheit mit Energie und Trinkwasser und stärkere Auswirkungen von Extremereignissen eingehen müssen.

4.5.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix

Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor „Krisenmanagement“ in Luxemburg



4.5.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix (Kapitel 4.5.2) werden nachstehende Klimafolgen als prioritär angesehen:

- Eintritt bisher nicht dimensionierter Ereignisse
- Zunahme primärer und sekundärer Schäden durch Naturgefahren/stärkere Auswirkungen von Extremereignissen
- Gefährdung der Trink- und Abwasserversorgung

4.5.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 werden in Kapitel 5.5 nachstehende, aus den priorisierten Klimafolgen abgeleitete, Maßnahmen erstellt:

- Anpassen der Blaulichtorganisationen und Einsatzleitungen an sich verändernde klimatische Verhältnisse
- Kontinuierliches Monitoring von Naturgefahrenprozessen und Ereignissen sowie Weiterentwicklung und Verbesserung der Methoden und Technologien zur Erkennung neuer Naturgefahrenprozesse
- Integration von Klimawandel in die Konzeption von Regen-/Abwasser- und Trinkwassersysteme
- Initiierung von robusten und anpassbaren Schutzmaßnahmen

4.6. Landesplanung

4.6.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

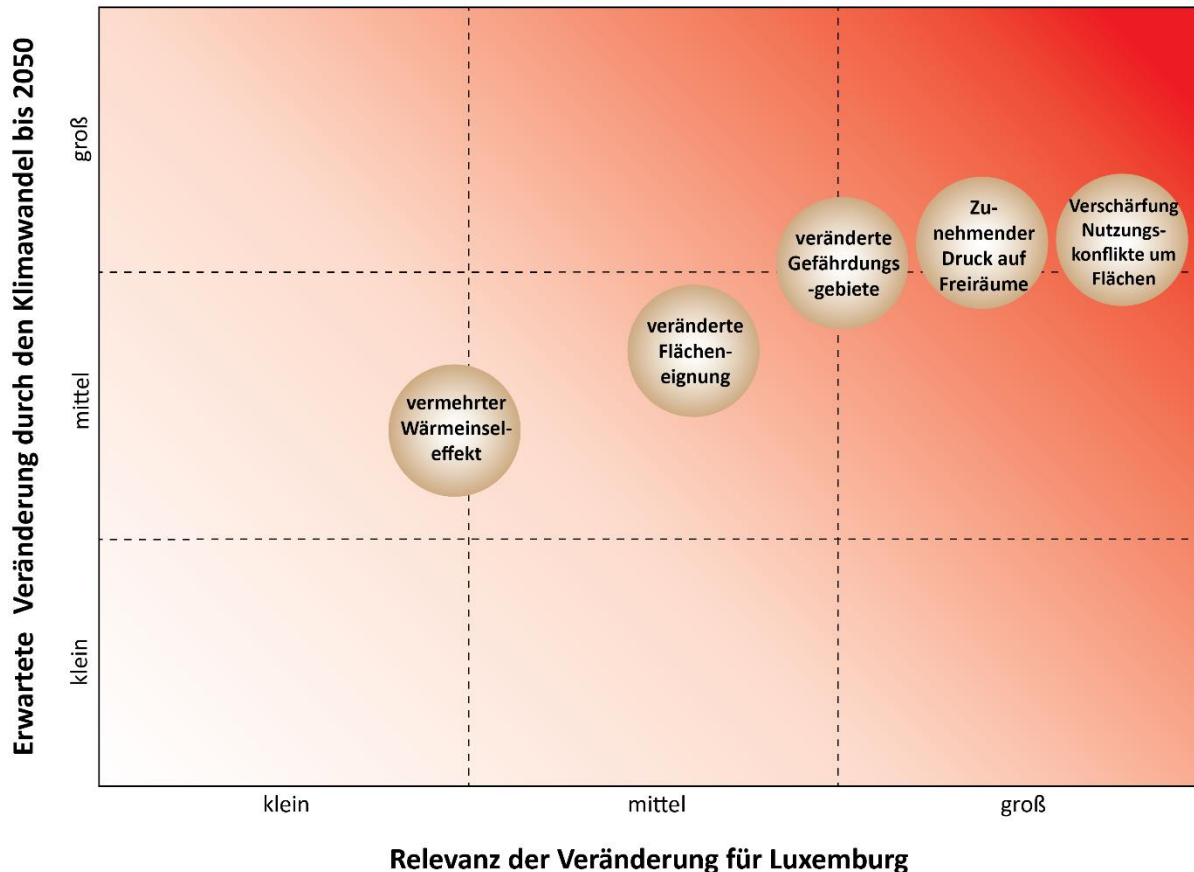
Landesplanung kommt im Hinblick auf den Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels eine zentrale Rolle zu, da sich Schnittstellen bzw. Wechselwirkungen zu vielen anderen Sektoren wie z.B. Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Infrastruktur beschreiben lassen. Die zentrale Rolle territorialer Planung wird in diesem Zusammenhang auch durch die enge funktionale Verflechtung über die Staatsgrenzen hinweg (z.B. in Fragen der Mobilität) unterstrichen (Grenzüberschreitende polyzentrische Metropolregion). Hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels führen vor allem steigende Temperaturen und Niederschlagsmengen zu einer Veränderung von Gefährdungsgebieten, was insbesondere bei der Widmung von Flächen eine Herausforderung darstellt. Der zunehmende Siedlungsdruck steigert zudem den Flächenverbrauch. Der im *Plan national pour un développement durable* (PNDD, Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2010) festgelegte Bodenverbrauch soll bis zum Jahr 2020 auf maximal 1 ha/Tag landesweit begrenzt werden. Nutzungskonflikte um Flächen sind die Folge, die sich im Kontext des Klimawandels in Zukunft verschärfen könnten. Insbesondere durch veränderte Gefährdungsgebiete notwendige Rückwidmungen können in der Praxis zu Konflikten führen.

Der Klimawandel wirkt sich negativ auf die Qualität und Verfügbarkeit der Flächen und des Bodens aus. Hitzebelastungen, Trockenheit, Hochwasser und Starkregen, Starkwind und Stürme belasten den Raum. Wasserknappheit, Ernteaussfälle, Erosion, Verlust von Land und Biodiversität, Degradierung der Wälder, Ver- und Entsorgungsengpässe, erhöhte Pro-Kopf-Kosten von angepassten/reparierbedürftigen Infrastrukturen.

Zunehmende Hitzeperioden im Sommer führen zur Bildung von Hitzeinseln in urbanen Gebieten. Gesundheitliche Belastungen und Krankheiten (z.B. Herz-Kreislauf-Erkrankungen) können die Folge sein (siehe dazu auch Kapitel 4.8 und 4.11).

4.6.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix

Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor „Landesplanung“ in Luxemburg



4.6.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix werden nachstehende Klimafolgen als prioritär angesehen:

- Verschärfung von Nutzungskonflikten um Flächen
- Zunehmender Druck auf Freiräume
- Veränderte Gefährdungsgebiete

4.6.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 werden in Kapitel 5.6 nachstehende, aus den priorisierten Klimafolgen abgeleitete, Maßnahmen erstellt:

- Climate proofing der Landesplanung: Integrierte Planung und verstärkte Abstimmung der nationalen, kommunalen und Sektoralen Planungen unter Berücksichtigung des Klimawandels
- Erstellung von Gefahrenzonenplänen und Ausarbeitung von Vulnerabilitätskarten, Förderung und Beratung für klimaeffizientes Planen und Bauen

4.7. Landwirtschaft inkl. pflanzlicher und tierischer Gesundheit

4.7.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

52,6 % der Landesfläche Luxemburgs werden landwirtschaftlich genutzt. Davon werden rund 62.000 ha als Ackerland und ca. 67.000 ha als Wiesen und Weiden ausgewiesen (Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des consommateurs, 2016). Der Klimawandel hat durch ein verändertes Temperatur- und Niederschlagsregime direkten Einfluss auf die Landwirtschaft, wobei dieser Sektor regional sehr unterschiedlich betroffen ist. Für die Grünlandwirtschaft beispielsweise können in niederschlagsreicheren Gebieten steigende Temperaturen und längere Vegetationsperioden eine Erhöhung des Ertrags bedeuten. Der Klimawandel stellt hier eine Chance dar. Dies betrifft aber auch den Weinbau. Der Anstieg der Lufttemperaturen um ca. 2 °C während der Vegetationsperiode in der ersten Dekade des neuen Jahrtausends (verglichen mit den 1970er Jahren) hat zur optimalen Ausreifung der vorhandenen Rebsorten im Oberen Moseltal geführt (Molitor et al., 2014).

Nichtsdestotrotz muss durch erhöhten Hitze- und Trockenstress für Pflanzen und Tiere, einer Verschiebung der Niederschlagsereignisse oder dem vermehrten Auftreten heimischer sowie neuer Arten von Schädlingen mit Ertragseinbußen im Obst und Ackerbau bzw. in der Viehzucht gerechnet werden. So ist im Großherzogtum Luxemburg die in Südostasien beheimatete Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*) bereits angekommen (schriftliche Mitteilung vom Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Verbraucherschutz, 2017). Andere Schädlinge sind die Goldgelbe Vergilbung (Krankheitserreger *Candidatus Phytoplasma vitis*, Vektor *Scaphoideus titanus*) im Weinbau, sowie der Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera*), welcher aufgrund seiner enormen Expansion in der EU inzwischen nicht mehr als Quarantäneschädling gilt, da es nicht mehr möglich scheint, ihn noch auszurotten. Dieser Schädling wandert immer weiter nach Norden, ist aber schon weitestgehend in Baden-Württemberg und im Elsass etabliert (schriftliche Mitteilung vom Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Verbraucherschutz, 2017). Darüber hinaus werden für das Großherzogtum bestimmte Zikaden- und Wanzenarten, die als Überträger von Pflanzenkrankheiten fungieren, aufgezeigt⁷.

⁷ <https://www.list.lu/fr/a-propos-de-list/presse/klimawandel-in-luxemburg-spuerbar/>

Betreffend die Verbreitung von Tierkrankheiten und -seuchen sind neue, exotische Krankheiten welche hauptsächlich durch sogenannte Vektoren übertragen werden auf dem Vormarsch. Letztere können sich klimabedingt an die Lebensbedingungen unserer Gegenden anpassen. Somit werden verschiedene Krankheiten welche früher nur in südlichen Breitengraden auftraten, heute sporadisch auch in nördlichen Breitengraden detektiert (z.B. Blauzungenkrankheit, Lumpy skin disease). Andere Krankheiten welche u.a. von Vektoren übertragen werden, könnten durch den Klimawandel bedingt, vermehrt in unserer Gegend auftreten (z.B. die afrikanische Schweinepest).

Auch die Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse wie z.B. Honig werden durch das vermehrte Auftreten heimischer und die Einschleppung invasiver Arten (kleiner Beutenkäfer, *Aethina tumida*) gefährdet. Weiters ist damit zu rechnen, dass sich aufgrund von wärmeren Wintern folgende Schädlinge, die zur Zeit noch als EU-Quarantäneschädlinge gelten, zukünftig etablieren werden (schriftliche Mitteilung vom Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Verbraucherschutz, 2017):

INSEKTEN

- Zitrusbockkäfer (*Anoplophora chinensis*) und Asiatischer Laubholzbockkäfer (*Anoplophora glabripennis*): treffen mit ungenügend behandeltem Verpackungsholz ein und befallen viele heimische Baumarten;
- Birkenprachtkäfer (*Agrilus anxius*) und Asiatischer Eschenprachtkäfer (*Agrilus planipennis*): befallen Birken, Eschen;
- Asiatischer Moschusbockkäfer (*Aromia bungii*): befällt Obstbäume;
- Flohkäfer (*Epitrix sp.*): befällt z.B. Kartoffeln.

PILZE

- Pechkrebs (*Gibberella circinata*): befällt Kiefern.

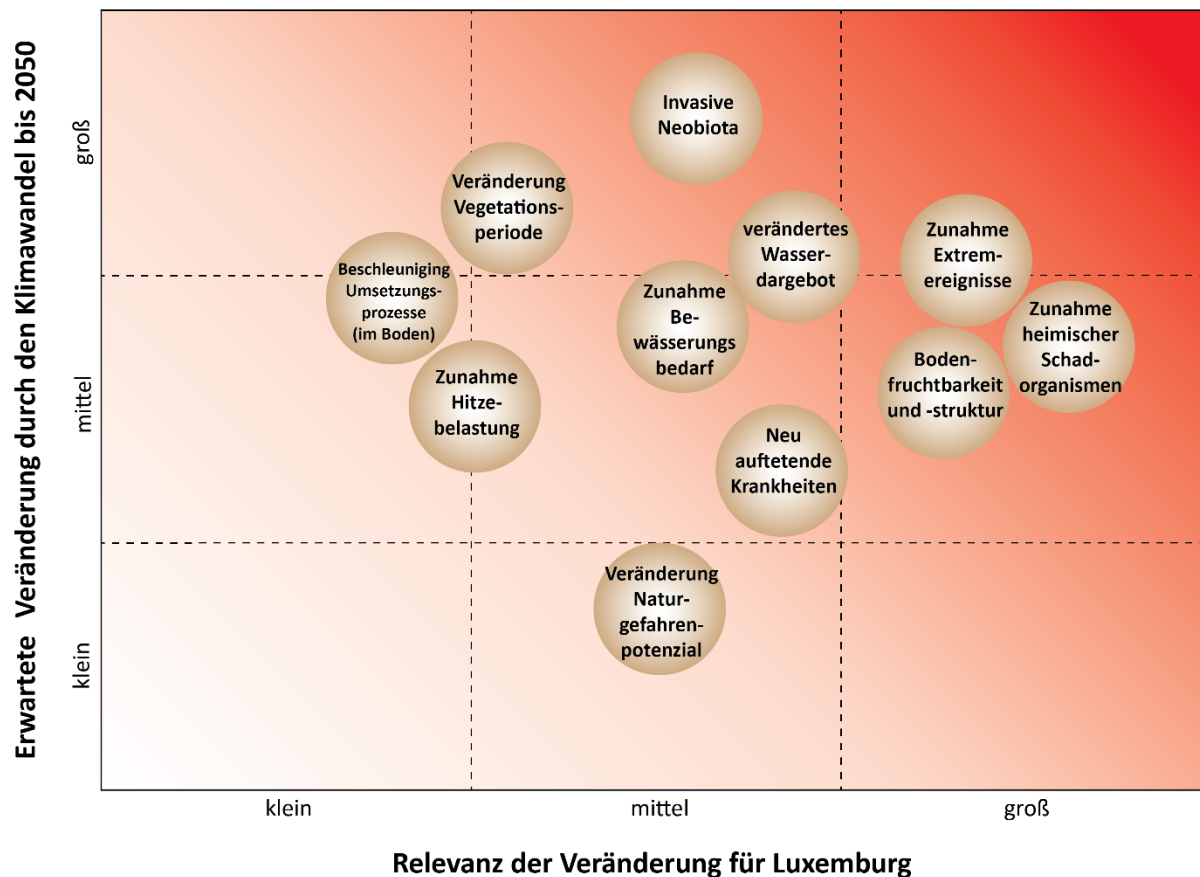
SCHNECKEN

- Apfelschnecke (*Pomacea*): könnte sich ausbreiten falls durch den Klimawandel vermehrt auf künstliche Bewässerung zurückgegriffen werden müsste.

Was die Veränderung der Phänologie bestimmter Arten betrifft, so zeigen Studien, dass bis zum Ende des Jahrhunderts eine weitere Verfrühung der phänologischen Entwicklung insbesondere im Frühling zu erwarten ist. So wurden z.B. für Deutschland für den Vollfrühling weitere etwa 15 Tage frühere Blühtermine des Apfels ermittelt (DWD, 2016). Auch sind seit den 1990er Jahren deutliche Änderungen der Rebphänologie in den nördlichen Weinbauregionen Europas zu beobachten (Maixner, 2014).

4.7.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix

Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor „Landwirtschaft“ in Luxemburg



4.7.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix werden nachstehende Klimafolgen als prioritär angesehen:

- Invasive Neobiota
- Zunahme von Extremwetterereignissen
- Zunahme heimischer Schadorganismen
- Verlängerung der Vegetationsperiode
- Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit, -struktur und -stabilität, Bodenerosion

4.7.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 werden in Kapitel 5.7 nachstehende, aus den priorisierten Klimafolgen abgeleitete, Maßnahmen erstellt:

- Ausbau des Monitorings von invasiven Neobiota und Erarbeitung von Richtlinien zu deren Beseitigung bzw. präventiven Aktivitäten; optimales Zusammenarbeiten der betroffenen Verwaltungen
- Intensivierung von Forschungsaktivitäten im Hinblick auf Extremwetterereignissen sowie Identifizierung der Implikationen für die verschiedenen Bereiche der Landwirtschaft
- Etablierung von Szenarien zum Auftreten von Schadorganismen als Basis für die Planung von Pflanzen- und Tierschutzmaßnahmen sowie die Erforschung von Alternativen zur Reduktion von Schädlingsdruck und Entwicklung neuer Bekämpfungsstrategien (integrierte Schadorganismen-Regulierung)
- Testen von Optionen zum Ausbau der Fruchtfolge bzw. der Sortenwahl im Hinblick auf eine längere Vegetationsperiode
- Erfassung, Monitoring und Kartierung des Weidepotenzials (Qualität, Quantität)
- Förderung von Bodenschutzmaßnahmen
- Klimaresiliente Tierhaltung und -zucht

4.8. Menschliche Gesundheit

4.8.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

Der durch den Klimawandel vermehrt auftretende thermische Stress führt zu einer Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit. Dies betrifft vor allem alte Menschen, kleine Kinder und chronisch Kranke in Ballungsräumen in denen die Zahl der Tropennächte ebenfalls zunimmt und die den Organismus auch Nachts belasten. Eine Studie aus Berlin zeigt z.B., dass ein enger Zusammenhang zwischen der Anzahl der Tropennächte und einer erhöhten Mortalität besteht. Bereits bei weniger warmen Nächten kann ein statistisch signifikanter Anstieg der Mortalität nachgewiesen werden (Fenner et al., 2015).

Indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit ergeben sich durch die Zunahme sowohl von heimischen als auch neuen Krankheitserregern und Allergenen. So breiten sich inzwischen in manchen Regionen Süddeutschlands wärmeliebende Insekten wie die aus Südasien stammende Tigermücke (*Aedes albopictus*) aus, die schwere Krankheiten wie Malaria oder Dengue-Fieber übertragen können⁸. Ein weiteres Beispiel sind Zecken, die aktuell in der Region Luxemburg Borreliose übertragen. Zukünftig ist auch mit einer Übertragung von FSME (Frühsommer-Meningoenzephalitis) zu rechnen (Inspection sanitaire, 2011). Durch die wärmere und längere Sommersaison wird auch die Pollenzeit verlängert, was die Leidenszeit der Allergiker verlängert. Darüber hinaus reagieren viele Pflanzen auf Stress, beispielsweise

⁸ <https://www.list.lu/en/about-list/press/klimawandel-in-luxemburg-spuerbar/>

ausgelöst durch Hitze und Dürre mit vermehrter Produktion von Pollen oder Sporen (Schimmelpilze) um ein Überleben zu garantieren.

Auch die durch den Klimawandel verstärkte Ausbreitung von bereits eingewanderten Pflanzen bzw. eine Erhöhung deren toxischen Potenzials könnte für Luxemburg z.B. zur Ausbreitung des Jakobskreuzkrautes (*Senecio jacobaea*) führen. In weiterer Folge kann dies zu einem verstärkten Eintrag der pflanzeneigenen Alkaloide in Nahrungsmitteln führen. Es ist aber darauf hinzuweisen, dass die Verbreitung des Jakobskreuzkrautes in Luxemburg auch auf die fehlende landesweite Bekämpfungsstrategie zurückzuführen ist (schriftl. Mitteilung vom Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Verbraucherschutz, 2017).

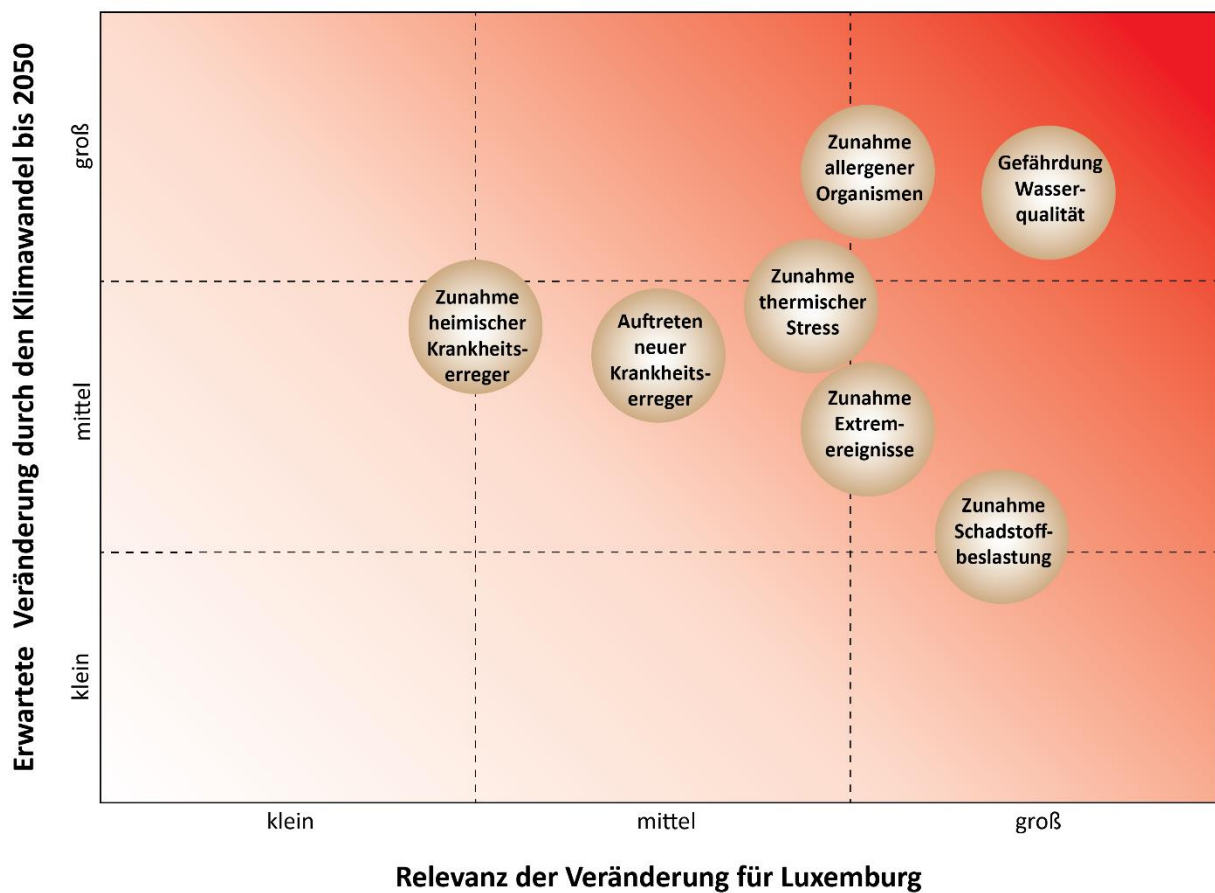
Durch erhöhte Temperaturen von Oberflächengewässern, v. a. aber auch durch Einschwemmungen nach Starkniederschlägen, kann es zur Kontamination von Badeseen kommen.

Die direkte Einwirkung der erhöhten Sonneneinstrahlung auf den menschlichen Organismus hat zum einen negative und zum anderen positive Effekte. Zu den negativen Effekten gehört in erster Linie das vermehrte Risiko von Hautkrebs. Indirekte negative Effekte sind ein verminderter Aufenthalt im Freien verbunden mit einer Bewegungseinschränkung und einer Einschränkung der Naherholung vor allem bei älteren Menschen sowie eine generelle Verminderung der Leistungsfähigkeit des Menschen unter dem Einfluss der Hitze und damit verbunden ein spezifischer Abbau der „Fitness“ der Bevölkerung (Zunahme von Übergewicht und Diabetes). Im Winter gehört bedingt durch die länger anhaltende Regenzeit (Nachlassen der kalten trockenen Winter) der Einfluss auf die Moral (Förderung von Depressionen). Zu den positiven Effekten der Sonneneinstrahlung auf den Menschen gehört eine vermehrte Vitamin D-Synthese (aktuell sind vor allem in den Wintermonaten Vitamin-D –Mängel der Population in Europa die Regel) sowie der positive Effekt in den Sommermonaten auf die Moral der Menschen.

Eine Ausführung der Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentliche Gesundheit in Luxemburg wurde von der *Inspection sanitaire* zusammengestellt (Inspection sanitaire, 2011).

4.8.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix

Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor „Gesundheit“ in Luxemburg



4.8.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix werden nachstehende Klimafolgen als prioritär angesehen:

- Gefährdung der Wasserqualität
- Zunahme allergener Organismen
- Zunahme thermischer Stress
- Zunahme Schadstoffbelastung (Ozon, Feinstaub)

4.8.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 werden in Kapitel 5.8. nachstehende, aus den priorisierten Klimafolgen abgeleitete, Maßnahmen erstellt:

- Installation eines Trinkwasser-Monitoring- und Warnsystems, sowie Ausarbeitung eines Maßnahmenkatalogs zum Schutz des Trinkwassers vor den Folgen des Klimawandels
- Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber allergenen Stoffen/pollen-assoziierten Allergenen
- Management von lang andauernden Hitzewellen im Gesundheits-, Pflege- und Sozialwesen
- Vorhersage und Management erhöhter Ozon- und Feinstaubbelastung

4.9. Ökosysteme und Biodiversität

4.9.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

Die geologische Vielfalt und das Mikro-Klima haben dazu geführt, dass Luxemburg eine außergewöhnliche biologische Vielfalt beherbergt. Dazu gehören Arten und Populationen, die eine besondere regionale und europaweite Bedeutung haben (Wolff, 2006). Um diese Arten und Ökosysteme zu schützen sind in Luxemburg zur Zeit 60 Naturschutzgebiete ausgewiesen.

Der Klimawandel hat weitreichende Auswirkungen auf Ökosysteme und deren Funktionen sowie auf einzelne Organismen. Durch Mehrfachbelastungen wie beispielsweise die Zerschneidung von Lebensräumen aufgrund infrastruktureller Nutzungen werden diese zusätzlich verstärkt. Die 2011 erstellte *Nationale Anpassungsstrategie* (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2011a) beschäftigt sich explizit mit der biologischen Vielfalt und weist darauf hin, dass „alle Strategien, Planungen und Umsetzungen von Naturschutzmaßnahmen eine Entwicklung/Anpassung der Ökosysteme ermöglichen müssen, damit diese sich in Zusammensetzung und Struktur an die unvermeidbaren Veränderungen durch den Klimawandel anpassen können“. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund steigender Jahresmitteltemperaturen zu sehen, die mit einer Verschiebung von Lebensräumen einhergehen. Derartige Wanderungen können das Aussterben heimischer Arten sowie die Einwanderung neuer standortfremder Arten begünstigen, was zur empfindlichen Störung von Lebensgemeinschaften führt.

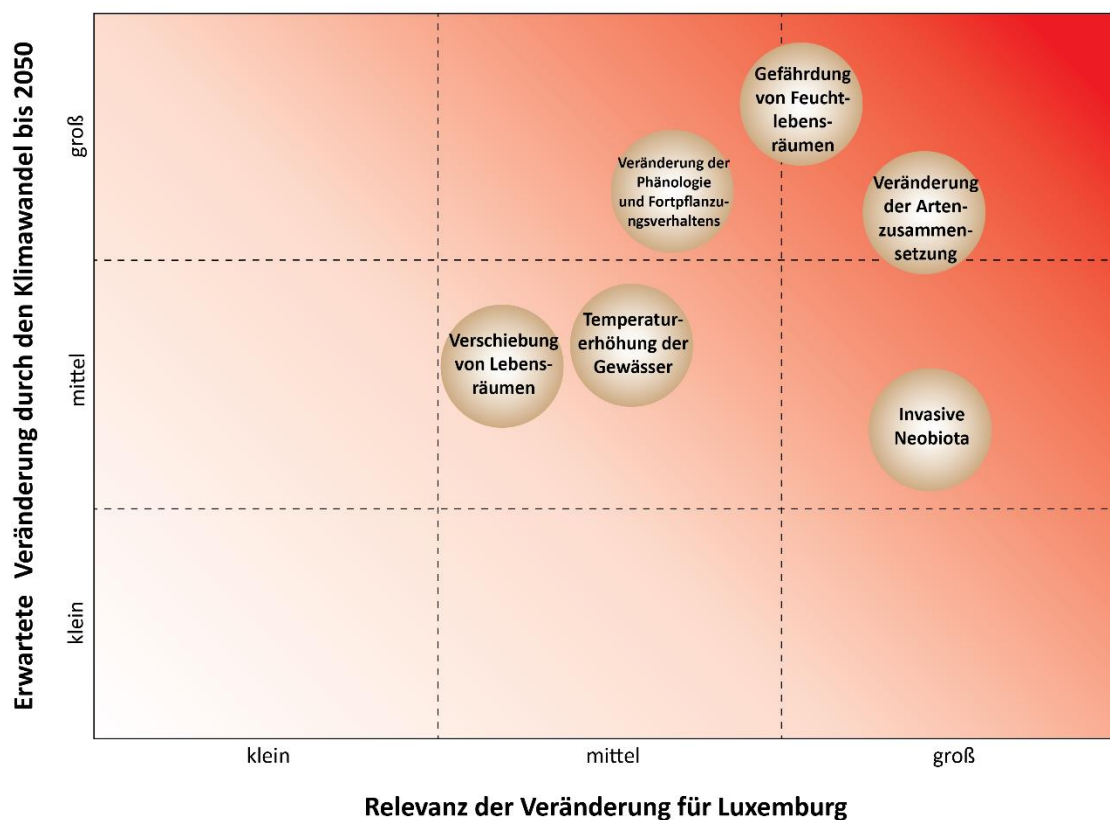
Von einer Zunahme der Jahresmitteltemperatur sind insbesondere Feuchtgebiete betroffen. Flora und Fauna von Gewässern beispielsweise können nur innerhalb bestimmter Temperaturbereiche ihre Lebenstätigkeit voll entfalten. Temperaturanstiege verursachen Stress. Einige Fischarten werden es schwieriger haben zu überleben, da die Entwicklung von

Fischeiern und Jungfischen sehr temperaturabhängig ist. Erhöhte Temperaturen und Dürren im Sommer werden sich stärker auf kleine Bäche und kleine stehenden Gewässer auswirken (Weiher, temporäre stagnierende Gewässer), was insbesondere für Amphibien Probleme darstellen wird. Außerdem werden kleine Bäche stärker durch chemische Verschlechterung der Wasserqualität beeinflusst (Temperatur, Sauerstoffgehalt, usw.), was wiederum die Flora und Fauna beeinflussen wird.

Darüber hinaus kommt es – bedingt durch die Verlängerung der Vegetationsperiode – zu einer Veränderung der Phänologie bzw. des Fortpflanzungsverhaltens bestimmter Arten. Kaskadeneffekte im Falle einer Veränderung der relativen Artenvielfalt und der Veränderung der Artenzusammensetzung von Tier- und Pflanzengesellschaften, können durch den Klimawandel verstärkt auftreten.

4.9.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix

Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor „Ökosysteme/Biodiversität“ in Luxemburg



4.9.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix werden nachstehende Klimafolgen als prioritär angesehen:

- Veränderung der Artenzusammensetzung
- Veränderung der Phänologie/des Fortpflanzungsverhaltens
- Invasive Neobiota
- Gefährdung von Feuchtlebensräumen

4.9.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 werden in Kapitel 5.9 nachstehende, aus den priorisierten Klimafolgen abgeleitete, Maßnahmen erstellt:

- Gezielte Fördermaßnahmen für gefährdete Arten, insbesondere in den Teilarealen, welche auch in Zukunft klimatisch für eine Art geeignet sein könnten
- Berücksichtigung des Klimawandels in Naturschutzkonzepten und Managementplänen
- Monitoring, Kontrolle und Beseitigung von invasiven Neobiota

4.10. Tourismus

4.10.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

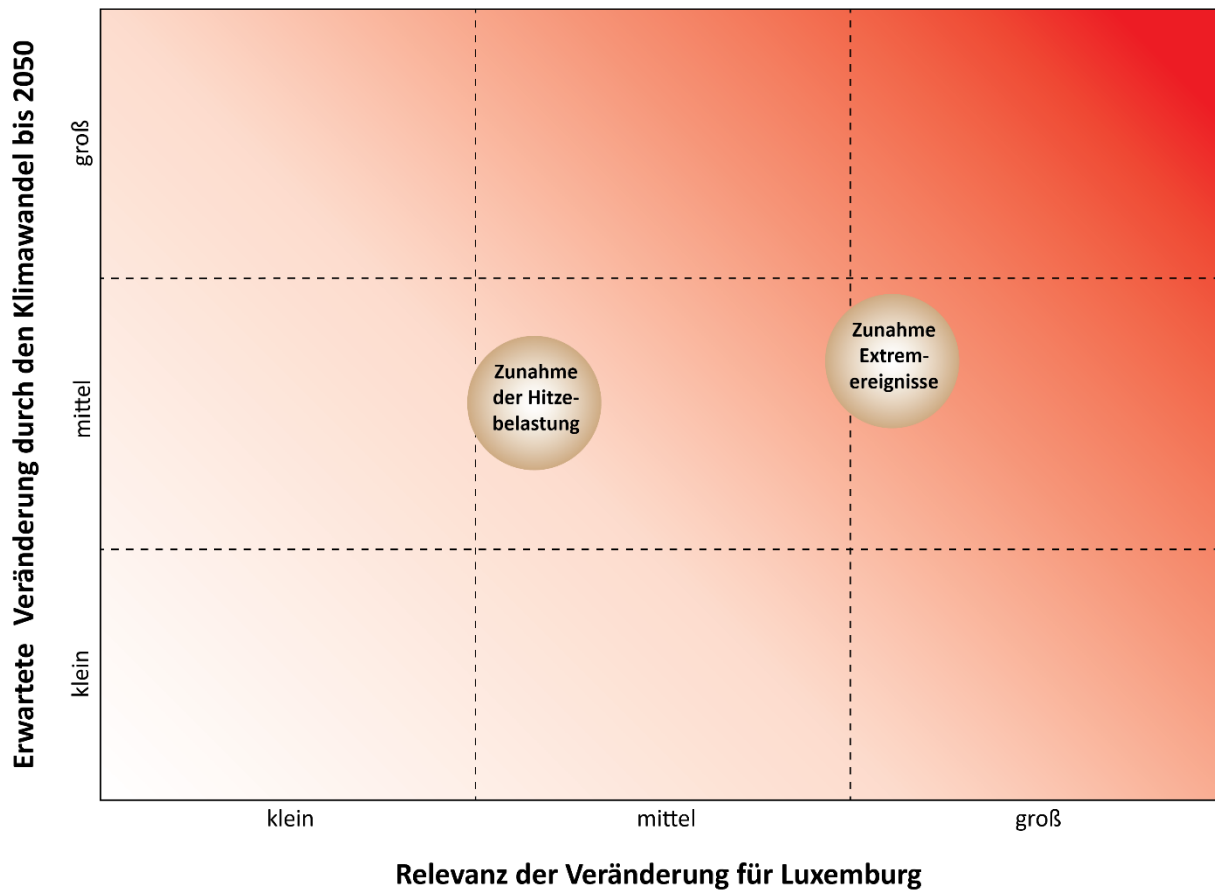
Im Jahr 2012 trug der Tourismus nach Einschätzung des *World Tourism and Travel Council* (WTTC) direkt und indirekt zu 5,7 % zum Luxemburger BIP bei. Der Sektor macht 7,6 % der Gesamtbeschäftigung aus⁹. Die Regierung des Großherzogtums legt einen besonderen Schwerpunkt auf den Geschäfts- und Kongresstourismus. In diesem Zusammenhang liegen die Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor vor allem in der Gefährdung der Infrastruktureinrichtungen hinsichtlich einer potenziellen Zunahme von Extremereignissen wie Hochwasser, Starkniederschläge oder Sturmereignisse.

Darüber hinaus stellt die Zunahme der Hitzebelastung bei windschwachen und austausch-armen Wetterlagen eine Herausforderung für den Städtetourismus dar. In diesem Zusammenhang ist eine Studie von Matzarakis et al. (2013) zu erwähnen, in der die Entwicklung des Klimas auf den Tourismus untersucht wird. Die Resultate zeigen eine Zunahme von Hitzestress und Schwüle sowie eine Abnahme des Kältestresses für das Großherzogtum in der Zukunft. Diese Information soll Grundlagen für weitere Planungsschritte im Sektor Tourismus in Luxemburg bieten.

⁹ <http://www.luxembourg.public.lu/de/le-grand-duche-se-presente/luxembourg-tour-horizon/economie-et-secteurs-cles/>

4.10.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix

Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor „Tourismus“ in Luxemburg



4.10.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix wird nachstehende Klimafolge als prioritär angesehen:

- Zunahme Extremwetterereignisse

4.10.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 wird in Kapitel 5.10 nachstehende, aus der priorisierten Klimafolge abgeleitete, Maßnahme erstellt:

- Information von Touristen über Extremwetterereignisse

4.11. Urbane Räume

4.11.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

In Luxemburg zeichnet sich insbesondere der Agglomerationsraum rund um die Hauptstadt durch stadtklimatische Besonderheiten aus (HHP, 2009). Angesichts der hohen Entwicklungsdynamik wird sich hier diese Problematik weiter verschärfen (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012). Als Folge von Klimawandel bedingten längeren Hitzeperioden und geringerer Durchlüftung zeigen diese städtischen Gebiete eine geringere nächtliche Abkühlung. Hält sich die Wärme aufgrund mangelnder Luftaustauschprozesse auch in der Nacht, ist dies stark belastend für Herz und Kreislauf. Dies führt vor allem bei Risikogruppen zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung. Städtische Grün- und Freiräume tragen dazu bei, die Hitzebelastungen für die dort lebenden Menschen zu regulieren.

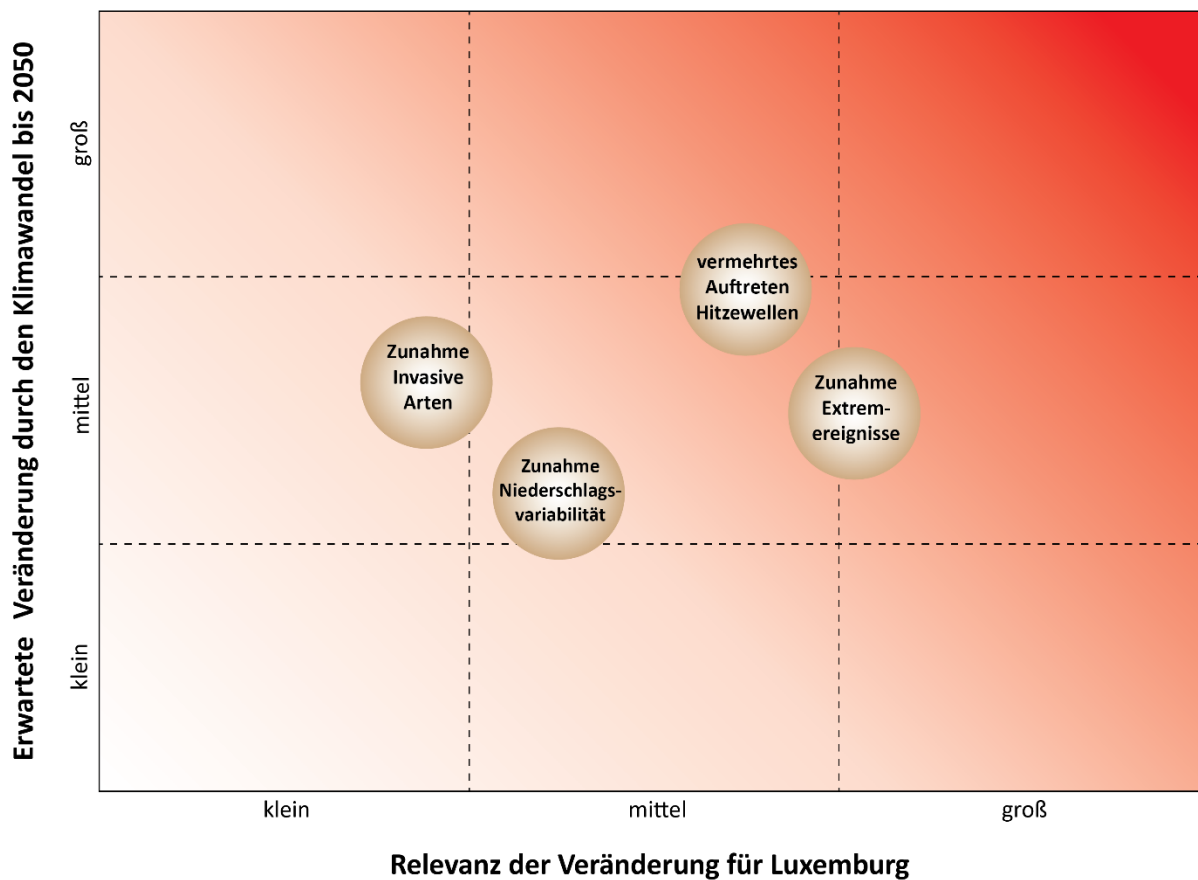
Die prognostizierte Zunahme der Niederschlagsintensität erhöht das Überflutungsrisiko, da die Abflussleistung der bestehenden Kanalisation oft überfordert wird. Auch in diesem Zusammenhang ist die Wichtigkeit der Pufferfunktion von Frei- und Grünräumen zur Entlastung zu sehen.

Eine klimawandelbedingte Temperaturerhöhung hat auch Auswirkungen auf urbane Ökosysteme. Einerseits kann von einer Verlängerung der Vegetationsperiode ausgegangen werden, andererseits fördern höhere Temperaturen die Vermehrung von Schädlingen, bzw. deren Neueinwanderung (z.B. der Tuja Prachtkäfer, die Platanennetzwanze sowie diverse Bockkäferarten) was einen höheren Pflegeaufwand zur Folge hat. Schon vorhandene eingewanderte Arten wie z.B. die Blutlaus können an Bedeutung im urbanen Grün gewinnen. Die Eignung bestimmter Pflanzenarten in der städtischen Begrünung wird zu überdenken sein.

Zunehmende Hitzeperioden im Sommer führen zur Bildung von Hitzeinseln in urbanen Gebieten. Gesundheitliche Belastungen und Krankheiten (z.B. Herz-Kreislauf-Erkrankungen) können die Folge sein (siehe dazu auch Kapitel 4.6 und 4.8).

4.11.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix

Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor „Urbane Räume“ in Luxemburg



4.11.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix werden nachstehende Klimafolgen als prioritär angesehen:

- Vermehrtes Auftreten von Hitzewellen
- Zunahme von Extremwetterereignissen

4.11.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 werden in Kapitel 5.11 nachstehende, aus den priorisierten Klimafolgen abgeleitete, Maßnahmen erstellt:

- Ausarbeitung eines integrativen städteplanerischen Gesamtkonzeptes für städtebauliche Maßnahmen zur Reduktion von Hitzewellen
- Überprüfung der städtischen Infrastruktur im Hinblick auf die Zunahme von Extremwetterereignissen sowie die Ausarbeitung von Konzepten zur baulichen Anpassung

4.12. Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft

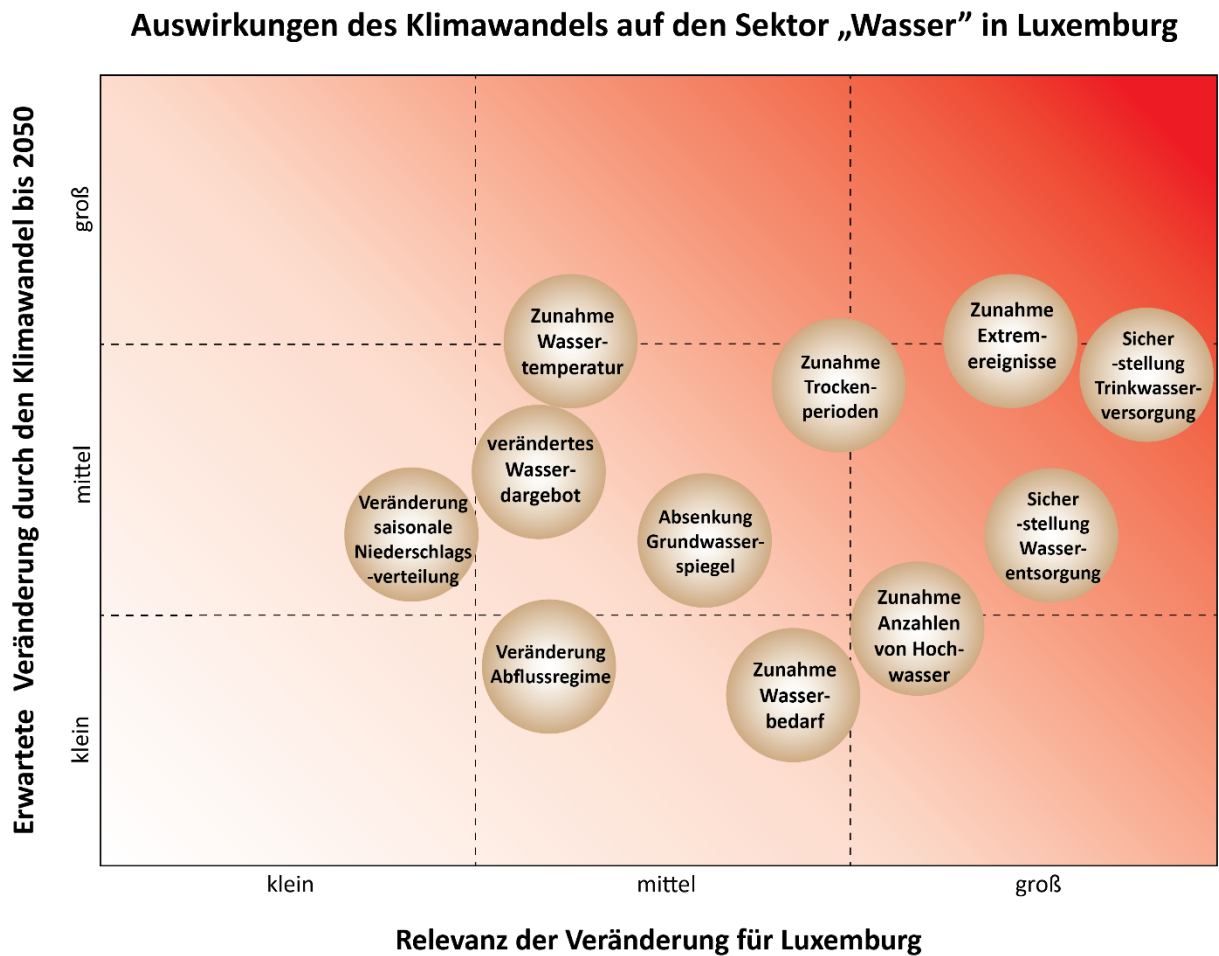
4.12.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

Im Großherzogtum Luxemburg werden pro Jahr ca. 44.000.000 m³ Wasser (Angabe für das Jahr 2017) aus den Grund- und Oberflächengewässern entnommen für den menschlichen Gebrauch. Das entnommene Wasser kommt etwa 50 % aus den Grundgewässern und 50 % aus dem Obersauerstausee. Die Wasserentnahmen werden grob in zwei Kategorien eingeteilt: Wasserentnahmen für die öffentliche Trinkwasserversorgung bzw. Wasserentnahmen für den Eigenbedarf, die auf Industriebetriebe und landwirtschaftliche Betriebe entfallen (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2015).

Der Klimawandel stellt die Wasserwirtschaft vor große Herausforderungen. Potenziell häufigere Starkregenereignisse, Überschwemmungen, ausgeprägte Niedrigwasserstände und Trockenheit gefährden vor allem die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung, die zur Hälfte durch Grundwasser gedeckt wird. Wegen den unregelmässigen Niederschlägen in den Wintermonaten werden die Grundwasserstände stärker belastet. Darüber hinaus wird ein bedeutender Anteil der Luxemburger Trinkwasserversorgung aus dem Stausee Obersauer bezogen in dem die Belastung mit Blau- und Grünalgen schon heute eine große Rolle spielt. Steigende Temperaturen und Sonneneinstrahlungen in Verbindung mit hohem Nährstoffeintrag werden diese Belastungssituationen in Zukunft verstärken.

Die saisonalen Schwankungen der Niederschläge werden ebenfalls große Herausforderungen für die Siedlungswasserwirtschaft stellen. Das Wassernetzwerk in Luxemburg besteht hauptsächlich aus kleinen Bächen, welche in Zukunft während den Sommermonaten weniger Wasser beinhalten werden, was wiederum die Ablaufwerte der Kläranlagen beeinträchtigen wird.

4.12.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix



4.12.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix werden nachfolgende Klimafolgen als prioritär angesehen:

- Sicherstellung der Trinkwasserversorgung (inkl. Beachtung von Aspekten des Pflanzenschutzes)
- Zunahme von lokalen Starkniederschlägen/Extremereignisse und Schäden durch Hochwasser
- Zunahme von Trockenperioden
- Zunahme der Wassertemperaturen
- Sicherstellung der Wasserentsorgung

4.12.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 werden in Kapitel 5.12 nachstehende, aus den priorisierten Klimafolgen abgeleitete, Maßnahmen erstellt:

- Berücksichtigung von Starkregenereignissen im zweiten Hochwasserrisikomanagementplan
- Maßnahmen zur Senkung der Wassertemperatur
- Schutz der bestehenden und zukünftigen Trinkwasserressourcen (quantitativ und qualitativ)
- Angepasste Abwasserbehandlung und effektive Nutzung des Abwassers

4.13. Wirtschaft

4.13.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Sektor

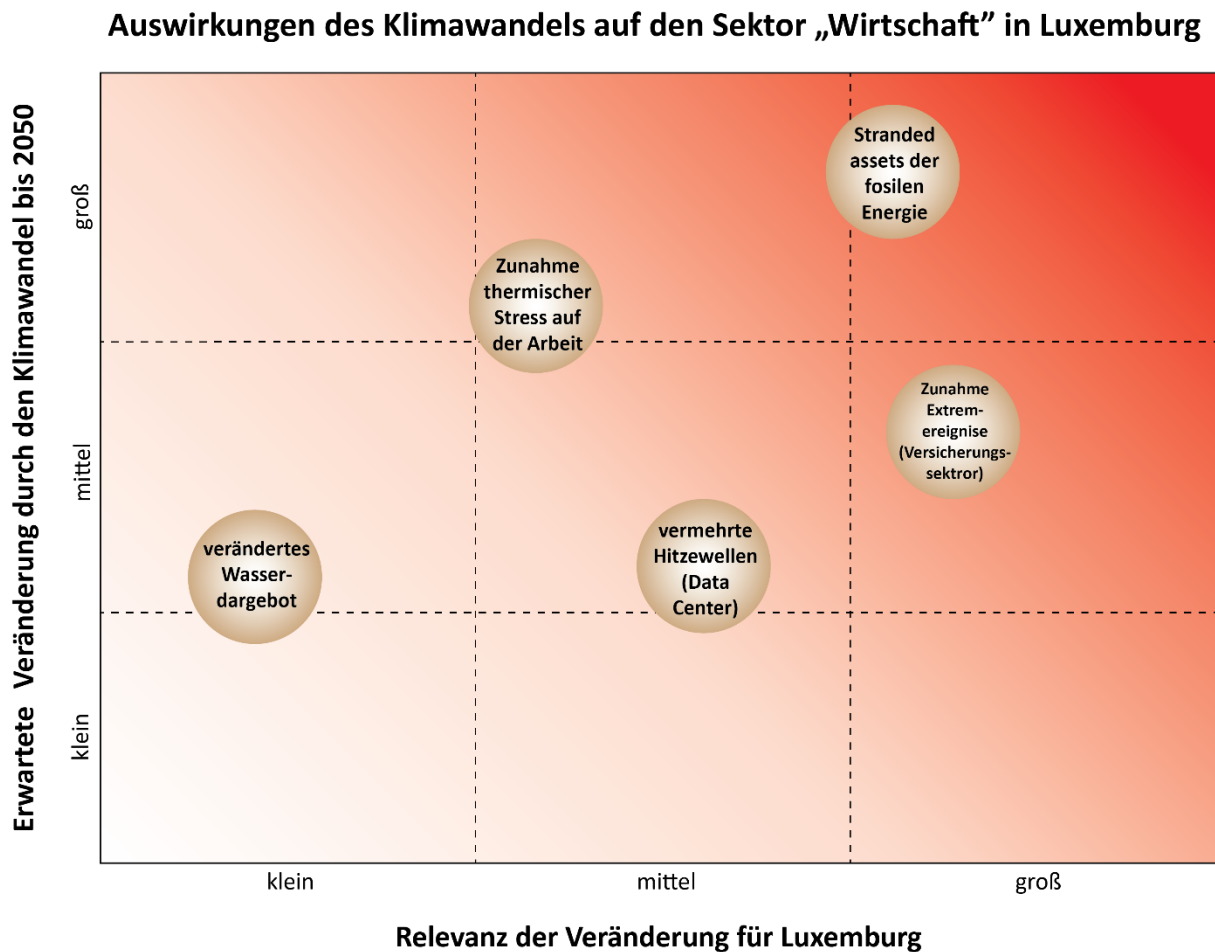
Die Wirtschaft Luxemburgs ist auf den Dienstleistungssektor und hier vor allem auf die Finanzwirtschaft fokussiert. So tragen Dienstleistungen zu 86,8 % am Bruttoinlandsprodukt bei, gefolgt von Industrie mit 12,9 % und Landwirtschaft mit 0,3 %¹⁰. Hinsichtlich der Effizienz des Materialeinsatzes zur Produktion von Wohlstand (resource productivity) führt die Wirtschaft Luxemburgs die EU Spitze an (rund 3,4 €/kg im Vergleich zum EU Durchschnitt mit 2) (EC, 2017).

Die Auswirkungen des Klimawandels betreffen den Sektor Wirtschaft vor allem durch die Gefährdung von Infrastruktureinrichtungen bedingt durch zunehmende Extremereignisse wie Hitzewellen, Starkniederschläge oder Sturmereignisse die eine direkte Auswirkung auf die Wirtschaft haben. Diese können z.B. die IT Infrastruktur, die Luft-, die Eisenbahn- oder die Binnenschiffsfracht betreffen. Darüber hinaus ist bei anhaltenden Hitzewellen mit einer geringeren menschlichen Produktivität, erhöhten Fehlerquote und vermehrten Ausfällen der Beschäftigten zu rechnen. Auch kann von einem erhöhten Verbrauch von Energie und Wasser zur Kühlung ausgegangen werden. Weiters können Klimafolgen in anderen Regionen der Welt Einfluss auf diesen Sektor nehmen.

10

http://www.statistiques.public.lu/stat/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=13167&IF_Language=fra&MainTheme=5&FldrName=2&RFPPath=21

4.13.2. 9-Felder-Klimafolgenmatrix



4.13.3. Priorisierte Klimafolgen

Basierend auf den Ergebnissen der Anordnung der identifizierten Klimafolgen in der 9-Felder-Matrix werden nachstehende Klimafolgen als prioritär angesehen:

- Reduktion von Arbeits- bzw. Leistungsfähigkeit durch thermischen Stress
- Zunahme Extremereignisse (Versicherungssektor)
- Vermehrtes Auftreten von Hitzewellen (Data Center)
- Stranded assets der fossilen Energie

4.13.4. Handlungsempfehlungen

Im Zuge des von der Politik anvisierten Planungszeitraumes bis 2030 werden in Kapitel 0 nachstehende, aus den priorisierten Klimafolgen abgeleitete, Maßnahmen erstellt:

- Bauliche Maßnahmen zur Reduktion der thermischen Belastung in Betriebsgebäuden (Neubau/Sanierung)
- Anpassung des Versicherungswesen

- Erstellung einer Risikoanalyse hinsichtlich des Auftretens und der Auswirkungen von Extremereignissen auf das Data Center sowie die Erstellung eines Maßnahmenplans
- Ökonomische Risikoanalyse der Auswirkungen durch den Klimawandel evaluieren

5. BESTEHENDE UND ZUKÜNFTIGE MAßNAHMEN

5.1. Bauen und Wohnen

5.1.1. Bestehende Maßnahmen

Von Seiten der Umweltbehörde des Großherzogtums wird eine *Beihilfe für eine Energieberatung* angeboten. Diese Beratung bildet die Basis zur Durchführung von Investitionsprojekten, die die rationelle Energienutzung und die Erschließung erneuerbarer Energiequellen zum Ziel haben.

Weitere Informationen:

<http://www.guichet.public.lu/citoyens/de/logement/construction/aides-capital/aide-financiere-conseil-energie/index.html>

Relevante Klimafolgen: Höhere Sommertemperaturen, geringerer Heizwärmebedarf im Winter.

Im Report *3rd Industrial Revolution Strategy* (The TIR Consulting Group LLC, 2016) wird für den Gebäude Sektor unter anderem folgende Roadmap vorgeschlagen um Gebäude gegenüber Auswirkungen des Klimawandels zu sichern und ihre Resilienz zu erhöhen:

- Bewerben der Verwendung von standardisierten Bauelementen und Methoden
- Anpassung der Gesetzgebung um die Gebäudesanierung zu stimulieren
- Schaffung von finanziellen Anreizen zur Gebäudesanierung
- Erstellung eines Aktionsplanes für Gebäudesanierung

Darüber hinaus soll ein sogenannter *Resilience Commissioner* installiert werden der für Resilienz in Bereichen der Ökonomie, der Gesellschaft und der Umwelt zuständig ist.

Weitere Informationen:

http://imslux.lu/eng/nos-activites/pole-de-specialites/8_the-third-industrial-revolution-in-luxembourg

Relevante Klimafolgen: Stärkere Auswirkungen von Extremwetterereignissen, höhere Sommertemperaturen, zunehmende Brandgefahr.

5.1.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Bauen und Wohnen werden folgende zwei Maßnahmen definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Anpassen der Baunormen an extremere klimatische Bedingungen und projizierte Veränderungen</i>
Nummer der Maßnahme	BW01
Klimafolge	Stärkere Auswirkungen von Extremereignissen, höhere Sommertemperaturen, mehr Niederschlag im Winter
Sektor	Bauen & Wohnen
Maßnahmenart	Rechtlich, finanzpolitisch, bewusstseinsbildend, Infrastrukturen
Ziel der Maßnahme	Erhöhung der Sicherheit von Bauten gegenüber extremere klimatische Bedingungen und projizierte Veränderungen
Beschreibung der Maßnahme	Flächensparendes Bauen und Vermeidung der Bodenversiegelung/-verdichtung, durch z.B.: • Flächenentsiegelung, Rück- oder Abbau von Gebäuden und Infrastrukturen, • Freihalten von Retentions-, Überflutungs- und Versickerungsflächen, • Erhöhung der Begrünung in und um Siedlungsbereichen durch Parkanlagen, Stadtbäume, Wasserflächen, Gärten, Dach- und Fassadenbegrünung, Peripheriewälder (Stadtkühler), • Schaffung bewegter Wasserflächen, • Schaffung von Sonnen- und Wärmeschutz, • Lebensmittelproduktion im urbanen Bereich und kombiniertes urbanes-rurales Nährstoffmanagement, • Sicherstellen nächtlicher Abkühlung über stadtreionale Austauschsysteme, offenhalten klimaaktiver Flächen, • Erhöhung des Rückstrahlvermögens der Gebäude (helle Oberflächen), • Sicherung der Trink- und Brauchwasserversorgung, • Energie- und Wassereinsparungen, Erhöhung von Effizienz, • Hochwasserfrühwarnsysteme, • Bodenkompaktierung beim Bau verhindern, • Nachträgliche Sanierungen ermöglichen, • Klimaresiliente règlements des bâtisses und PAGs/PAPs erstellen.
Zusätzliche Hinweise	
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium des Innern, Ministerium für Energie und Raumentwicklung
Beteiligte Akteure	Gemeinden, Verband der Architekten und Ingenieure (OAI), Verband der Gebäudetechniker, ITM
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Flächenentwicklung von Grünflächen, begrünten Flächen, Gärten, usw.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Ausarbeitung einer Anleitung „Klimasicheres Bauen“</i>
Nummer der Maßnahme	BW02
Klimafolge	Stärkere Auswirkungen von Extremereignissen, höhere Sommertemperaturen
Sektor	Bauen & Wohnen
Maßnahmenart	Rechtlich, finanzpolitisch, bewusstseinsbildend, Infrastrukturen, Forschung
Ziel der Maßnahme	Schaffung eines klimaresilienten Wohnraumbestandes

Beschreibung der Maßnahme	Gebäude haben eine Lebensdauer von mindestens 50 Jahren und werden damit vom Klimawandel betroffen sein. Eine Architektur, die nicht an höhere Temperaturen angepasst ist, lässt sich durch nachträglich implementierte Gebäudetechnik nur unter erheblichem Energieaufwand und erhöhten Betriebskosten behaglich halten. In diesem Zusammenhang sind regulatorische Maßnahmen für einen derart langen Zeithorizont schwer zu argumentieren. Mit der Senkung der Betriebskosten während (heutiger) Extremsommer ist die Motivation der Bauherren zur Umsetzung dieser Maßnahme schon gegeben. Folgende zusätzliche Anreize sind zu schaffen: • Entwicklung von Finanzierungsinstrumenten als Anreiz für nachhaltigen Bau und Gebäudesanierung, • Prämie für Bodenentsiegelung. Zusammen mit entsprechenden Informationen können sie – in Form einer Broschüre – die Bereitschaft zur Umsetzung dieser Maßnahme erhöhen: • Darstellung der erwarteten klimatischen Änderung und des dadurch verursachten zusätzlichen Energiebedarfs für herkömmliche Gebäude. • Priorisierung der Maßnahmen zur Raumklimatisierung vorgeben: Vorzuziehen sind passive Maßnahmen: ◦ Interne Wärmequellen minimieren, ◦ Fensterlüftung (auch bei hohen Windgeschwindigkeiten) ermöglichen, ◦ für Strahlungsschutz (auch bei hohen Windgeschwindigkeiten) sorgen, ◦ Geeignete Grundrissformen und Raum- und Fassadengeometrien wählen, ◦ Isolierung bedarfsgerecht auslegen, ◦ ausreichend thermische Masse (evtl. Phasenwechselmaterial) verbauen, ◦ Befensterung effizient bezüglich Tageslichtnutzung relativ zum Wärmeeintrag gestalten, ◦ Erhöhung der Verdunstung durch Vegetation in der Umgebung, ◦ Adressen entsprechend arbeitender Planer und Handwerker zur Verfügung stellen, ◦ aktive Kühlsysteme evtl. unter Ausnutzung der nächtlichen Abkühlung installieren.
Zusätzliche Hinweise	• http://MeteoLux.lu/fr/vigilances/dangers-meteorologiques/ • 3rd Industrial Revolution Strategie • https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/publikationen/nachhaltiges-bauen.html
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Wohnungsbauministerium, Ministerium des Innern, Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Ministerium für Energie und Raumentwicklung
Beteiligte Akteure	Gemeinden, Verband der Architekten, Verband der Gebäudetechniker
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Fortschrittsbericht zur Umsetzung • ausgearbeitete Broschüre

5.2. Energie

5.2.1. Bestehende Maßnahmen

Im Report *3rd Industrial Revolution Strategy* (The TIR Consulting Group LLC, 2016) wird für den Sektor Energie unter anderem folgender Aktionsplan vorgeschlagen:

- Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energieträger durch die Anpassung des gesetzlichen Rahmens und die Vereinfachung von Abläufen.

Dies soll die technische Weiterentwicklung fördern, die Wettbewerbsfähigkeit erhöhen, Zulassungen und den Zugriff auf Biomasse erleichtern sowie das Landnutzungsmanagement anpassen.

Weitere Informationen:

http://imslux.lu/eng/nos-activites/pole-de-specialites/8_the-third-industrial-revolution-in-luxembourg

Relevante Klimafolgen: Höheres Biomasseaufkommen, Veränderung des Strombedarfs.

5.2.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Energie werden folgende drei Maßnahmen definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Überprüfung und Anpassung der vorhandenen Energieinfrastrukturen in Bezug auf die Vulnerabilität gegenüber Extremereignissen</i>
Nummer der Maßnahme	E01
Klimafolge	Zunehmende Beeinträchtigungen der Energieversorgung aufgrund von Extremereignissen
Sektor	Energie
Maßnahmenart	Rechtlich, finanzpolitisch, bewusstseinsbildend, Infrastruktur, Forschung
Ziel der Maßnahme	Schutz der Energieinfrastrukturen, Sicherstellung der Versorgung auch bei veränderter Nachfrage
Beschreibung der Maßnahme	Energieinfrastrukturen zeichnen sich durch eine hohe Interdependenz aus. Die Lastregelung des Stromnetzes gerät bei Ausfall zentraler Leitungen schnell an ihre Grenzen. Auch die Lieferwege für fossile Brennstoffe unterliegen Risiken durch Extremwetterereignisse. Die Energieproduktion in Raffinerien und regenerativen Kraftwerken ist gegenüber Wettereinflüssen vulnerabel. Heizkraftwerke unterliegen Auflagen der Kühlwassereinleitung in Flüsse. Verbraucher sind oft in der Lage, zwischen unterschiedlichen Energieträgern zu wählen, sodass bei Ausfall eines Energielieferanten auch die Versorgung durch einen alternativen Energielieferanten überlastet ist. Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Erstellung von Vulnerabilitätskarten durch Verschneiden von Gefahrenzonenplänen mit Karten der Energieinfrastruktur,

	• Auswirkungen des Klimawandels auf Transportinfrastrukturen beschränken, z.B. Mindestüberdeckung von 2 m für Rohrleitungen (Erdgas- und Ölpipelines), Hochspannungsleitungsmasten von Gefahrenzonen fernhalten und für höhere Wind- und Eislasten auslegen, • Ermittlung von Kaskadeneffekten, • den Grad der Redundanz bei Energieproduktion und -transport festlegen, • Berücksichtigung von Wettergefahren bei der Auswahl möglicher Varianten, • Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels bei der Genehmigung und Aufsicht von Übertragungs- und Verteilnetzen, • Reaktion auf verringerte Kühlwasserverfügbarkeit: bessere Vorhersage der Wasserführung und Planung des Betriebs; Umstieg auf nicht-thermische Energieerzeugung, z.B. durch Windkraft oder Solar; Umstieg auf Kondensationskühlung, • Prüfung der Vorschriften zur Rückleitung von Kühlwasser, • Reaktion auf Leistungsminderung von Wasserkraftwerken durch Niedrigwasser: bessere Vorhersage der Wasserführung und Planung des Betriebes, • dezentrale Produktion fördern und nutzen.
Zusätzliche Hinweise	3rd Industrial Revolution Strategie ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/ZEW_Indikatorenbericht_2012.pdf
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Energie und Raumentwicklung, Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung
Beteiligte Akteure	Energie, Telekommunikation, Transport und Verkehr, Wasser, Finanz- und Versicherungswesen, Kommunen, Energieberater
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Preiselastische Stromnachfrage bezogen auf den Gesamtverbrauch • Volatilität der Spotmarktpreise für Strom • Verbleibende gesicherte Leistung zum Zeitpunkt der Höchstlast und im Jahresablauf (Stromerzeugung) • Verbundgrad des Stromnetzes • Kapazität der Gasspeicher bezogen auf den Jahresverbrauch von Erdgas • System Average Interruption Index (SAIDI Strom und Gas) • Spannungsqualität im Stromnetz

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Bewusstseinsbildende Maßnahmen zum Thema Energiesparen und Ausbau von dezentraler Solarenergie und anderen ungenutzten Energiequellen</i>
Nummer der Maßnahme	E02
Klimafolge	Veränderung des Strombedarfs
Sektor	Energie
Maßnahmenart	Rechtlich, finanzpolitisch, bewusstseinsbildend, Infrastruktur, Forschung
Ziel der Maßnahme	Entlastung des Stromnetzes und Erhöhung des Anteils regenerativer Energie
Beschreibung der Maßnahme	Durch zukünftig vermehrte Nutzung von Elektromobilität nimmt der Tagesgang und die Zeitkritikalität des Bedarfs an elektrischer Energie ab. Auch der zunehmende Bedarf an elektrischer Energie für Kühlung kann mit einer gewissen zeitlichen Flexibilität gedeckt werden. Beide Bedarfe können bei entsprechender Regelung einen puffernden Effekt auf die Netzlast haben, sodass vermehrt regenerative Energien eingesetzt werden können. Zur Umsetzung dieser Maßnahme ist eine hohe individuelle Initiative essentiell. Im Rahmen dieser Maßnahme sind daher folgende Schritte zu setzen: • Technische Hindernisse und Restriktionen abbauen (z.B. Einspeisung in das öffentliche Netz),

	• Motivation durch finanzielle Förderung erhöhen, • Standardisierung der Technik vorantreiben, • Architekten, Ingenieurbüros und Bauherren über die Nutzung von Solarenergie sensibilisieren, • Label/Zertifikate erstellen, die die Nutzung von Solarenergie favorisieren, • Potenziale für ungenutzte Energiequellen ermitteln, • Förderung der Energiespeicherung, • Förderung des spontanen Energiekonsums, • Förderung von Pilotprojekten
Zusätzliche Hinweise	3rd Industrial Revolution Strategie http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/n/de/publikationen/Zukunftsmarkt_Stromspeicherung.pdf
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Ministerium für Energie und Raumentwicklung
Beteiligte Akteure	Energie, Netzbetreiber, Telekommunikation, Transport und Verkehr, Finanz- und Versicherungswesen, MyEnergy
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Anteil am Energiemix • Volatilität der Spotmarktpreise für Strom

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Ausbau von Biomassekraftwerken unter Berücksichtigung von Aspekten der Nachhaltigkeit</i>
Nummer der Maßnahme	E03
Klimafolge	Höheres Biomasseaufkommen, zunehmende Beeinträchtigungen der Energieversorgung aufgrund von Extremereignissen
Sektor	Energie
Maßnahmenart	Rechtlich, finanzpolitisch, bewusstseinsbildend, Infrastruktur
Ziel der Maßnahme	Erhöhung des Anteils regenerativer Energie; redundante, dezentrale Energiegewinnung
Beschreibung der Maßnahme	Biomassekraftwerke liefern als regelbare, dezentrale Kraftwerke regenerativer Energie einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung. Biomasse (z.B. land- und forstwirtschaftliche Abfälle, Grünabfälle, Klärschlamm und Schwarzlauge, Reststoffe von Industrie und Gewerbe, Altspeiseöle und Fette) kann in Nieder- und Hochtemperaturwärme, Elektrizität, Biogas, synthetisches Gas und Kraftstoffe umgewandelt werden. Bei der Implementierung dieser Maßnahme sind neben den motivierenden Akzenten vor allem regulatorische Maßnahmen zu setzen. So ist der Nutzung von Anbaubiomasse Ernährung und stoffliche Nutzung (Möbel, Bauholz, Biokunststoffe) nach Möglichkeit immer einer energetischen Verwertung vorzuziehen. Rodungen von Waldflächen zur Gewinnung von Biomasse müssen in jedem Fall vermieden werden. Weitere negative Umwelteffekte resultierend aus intensiverer Nutzung von Anbauflächen dürfen nicht zu Überdüngung und Versauerung von Böden und Gewässern führen. Erhöhte Emissionen von Klimagasen (v. a. Lachgas) sind zu vermeiden. Für die Umsetzung dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Technische Hindernisse und Restriktionen abbauen, • Einführung einer Quote von zu verwendendem Biomüll an der Gesamtbiomasse, • Überwachung ökologischer Standards beim Anbau von Biomasse, • Motivation durch finanzielle Förderung erhöhen.

Zusätzliche Hinweise	https://www.vde.com/de/etg/arbeitsgebiete/informations-detailseiten/biomassekraftwerke
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Energie und Raumentwicklung, Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung, Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung
Beteiligte Akteure	Energie, Land- und Forstwirtschaft, Netzbetreiber, Transport und Verkehr, Finanz- und Versicherungswesen
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Anteil am Energiemix • Volatilität der Spotmarktpreise für Strom

5.3. Forstwirtschaft

5.3.1. Bestehende Maßnahmen

Im Leitfaden für forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen von geschützten Waldbiotopen (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2017) werden folgende Maßnahmen mit Relevanz zur Anpassung an den Klimawandel vorgeschlagen:

- Selektive Jungwuchs- und Dickungspflege,
- Läuterungen, Durchforstungen und Anlegen von Pflegegassen im Stangenholz,
- Durchforstung in Jungbeständen,
- Erhalt von Totholz und Höhlenbäumen,
- bodenschonende Holzernteverfahren,
- Naturverjüngung der Zielbaumart Eiche,
- naturnaher Waldbau und Erhalt der lebensraumtypischen Baumarten,
- Einzelbaumweise oder horstweise Holznutzung,
- Förderung der Naturverjüngung,
- naturnaher Waldbau, Erhalt der Laubwälder mit standortsgerechten Laubbaumarten,
- Bewirtschaftung des Niederwaldes,
- Erhalt der lebensraumtypischen Baumarten,
- Erhalt und Förderung von strukturierten Waldrändern,
- Erhalt der Feldgehölze.

Weitere Informationen:

<http://www.environnement.public.lu/forets/dossiers/pfn/documents/Leitfaden-160330.pdf>

Relevante Klimafolgen: Zunahme heimischer Schadorganismen, Veränderung der (Baum-) Artenzusammensetzung, invasive Neobiota, abiotische Waldschäden, zunehmende Waldbrandgefahr.

Die Webplattform *Invasive Alien Species in Luxembourg* (www.neobiota.lu) informiert über invasive Arten hinsichtlich ihrer Wichtigkeit und ihrer Verteilung im Großherzogtum.

Weitere Informationen:

<https://neobiota.lu/en/>

Relevante Klimafolgen: Zunahme heimischer Schadorganismen.

Umsetzung und Änderung des Jagdgesetzes und Erstellung eines Jagdplans für bestimmte Großwildarten

Weitere Informationen:

<https://environnement.public.lu/fr/peche/chasse.html>

Relevante Klimafolgen: invasive Neobiota.

5.3.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Forstwirtschaft werden folgende drei Maßnahmen definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Flächendeckende Waldbiotopkartierung und Erstellung eines Maßnahmenkatalogs zur zukunftsfähigen Waldbewirtschaftung in einem sich ändernden Klima</i>
Nummer der Maßnahme	F01
Klimafolge	Veränderung der (Baum-) Artenzusammensetzung
Sektor	Forstwirtschaft
Maßnahmenart	Forstinventur, Forschung, bewusstseinsbildend
Ziel der Maßnahme	Stabilisierung und langfristige Erhaltung der Funktionen von Waldökosystemen im Hinblick auf sich abzeichnende Klimaänderungen. Darüber hinaus ist in allen Wäldern im Verjüngungsprozess auf standortgerechte Artenzusammensetzungen und Strukturen hinarbeiten, welche Resilienz und Anpassungsfähigkeit erhöhen.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sollen folgende Schritte gesetzt werden: • Flächendeckende Waldbiotopkartierung, • Identifizierung von klimasensitiven Wäldern, • Forschung und Monitoring zur Erfassung und Überwachung der genetischen Vielfalt und des Anpassungspotenzials, • Forschung zur Erfassung der Auswirkungen invasiver Neophyten auf die Funktionen des Waldes, • Neophytenmonitoring, • Monitoring von Ausmaß und Folgen der Verbissbelastung durch das Schalenwild auf die Baumartenzusammensetzung, • Erstellung eines Maßnahmenkatalogs zur nachhaltigen Waldbewirtschaftung.
Zusätzliche Hinweise	Leitfaden für forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen von geschützten Waldbiotopen (Administration de la nature et des forêts, 2017) Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management (Forest Europe, 2015)

Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Natur- und Forstverwaltung
Beteiligte Akteure	Waldbesitzer, Forstarbeiter, Natur und Forstverwaltung
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	FOREST EUROPE Indikatoren: 4.1 Baumartenzusammensetzung, 4.2 Verjüngung, 4.3 Natürlichkeitsgrad, 4.4 Neobiota, 4.6 Genetische Ressourcen, 2.4 Waldschäden

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Umbau von Monokulturen zu Mischwäldern</i>
Nummer der Maßnahme	F02
Klimafolge	Zunahme von heimischen Schadorganismen, invasive Neobiota, Beschleunigung von Umsetzungsprozessen (Böden)
Sektor	Forstwirtschaft
Maßnahmenart	Waldbaulich, rechtlich, administrativ
Ziel der Maßnahme	Stabilisierung der Waldökosysteme im Hinblick auf drohende Klimaänderungen durch Stärkung und soweit erforderlich Verbesserung der nachhaltigen Waldbewirtschaftung. Entwicklung und Umsetzung geeigneter Anpassungsmaßnahmen (z.B. Monokulturen werden ausreichend und geeignet umgebaut oder verjüngt damit sie stabil und anpassungsfähig werden und dadurch ihre Resilienz gegenüber Waldschäden wie z.B. Sturm, Waldbrand oder Schädlingen erhöht wird). Darüber hinaus wird der Schutz des Bodens unterstützt.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sollen folgende Schritte gesetzt werden: • Einbringung von Laubgehölzen in Fichtenmonokulturen, • Erhöhung der strukturellen (d. h. unterschiedliche Höhen und Alter) Vielfalt bzw. der Baumartenvielfalt, • standortsangepasste Bestandespflege oder Anwendung ökosystemverträglicher (im Sinne von standorts- und bestandes-individuell angepasster) Management-(Waldbau-) Methoden, • Förderung der Naturverjüngung, • Bekämpfung von Schädlingen (eruieren von potenziellen Feinden dieser Schädlinge sowie deren Lebensbedingungen), • Fortsetzen des gezielten Monitorings von zur Zeit als EU Quarantäneschädlinge eingestuften Organismen, Ausarbeitung von Notfallplänen, • Etablierung einer Plattform zur Überwachung der Verbreitung von Parasiten und krankheitsübertragenden Organismen, • Ausbau der Öffentlichkeitsarbeit bezüglich Klimawandel und waldbaulichen Maßnahmen, • Projekte zur Schaffung von strukturiertem Mischwald, inklusive Verbesserung der Vielfalt durch Beimischung (Pflanzung) von gezielt ausgewählten Baumarten (u. a. Beimischung von TEi in Buchen-Reinbeständen), mit dem Ziel der Erhöhung der Stabilität und der Anpassungsfähigkeit der Wälder, • Erhalt des Eichen-Anteils durch angepasste Naturverjüngungsverfahren und Pflanzung anhand von begleitenden Projekten und Monitorings mit dem Ziel den Anteil dieser für den Umgang mit dem Klimawechsel wichtigen Baumart zu sichern.
Zusätzliche Hinweise	Leitfaden für forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen von geschützten Waldbiotopen (Administration de la nature et des forêts, 2017) Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management (Forest Europe, 2015)
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Natur- und Forstverwaltung
Beteiligte Akteure	Waldbesitzer

Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	FOREST EUROPE Indikator: 4.3 Natürlichkeitsgrad
Bezeichnung der Maßnahme	<i>Erhaltung, Verbesserung bzw. Wiederherstellung der Funktionen des Waldbodens, insbesondere als Wasser- und Kohlenstoffspeicher sowie als Nährstofflieferant</i>
Nummer der Maßnahme	F03
Klimafolge	Beschleunigung von Umsetzungsprozessen in Böden
Sektor	Forstwirtschaft
Maßnahmenart	Waldbaulich, finanziell
Ziel der Maßnahme	Erhaltung und Aufbau resilienter Waldökosysteme mit funktionierenden natürlichen Puffer-, Speicher- und Filterkapazitäten und Verbesserung degradierter Waldböden zur Sicherstellung der Schutzwirkung von Wäldern.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sollen folgende Schritte gesetzt werden: • Umsetzung der Maßnahme F02: Umbau von Monokulturen, • ausreichende finanzielle Förderungen von Boden- und Wasserschutzwaldbewirtschaftung, • standortsangepasste Baumartenwahl, • einzelstammweise Nutzung anstatt Kahlschlag, • bodenschonende Holzernte, • ggf. Düngung, Kalkung, • angemessener Wildbestand, ggf. Verbiss- und Fegeschutz, • Verbesserung der Waldpflege, insbesondere in Jungbeständen (Qualifizierungsphase) mit dem Ziel die Stabilität, die Vitalität und den Gesundheitszustand der Wälder zu erhöhen.
Zusätzliche Hinweise	Leitfaden für forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen von geschützten Waldbiotopen (Administration de la nature et des forêts, 2017) Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management (Forest Europe, 2015)
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Natur- und Forstverwaltung
Beteiligte Akteure	Waldbesitzer
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	FOREST EUROPE Indikatoren: 1.4 Kohlenstoffvorrat, 5.1 Schutzwälder

5.4. Infrastruktur

5.4.1. Bestehende Maßnahmen

Im Report *3rd Industrial Revolution Strategy* (The TIR Consulting Group LLC, 2016) werden für den Sektor Infrastruktur unter anderem folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Entwicklung eines robusten Resilienz-Monitoringprogrammes das es ermöglicht die Bedingungen von Fahrgästen und Waren, die Kapazität der Infrastruktur sowie den Energieverbrauch zu erheben und diese Daten für die Entwicklung von Szenarien für unerwartete Ereignisse, ausgelöst z.B. durch den Klimawandel, zu verwenden.

- Verletzlichkeitsanalysen sollen anhand von Verkehrsmodellen durchgeführt werden, um die Effekte von Fehlern in Systemkomponenten (Infrastruktur, Energieversorgung) aufzuzeigen.

Weitere Informationen:

http://imslux.lu/eng/nos-activites/pole-de-specialites/8_the-third-industrial-revolution-in-luxembourg

Relevante Klimafolgen: Verändertes Naturgefahrenpotenzial, Zunahme von betriebswirtschaftlichen Auswirkungen, höhere Materialbeanspruchung, erhöhte Ausfallgefahr.

In der *Strategy for the IRBD Rhine for adapting to climate change* (International Commission for the Protection of the Rhine, 2015) werden folgende, die Schifffahrt betreffende, Maßnahmen beschrieben:

- Geringere Fracht oder Einschränkung der Schifffahrt während Niedrigwasser,
- Anpassung der Größe der Schiffe,
- Vertiefung der Schifffahrtskanäle, um eine Befahrung auch bei Niedrigwasser zu gewährleisten.

Weitere Informationen:

http://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_en/Reports/219_en.pdf

Relevante Klimafolgen: Gefährdung der Schifffahrt.

5.4.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Infrastruktur werden folgende zwei Maßnahmen definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Identifizierung von kritischen Infrastrukturen und Initiierung von Maßnahmen zur Reduktion der Vulnerabilität</i>
Nummer der Maßnahme	I01
Klimafolge	Störung der Infrastruktur durch Hitze
Sektor	Infrastruktur
Maßnahmenart	Rechtlich, finanzpolitisch, Infrastruktur
Ziel der Maßnahme	Schutz und Verfügbarkeit von kritischen Infrastrukturen sicherstellen.
Beschreibung der Maßnahme	Kritische Infrastrukturen sind bezüglich Größe, Eigentumsverhältnissen, Organisation und Führung sehr heterogen. Untereinander sind sie allerdings oft eng verbunden und voneinander abhängig. Deshalb werden im Rahmen dieser Maßnahme alle Akteure aufgefordert, ihre Vulnerabilität unter den durch den Klimawandel geänderten Rahmenbedingungen neu zu bewerten und zu begrenzen: • Neue Gefahrenpotenziale erkennen,

	• identifizierte Gefahrenpotenziale den anderen Akteuren im Bereich kritischer Infrastrukturen kommunizieren, um hoher Interdependenz Rechnung zu tragen, • Kaskadeneffekte ermitteln, • gemeinsam geeignete Maßnahmen der Risikovorsorge (durch Prozessüberwachung) und des baulich-technologischen Schutzes identifizieren, • gemeinsam geeignete Maßnahmen des Krisenmanagements identifizieren und abstimmen, • Melde- und Berichtspflicht eruieren, • Versicherungsschutz prüfen, • Anpassung von Handlungsvorgaben und Sicherheitszuschlägen durch die Administration, • Aufnahme klimabedingter Krisen in Melde- und Berichtspflicht durch die Administration.
Zusätzliche Hinweise	3rd Industrial Revolution Strategie
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	HCPN, Ministerium für Mobilität und öffentliche Arbeiten
Beteiligte Akteure	Akteure aus den Bereichen Energie, Telekommunikation, Transport und Verkehr, Gesundheit, Wasser, Ernährung, Finanz- und Versicherungswesen
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Existenz von Strategien und Krisenprotokollen

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Integration von Klimawandel in die Konzeption neuer Infrastrukturen</i>
Nummer der Maßnahme	I02
Klimafolge	Verändertes Naturgefahrenpotenzial (Hochwasser, ...)
Sektor	Infrastruktur
Maßnahmenart	Rechtlich, finanzpolitisch, Infrastruktur
Ziel der Maßnahme	Schutz und Verfügbarkeit von kritischen Infrastrukturen sicherstellen.
Beschreibung der Maßnahme	Als Folge der veränderten Niederschlagsverhältnisse werden häufigere und extremere Hochwasserereignisse, Hangrutschungen und Massenbewegungen erwartet. Im Zuge dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Identifizierung von sensiblen Verkehrswegen, • entsprechend ihrer Wichtigkeit sollten Straßen, Schienen, Flughäfen, Hafenanlagen und Schleusen bei Neubau vor Überschwemmungen, Hangrutschungen und Unterspülungen geschützt werden, • Signalanlagen können besonders im Krisenfall an Bedeutung gewinnen und sollten entsprechend geschützt werden, • da die Bauten zum Schutz vor Hochwasser häufig nicht für außerordentliche Abflussspitzen ausgelegt sind, sollten zusätzliche Flächen als Hochwasserkorridore ausgewiesen werden. Sie gewährleisten bei extremen Hochwasserereignissen den kontrollierten Abfluss der Wassermassen, • tiefliegende wassergefährdende Anlagen (Öltanks, Chemikalienlager) sind gegen Überflutung zu sichern, • bei der Ausarbeitung einzelner baulicher Maßnahmen sollte deren flexible Nachjustierbarkeit oberste Prämisse sein. Wechselwirkungen mit unterschiedlichen Nutzungen und anderen Maßnahmen sind zu untersuchen, • Aufbau von Monitoring- und Frühwarnsystemen für kritische Infrastrukturen, • Maßnahmen gegen Bodenversiegelung ergreifen,

	• systematische Dokumentation von Naturgefahrenereignissen und Aufbau einer Schadensdatenbank für kritische Infrastrukturen, • Anpassung der Planung und Dimensionierung von Entwässerungsanlagen, • Anpassung von Baustandards (z.B. Brücken, Baumaterialien).
Zusätzliche Hinweise	3rd Industrial Revolution Strategie
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Mobilität und öffentliche Arbeiten, Ministerium für Energie und Raumentwicklung, Kommunen
Beteiligte Akteure	Akteure aus den Bereichen Energie, Telekommunikation, Transport und Verkehr, Gesundheit, Wasser, Ernährung, Finanz- und Versicherungswesen
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Anzahl der geänderten Normen

5.5. Krisen- und Katastrophenmanagement

5.5.1. Bestehende Maßnahmen

In der Strategie *Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung* (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012) werden folgende Maßnahmen empfohlen die den Sektor Krisen- und Katastrophenmanagement betreffen:

- Treffen von Verhaltensvorsorge insbesondere in windexponierten Lagen wie z.B. Sturmsicherungsmaßnahmen an Dächern,,
- beim Neubau und der Sanierung von Gebäuden sollte darauf geachtet werden, dass auch Fassaden gedämmter Häuser möglichst robust gegenüber Hagelschäden ausgestaltet werden,
- regelmäßige Überprüfung der baulichen Anlagen und Dachkonstruktionen sowie von Bäumen durch die zuständigen Behörden bzw. Eigentümer auf Schäden und Standsicherheit.

Weitere Informationen:

http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf

Relevante Klimafolgen: Eintritt bisher nicht dimensionierter Ereignisse, Zunahme primärer und sekundärer Schäden durch Naturgefahren, stärkere Auswirkungen von Extremereignissen, Gefährdung der Versorgungssicherheit mit Energie.

Im Report *3rd Industrial Revolution Strategy* (The TIR Consulting Group LLC, 2016) werden für den Sektor Krisen- und Katastrophenmanagement unter anderem folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Entwicklung eines robusten Resilienz-Monitoringprogrammes das es ermöglicht die Bedingungen von Fahrgästen und Waren, die Kapazität der Infrastruktur sowie den

Energieverbrauch zu erheben und diese Daten für die Entwicklung von Szenarien für unerwartete Ereignisse, ausgelöst z.B. durch den Klimawandel, zu verwenden.

- Verletzlichkeitsanalysen sollen anhand von Verkehrsmodellen durchgeführt werden um die Effekte von Fehlern in Systemkomponenten (Infrastruktur, Energieversorgung) aufzuzeigen.

Weitere Informationen:

http://imslux.lu/eng/nos-activites/pole-de-specialites/8_the-third-industrial-revolution-in-luxembourg

Relevante Klimafolgen: Eintritt bisher nicht dimensionierter Ereignisse, Zunahme primärer und sekundärer Schäden durch Naturgefahren, stärkere Auswirkungen von Extremereignissen, Gefährdung der Versorgungssicherheit mit Energie.

In den vergangenen Jahren wurden im Rahmen des vorbereitenden Katastrophenschutzes verschiedene nationale Einsatzpläne ausgearbeitet, welche bei der Zunahme von Extremereignissen von Bedeutung sind und dazu beitragen, dass die beteiligten Akteure auf die daraus resultierende Einsätze vorbereitet sind:

- Plan d'intervention d'urgence en cas d'intempéries,
- Plan d'intervention d'urgence en cas de rupture d'approvisionnement d'énergie,
- Plan d'intervention d'urgence en cas de rupture d'approvisionnement en eau potable.

Weitere Informationen:

<http://www.infocrise.lu>

Relevante Klimafolgen: Eintritt bisher nicht dimensionierter Ereignisse, Zunahme primärer und sekundärer Schäden durch Naturgefahren, stärkere Auswirkungen von Extremereignissen, Gefährdung der Versorgungssicherheit mit Energie und/oder Trinkwasser.

5.5.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Krisen- und Katastrophenmanagement werden folgende vier Maßnahmen definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Anpassen der Blaublichtorganisationen und Einsatzleitungen an sich verändernde klimatische Verhältnisse</i>
Nummer der Maßnahme	K01
Klimafolge	Eintritt bisher nicht dimensionierter Ereignisse
Sektor	Krisen- und Katastrophenmanagement
Maßnahmenart	Bewusstseinsbildend, Ausbildung, Forschung
Ziel der Maßnahme	Ausbildung der betroffenen Einsatzleitungen und Blaublichtorganisationen vor Ort bezüglich der sich durch den Klimawandel verstärkten Gefahren.

Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sollen folgende Schritte gesetzt werden: • Erarbeitung eines Schulungsprogrammes für Blaulichtorganisationen und Einsatzleitungen bezüglich sich verändernder klimatischer Verhältnisse, • kontinuierliches Aktualisieren des Schulungsprogrammes hinsichtlich neuer Forschungsergebnisse zu den Veränderungen durch den Klimawandel, • Aus- und Weiterbildung der Einsatzorganisationen für die Katastrophenbewältigung, damit im Ereignisfall die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Führungsstufen gewährleistet ist, • in Zukunft sollen die Auswirkungen der Klimaveränderung in der Ausbildung vermehrt berücksichtigt werden.
Zusätzliche Hinweise	3rd Industrial Revolution Strategie
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium des Innern, Ministerium für innere Sicherheit, Verwaltung der Rettungsdienste (CGDIS)
Beteiligte Akteure	Blaulichtorganisationen (Polizei, Rettung, Feuerwehr), Einsatzleitungen
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Einsatzstunden bei wetter- und witterungsbedingten Schadensereignissen • Übungsgeschehen • aktive Rettungsdienste

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Kontinuierliches Monitoring von Naturgefahrenprozessen und Ereignissen sowie Weiterentwicklung und Verbesserung der Methoden und Technologien zur Erkennung neuer Naturgefahrenprozesse</i>
Nummer der Maßnahme	K02
Klimafolge	Zunahme primärer und sekundärer Schäden durch Naturgefahren, stärkere Auswirkungen von Extremereignissen
Sektor	Krisen- und Katastrophenmanagement
Maßnahmenart	Forschung, rechtlich, Infrastruktur
Ziel der Maßnahme	Permanentes Monitoring der Gefahrenprozesse und deren klimabedingte Veränderungen ermöglichen das frühzeitige Erkennen von Prozessen und deren Entwicklung und das Einleiten von Maßnahmen.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Identifizierung von Gefahrenprozessen sowie gefährdete Infrastrukturen und Bereiche, • Kontinuierliches Monitoring der identifizierten Gefahrenprozesse und Ereignisse als Grundlage für die Initiierung von vorbeugenden Maßnahmen deren Bewältigung sowie Regeneration. Neue und bekannte Gefahrenquellen werden erkannt und überwacht, • Weiterentwicklung und Verbesserung der Methoden und Technologien zur Erkennung neuer Naturgefahrenprozesse bzw. von Veränderungen (u. a. Wetter- und Abflussvorhersagen).
Zusätzliche Hinweise	3rd Industrial Revolution Strategie
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Administration de la gestion de l'eau, Administration des services techniques de l'Agriculture, Administration de la navigation aérienne
Beteiligte Akteure	Akteure, welche von Naturgefahren betroffen sind, z.B. Vertreter der Landwirtschaft, von Verkehrsbetrieben oder Energieanbietern
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Ausgewiesene gefährdete Infrastrukturen, Anzahl der durch Monitoring überwachten Gefahrenprozessen

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Integration von Klimawandel in die Konzeption von Regen-, Abwasser- und Trinkwassersysteme</i>
Nummer der Maßnahme	K03
Klimafolge	Gefährdung der Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung

Sektor	Krisen- und Katastrophenmanagement
Maßnahmenart	Rechtlich, Infrastruktur, Forschung, Ausbildung
Ziel der Maßnahme	Trink- und Brauchwasser entsprechen zu jeder Zeit den notwendigen qualitativen Anforderungen und stehen in den benötigten Mengen zur Verfügung.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Forcierung der Zusammenarbeit mit den Sektoren Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft, Menschliche Gesundheit, Landwirtschaft und Landesplanung hinsichtlich der Prognose von Extremwetterereignissen, • Weiterentwicklung von bestehenden Systemen wie z.B. Unwetterwarnsysteme bzw. die Prognose von Starkregenereignissen oder Trockenperioden, • Initiierung von Katastrophenschutz-Sonderplanungen, Ausbildungsprogrammen und Übungen, • Evaluierung bestehender Trinkwassernotversorgungsprogramme und Ausrüstungen (sind z.B. Notstromaggregate oder Pumpen in ausreichender Menge vorhanden).
Zusätzliche Hinweise	Schnittstelle mit dem Sektor Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Administration de la gestion de l'eau
Beteiligte Akteure	Vertreter der Wasserwirtschaft (Kommunen), Blaulichtorganisationen
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Anzahl der für die Wasserver- und Entsorgung notwendigen Geräte

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Initiierung von robusten und anpassbaren Schutzmaßnahmen</i>
Nummer der Maßnahme	K04
Klimafolge	Steigende Kosten
Sektor	Krisen- und Katastrophenmanagement
Maßnahmenart	Rechtlich, finanzpolitisch, Infrastruktur, Forschung, planerisch
Ziel der Maßnahme	Um die Gefährdung von Siedlungsräumen und Infrastrukturen und somit steigende Kosten zu reduzieren sind integrale Schutzkonzepte zu planen und robust und anpassbar umzusetzen damit sie auch bei einer Änderung der Prozesse (z.B. Intensität der Niederschläge, Abflussmenge) weiterhin funktionsfähig bleiben, bzw. angepasst werden können.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Anpassung älterer Schutzbauwerke an heute geltende technische und ökologische Anforderungen mit Berücksichtigung einer klimabedingten Änderung der Gefahrensituation, • bei der Planung von Schutzbauten wird die Überschreitung von Bemessungsgrößen möglicher Konsequenzen von Ereignissen mitberücksichtigt, • flankierende Maßnahmen wie die Überwachung, die Frühwarnung, die Evakuierungen und die Sperrungen um Schäden in Gebiete mit geringem Schadenpotenzial zu konzentrieren.
Zusätzliche Hinweise	
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Administration de la gestion de l'eau
Beteiligte Akteure	Zuständige Ministerien, Betreiber von kritischen Infrastrukturen, Landesplanung
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Investitionen in Schutzbauten und flankierende Maßnahmen

5.6. Landesplanung

5.6.1. Bestehende Maßnahmen

In der Strategie *Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung* (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012) werden folgende Maßnahmen empfohlen, die den Sektor Landesplanung betreffen:

- Wassersparende Maßnahmen: auf öffentlichen Grünflächen sollte die Vegetation möglichst natürlich versorgt werden, Bewässerung durch Regen- und Brauchwasser,
- Auswahl trockenheitsresistenter (und winterharter) Baum- und Straucharten zur Stadtbegrünung,
- Planung von Wasserretention und -verteilung durch eine Verknüpfung mit der Gestaltung von Freiräumen.

Weitere Informationen:

http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf

Relevante Klimafolgen: Vermehrter Wärmeinseleffekt, veränderte Gefährdungsgebiete.

5.6.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Landesplanung werden folgende zwei Maßnahmen definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Climate proofing der Landesplanung: Integrierte Planung und verstärkte Abstimmung der nationalen, kommunalen und Sektoralen Planungen unter Berücksichtigung des Klimawandels</i>
Nummer der Maßnahme	LP01
Klimafolge	Verschärfung von Nutzungskonflikten um Flächen, Reduktion der Qualität, Produktivität und Verfügbarkeit der Flächen und des Bodens
Sektor	Landesplanung
Maßnahmenart	Rechtlich, bewusstseinsbildend, Infrastruktur, Kommunikation
Ziel der Maßnahme	In der Landesplanung ist der Klimawandel (Anpassung und Schutz) als Ziel in die übergeordneten Grundsätze des Gesetzes zur Landesplanung, skalen- und Sektor-übergreifende Herausforderung aufzunehmen und zu kommunizieren. Um die Vulnerabilität durch extremere klimatische Bedingungen in vielen Bereichen der Landnutzung zu begrenzen, ist eine extensivere und weniger spezialisierte Nutzung erforderlich und eine Ausweisung von „Klimaflächen“. Die entstehenden Nutzungskonflikte werden durch eine Landesplanung entschärft, in die die Klimaresilienz und Multifunktionalität integriert ist.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Climate proofing der Landesplanung: Erstellen neuer Instrumente der Landesplanung • die Regional-, kommunal und Bauleitplanung soll auf Klimaresilienz achten z.B. durch: ○ Ausweisung von Pufferzonen zu risikobehafteten Orten,

	○ Flächenausweisung deren Nutzung auch unter Klimawandelbedingungen ohne große Risiken oder Einschränkungen möglich ist, ○ Gestaltung von Ausgleichsflächen, dass sie ihre ökologische Funktion auch unter dem projizierten Klimawandel erfüllen, ○ Ausweisung von Klimafunktionsflächen, z.B. für nächtliche Kälteproduktion oder Retentionsflächen, ○ Mehrfachnutzung von Klimafunktionsflächen, z.B. Retentionsfläche Park, landwirtschaftliche Flächen im Stadtgebiet, ○ Sensibilisierung und Aufklärung bei der Planung gemeindeübergreifender Entwicklungspole in punkto Bildung von Hitzeinseln im Sommer, Versiegelung und Hochwasser, ○ Intensivierung von Forschungsaktivitäten im Hinblick auf die Identifizierung der Implikationen für die verschiedenen Bereiche der Landesplanung, ○ Multifunktionalität und vielfältige Nutzung der Flächen sichern (z.B. mehrstöckige P&R Anlagen mit Solardach und grüner Fassade, Auffangbecken: Fußballfelder, Spielplätze, ...) ○ Schutz und Entwicklung von Freiräumen durch lokale Grünflächen, nationale, regionale und kommunale Grünzonen und Grüncorridore. Weitere Schritte sind: • Bewertung von Umweltverträglichkeitsstudien und landschaftspflegerischen Begleitplänen im Kontext des Klimawandels, • Mobilitätskonzepte, zur Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs, • Reduzierung der Erosions- und Verdichtungsgefährdung durch geeignete landwirtschaftliche Bewirtschaftungssysteme, • Flächennutzungsplanung in der Biotop- und Feuchtgebiete gesichert und, wenn möglich, regeneriert werden, • Verifizierung der Wirksamkeit umgesetzter Pläne durch Monitoring. Die Raumplanung hat die Aufgabe, grundlegende Informationen für die unterschiedlichen Sektoren und Planungsebenen bereitzustellen. Sie kann den Austausch und die Kooperation der betroffenen Akteure sachkundig begleiten. (Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung in Luxemburg, S.23)
Zusätzliche Hinweise	http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Energie und Raumentwicklung
Beteiligte Akteure	Kommunen, Ministerium des Innern, Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Bebaute Fläche in Gefährdungszonen • Bebaute Fläche in Hochwasserrisikogebieten • Ausweisung von klimatisch bedeutsamen Freiflächen in bioklimatisch belasteten Gebieten • Erosionsmonitoring

Bezeichnung der Maßnahme	Erstellung von Gefahrenzonenplänen und Ausarbeitung von Vulnerabilitätskarten
Nummer der Maßnahme	LP02
Klimafolge	Veränderte Gefährdungsgebiete
Sektor	Landesplanung
Maßnahmenart	Rechtlich, finanzpolitisch, bewusstseinsbildend, Infrastruktur, Forschung
Ziel der Maßnahme	Verortung verletzlicher Gebiete
Beschreibung der Maßnahme	Als Folge der veränderten Niederschlags- und Temperaturverhältnisse werden häufigere und extremere Hochwasserereignisse, Hangrutschungen und Massenbewegungen, Trockenheit erwartet. Diese Maßnahme besteht aus vier Schritten: • Geo-hydrologische Impact-Modellierung für die zu erwartenden Niederschlagsverhältnisse. Als Ergebnis liegen Gefahrenzonenpläne für die Gefahren: Überflutung bei 10-jährlichem Hochwasser, Überflutung bei 100-jährlichem Hochwasser, HQ Extrem, Gefahr der Hangrutschung nach (zu definierendem) Intensivniederschlag vor, • Impact-Modellierung zu Erdbewegungen, Erosion, Waldbrandgefahr und Sturmereignissen, • Identifizierung und Verortung sensibler Gebiete; sensible Gebiete sind Gebiete mit kritischen Infrastrukturen, dichtbesiedelt, großen Werten und gefährdenden Anlagen und Lagern sowie Kulturgüter, • Erstellung der Vulnerabilitätskarten durch Verschneiden der Gefahrenzonenpläne mit den Karten der sensiblen Gebiete. Außerdem können im Rahmen dieser Maßnahme folgende Schritte gesetzt werden: • Anlage eines Ereigniskatasters, • Veröffentlichung der Vulnerabilitätskarten, • Veröffentlichung von Hochwasserprognosen.
Zusätzliche Hinweise	http://www.dat.public.lu/publications/documents/CChange/CChange_conclusions.pdf https://eau.public.lu/directive_cadre_eau/directive_inondation/1er-cycle/HWRML-PL_final/HWRM-PL_2015_final_151218.pdf
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Administration de la gestion de l'eau
Beteiligte Akteure	Kommunen,
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Anzahl der Gemeinden mit Gefahrenzonenplänen • Aktualisierte Vulnerabilitätskarten • Aktualisierte Hochwasser- und Starkregenkarten • Erosions-monitoring

Bezeichnung der Maßnahme	Förderung und Beratung für klimaeffizientes Planen und Bauen
Nummer der Maßnahme	LP03
Klimafolge	Verschärfung von Nutzungskonflikten um Flächen, zunehmender Druck auf Freiräume, veränderte Gefährdungsgebiete
Sektor	Landesplanung, Bauen und Wohnen, Urbane Räume
Maßnahmenart	Bewußtseinsbildung, Kommunikation
Ziel der Maßnahme	Umsetzungsleitfaden erstellen für Gemeinden u. Planungsbüro zur konkrete Umsetzung von Adaptationsplänen
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Umänderung, und Climate proofing von PAG/PAP/Règlement des bâtisses

	• Weiterbildung für Planungsbüros • Infrastrukturdimensionierung • Verbindung zum Klimapakt • Beratungsstruktur im Ministerium • Klimaplaner/Kümmerer einstellen • Fördermittel Subside für Adaptationsmaßnahmen zur Verfügung stellen • Förderung kleinerer Wohnräume (m²/Einwohn.), dichtere ZAE
Zusätzliche Hinweise	
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium des Innern, Ministerium für Energie und Raumentwicklung
Beteiligte Akteure	Administration des ponts & chaussées, Kommunen, Studienbüros, OAI, Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung),
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	PAG/PAP, Règlement des bâtisses mit integrierten Klimaanpassungsbewertung

5.7. Landwirtschaft inkl. pflanzlicher und tierischer Gesundheit

5.7.1. Bestehende Maßnahmen

Die Webplattform *Invasive Alien Species in Luxembourg* (www.neobiota.lu) informiert über invasive Arten hinsichtlich ihrer Wichtigkeit und ihrer Verteilung im Großherzogtum.

Weitere Informationen:

<https://neobiota.lu/en/>

Relevante Klimafolgen: Invasive Neobiota.

Warndienste und Prognose-Modelle im Bereich Landwirtschaft, Obstbau und Weinbau

Relevante Klimafolgen: Zunahme heimischer Schadorganismen, Zunahme Extremwetterereignisse, Verlängerung Vegetationsperiode.

Sortenversuche von heimischen Nutzpflanzen.

Relevante Klimafolgen: Zunahme heimischer Schadorganismen, Zunahme Extremwetterereignisse, Verlängerung Vegetationsperiode.

Monitoring von Krankheiten und Schädlingen bei heimischen Nutzpflanzen.

Relevante Klimafolgen: Zunahme heimischer Schadorganismen, Invasive Neobiota.

Erosionskarte und Maßnahmen zu reduzierter Bodenbearbeitung.

Relevante Klimafolgen: Beeinträchtigung Bodenfruchtbarkeit, -struktur und -stabilität, Bodenerosion; Beschleunigung Umsetzprozesse (Böden).

Sowohl bei den bestehenden als auch bei den zukünftigen Maßnahmen, spielen Versicherungen in der Landwirtschaft eine wichtige Rolle. Diese werden in der Sektion 5.13 behandelt.

5.7.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Landwirtschaft inkl. pflanzlicher und tierischer Gesundheit werden folgende sechs Maßnahmen definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Ausbau des Monitorings von invasiven Neobiota und Erarbeitung von Richtlinien zu deren Beseitigung bzw. präventiven Aktivitäten</i>
Nummer der Maßnahme	L01
Klimafolge	Invasive Neobiota
Sektor	Landwirtschaft inkl. tierischer und pflanzlicher Gesundheit
Maßnahmenart	Rechtlich, Forschung, bewusstseinsbildend
Ziel der Maßnahme	Die Ausbreitung von invasiven Neobiota wird so rasch als möglich eingeschränkt bzw. verhindert. Der Schaden für die Landwirtschaft wird minimiert.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Sammlung von Informationen zu invasiven, gebietsfremden Arten und regelmäßige Prüfung der Relevanz für Luxemburg (https://neobiota.lu/en/), • Fortsetzen des gezielten Monitorings von zur Zeit als EU Quarantäne-schädlinge eingestuft Organismen, Ausarbeitung von Notfallplänen, • Beurteilung des Schadenpotenzials von in Luxemburg vorkommenden gebietsfremden bislang unauffällig gebliebenen Arten unter veränderten Klimabedingungen, • Erarbeitung von Richtlinien zur Beseitigung von Neobiota bzw. zu präventiven Aktivitäten, • Etablierung einer Plattform zur Überwachung der Verbreitung von Parasiten und krankheitsübertragenden Organismen, • Abstimmung der Maßnahmen gegen invasive, gebietsfremde Arten auf die Eigenschaften der jeweiligen Arten, • gezielte Einleitung von Maßnahmen gegen die unbeabsichtigte Ausbreitung gebietsfremder Arten, • bewusstseinsbildende Maßnahmen bei Branchenverbänden, usw. im Umgang mit invasiven, gebietsfremden Arten, • Erstellen von betriebsindividuellen (an die Standortbedingungen des Betriebes angepassten) Parasitenbekämpfungspläne und Impfpläne inkl. entsprechende Weiterbildung/Sensibilisierung der Hoftierärzte hinsichtlich des Einsatzes von Medikamenten, Parasitenresistenzen und Auswirkungen, • Nutzung von standortangepassten und krankheitsresistenten Arten im Landbau,

	• Erhebung von Änderungen in der Eignung von Anbaugebieten durch die Verschiebung der Areale von heimischen und neuartigen Schadorganismen, • Forcierung der Sektorübergreifenden Zusammenarbeit (Ökosysteme & Biodiversität, Forstwirtschaft, Menschliche Gesundheit und Landwirtschaft) bzw. der Zusammenarbeit betroffener Verwaltungen.
Zusätzliche Hinweise	https://neobiota.lu/en/
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung, Administration de la nature et des forêts
Beteiligte Akteure	Forschungseinrichtungen, Vertreter landwirtschaftlicher Betriebe, Gartenbaubetriebe
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Anzahl invasive Neobiota • initiierte Vermeidungs- und Bekämpfungsstrategien

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Intensivierung von Forschungsaktivitäten im Hinblick auf Extremwetterereignissen sowie Identifizierung der Implikationen für die verschiedenen Bereiche der Landwirtschaft</i>
Nummer der Maßnahme	L02
Klimafolge	Zunahme von Extremwetterereignissen, lokale Starkregenereignisse
Sektor	Landwirtschaft inkl. tierischer und pflanzlicher Gesundheit
Maßnahmenart	Forschung, bewusstseinsbildend
Ziel der Maßnahme	Erhöhung der Resilienz aller Bereiche der Landwirtschaft im Hinblick auf die Zunahme von Extremwetterereignissen.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Förderung von Forschungsaktivitäten im Bereich von Extremwetterereignissen sowie die Unterstützung von Wissenstransfer bzw. Wissensvermittlung, • Identifizierung der Auswirkungen von Extremwetterereignissen für die verschiedenen Bereiche der Landwirtschaft (z.B. Weinbau, Obstbau, Gemüseanbau, Gründlandwirtschaft, Viehzucht), • Optimierungen in der Tierhaltung, um dem Klimawandel zu begegnen, insbesondere bezüglich der Gefahr von Hitzestress (u. a. Schaffung einer kühlen Stallumgebung, angepasste Weideführung, Beschattung), • Organisation und Durchführung von Informationsveranstaltungen. • Bedingt durch die Standortvielfalt in Luxemburg, ist, trotz des schon sehr dichten Messnetzes, eine verstärkte Erfassung von meteorologischen Daten durch eine (verbesserte) flächendeckende Verteilung von Wetterstationen zu überprüfen.
Zusätzliche Hinweise	Im Rahmen dieser Maßnahme empfiehlt sich ein partizipativer Ansatz um den Wissenstransfer zu optimieren.
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung
Beteiligte Akteure	Forschungseinrichtungen, Interessensverbände, Vertreter landwirtschaftlicher Betriebe
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Informationsveranstaltungen zum Wissenstransfer

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Etablierung von Szenarien zum Auftreten von Schadorganismen als Basis für die Planung von Pflanzen- und Tierschutzmaßnahmen sowie die Erforschung von Alternativen zur Reduktion von Schädlingsdruck und Entwicklung neuer Bekämpfungsstrategien (integrierte Schadorganismen-Regulierung)</i>
Nummer der Maßnahme	L03
Klimafolge	Zunahme heimischer und invasiver Schadorganismen
Sektor	Landwirtschaft inkl. tierischer und pflanzlicher Gesundheit
Maßnahmenart	Forschung, rechtlich, bewusstseinsbildend
Ziel der Maßnahme	Reduktion der Anfälligkeit von Tier- und Pflanzenarten im Hinblick auf heimische Schadorganismen
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Bessere Verknüpfung und Zusammentragen der vorhandenen Angebote und Informationen, • Analyse der Bedürfnisse und Identifikation von Lücken bezüglich Monitoring und Frühwarnung, • Erweiterung bestehender Monitoringssysteme, um die Auswirkungen auf die Landwirtschaft und die Anpassung der Bewirtschaftung erfassen zu können, • Generierung von aktuellen Zustandsmeldungen und Prognosen zu relevanten Indikatoren (u.a. Bodenfeuchte, Schädlingsverbreitungsbulletin), allenfalls durch Mess- und Meldekampagnen unter Einbezug der Praxis, • Definition von kritischen Schwellenwerten; Erarbeitung von regional differenzierten Ampelsystemen bzw. Generierung von aktuellen Bewirtschaftungsempfehlungen, • Entwicklung von Entscheidungshilfen für den kurzfristigen Erlass von Verfügungen (z.B. Checkliste Trockenheit), • Entwicklung von Entscheidungshilfen für den Einsatz von Maßnahmen zur Bekämpfung von Schadorganismen im Kontext der Auswirkungen auf die betroffenen Ökosysteme, • Forcierung der länderübergreifenden Zusammenarbeit und frühzeitiger Informationsaustausch, • Beteiligung an internationalen Forschungsinitiativen in Bezug auf invasive Schadorganismen und Krankheiten, • Verbesserung der Überwachung von Quarantäneorganismen bei Einführen. Möglichkeit von Handelsbeschränkung aufgrund von Krankheiten die im Land auftreten und Auswirkungen auf den internationalen Handel haben.
Zusätzliche Hinweise	
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung, Administration de la nature et des forêts
Beteiligte Akteure	Forschungseinrichtungen, Interessensverbände, Vertreter landwirtschaftlicher Betriebe
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Entwicklung von Szenarien für bestimmte Organismen • Entwicklung von Strategien zur Schädlingsbekämpfung ausgewählter Organismen und Krankheiten

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Testen von Optionen zum Ausbau der Fruchtfolge bzw. der Sortenwahl im Hinblick auf eine längere Vegetationsperiode</i>
Nummer der Maßnahme	L04
Klimafolge	Verlängerung der Vegetationsperiode
Sektor	Landwirtschaft inkl. tierischer und pflanzlicher Gesundheit
Maßnahmenart	Forschung, bewusstseinsbildend

Ziel der Maßnahme	Steigerung der landwirtschaftlichen Erträge und frühzeitiges Nutzen von klimabedingten Chancen.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Verstärkte Berücksichtigung von Aspekten des Klimawandels bei der Pflanzenzüchtung bzw. bei der Frage der zukünftig züchterisch zu bearbeitenden Pflanzenarten und der Zuchtziele, • Identifikation von Nutzpflanzen im Obst-, Gemüse-, Acker-, Wein- und Futterbau, die an künftige Bedingungen (u. a. höhere Temperaturen, Hitze, Wasserknappheit) besser angepasst sind, • Überprüfen und gegebenenfalls anpassen der Rahmenbedingungen für das Selektionieren und den Einsatz (Prüfung/Zulassung) von angepassten robusten Sorten, • Bereitstellen von Informationen im Zusammenhang mit angepassten Sorten und Rassen, • Testen von Optionen zum Ausbau der Fruchtfolge im Hinblick auf eine längere Vegetationsperiode, • Berücksichtigung von nachhaltiger Bewässerung vor allem im Obst- und Gemüsebau bei längeren Vegetationsperioden und zunehmenden Hitzewellen, • Überprüfung der Anbaueignung an Extremwetterlagen von einheimischen und exotischen Arten, • Beim Einsatz von alternativen, neuen Futtermitteln, ist die Futtereignung in Betracht zu ziehen (Verdaulichkeit, Geschmacklichkeit, Nährstoff- und Energiewerte, Struktureigenschaften, Konservierungseignung), • Beim Einsatz von neuen, besser angepassten Arten, sind die Vermarktungschancen am lokalen Markt zu berücksichtigen.
Zusätzliche Hinweise	3rd Industrial Revolution Strategie
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung
Beteiligte Akteure	Administration des services techniques de l'agriculture, Landwirtschaftskammer, Forschungseinrichtungen, Beratungsorganisationen, Interessensverbände, Vertreter landwirtschaftlicher Betriebe
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Etablierte Testgebiete

Bezeichnung der Maßnahme	Förderung von Bodenschutzmaßnahmen
Nummer der Maßnahme	L05
Klimafolge	Erhöhte Bodenerosion, Beeinträchtigung der Bodenstruktur und -stabilität
Sektor	Landwirtschaft inkl. tierischer und pflanzlicher Gesundheit
Maßnahmenart	Rechtlich, bewusstseinsbildend, Forschung
Ziel der Maßnahme	Erhaltung und Schutz der Ressource Boden im Kontext der klimatischen Veränderungen.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Reduktion von Bodenverdichtung/Schäden an Böden durch technische Lösungen: z.B. Anpassen des Fahrverhaltens hinsichtlich der besseren Verteilung des spezifischen Flächendruckes und der Gesamtmasse von Fahrzeugen und Geräten; Gebrauch von breiten Reifen mit niedrigem Reifeninnendruck und großer Aufstandsfläche; Einsatz von leichteren Maschinen mit weniger Zuladungsmasse; Reduktion der Befahrung und zeitliche Anpassung an die Bodenverhältnisse, Techniken des „Precision farming“,

	• Unterstützung von Maßnahmen des Bodenschutzes durch eine klimasensible Sorten- und Artenauswahl sowie angepasste Fruchtfolgen, Aussaattermine, Düngung, Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren, • Etablierung eines Erosionsmonitorings, • Ausbringung von Zwischenfrüchten zum Schutz von Bodenstruktur und -stabilität, • Untersuchen von Möglichkeiten und Grenzen zur Verbesserung von Infiltration und Speicherkapazität, zur Prävention von Erosion, Förderung der Humusbildung und zur Vermeidung von Verdichtung (u. a. Tiefwurzler zur Erschliessung von Wasser und zur Bodenlockerung, Untersaaten/Begrünung mit geringem Wasserbedarf), • Experimentelle Konzipierung und Testung von integrierten Bewirtschaftungssystemen, die angepasste Fruchtfolgen, Sortenwahl, Bodenbearbeitung und weitere Massnahmen im Hinblick auf eine verbesserte Wassernutzungseffizienz der Kulturen kombinieren.
Zusätzliche Hinweise	Förderungen von Bodenschutzmaßnahmen über Agrarumweltmaßnahmen
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung, Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung
Beteiligte Akteure	Forschungseinrichtungen, Interessensverbände, Vertreter landwirtschaftlicher Betriebe, Beratungsorganisationen
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Tatsächliche Bodenerosionsgefährdung (t/ha*a) • Anteil von erosionsgefährdeten Flächen, auf denen Erosionsschutzmaßnahmen erfolgen (%)

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Klimaresiliente Tierhaltung und -zucht</i>
Nummer der Maßnahme	L06
Klimafolge	Invasive Neobiota, Zunahme heimischer Schadorganismen, Zunahme der Hitzebelastung
Sektor	Landwirtschaft inkl. pflanzlicher und tierischer Gesundheit
Maßnahmenart	Infrastruktur, bewusstseinsbildend
Ziel der Maßnahme	Gesunde Tierhaltung unter wärmeren Bedingungen
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Einrichten von geeigneten natürlichen oder nicht natürlichen Schattenplätzen, • Sicherstellung von Wasserzufuhr und -qualität, Installation von Scheuerbürsten auf Weiden, • Anlegen von geeigneten Weidewegen, Einzäunen von Flussläufen, Nassstellen (ggf. Trockenlegung), • Umsetzung von stallbaulichen Maßnahmen (Stallventilation, Sprinkelanlage, Regulierung von Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit und Schadgasen, Tierwohlequipment), • Bau von Alternativställen (Kombination Gartenbau und Tierhaltung) zur Klimaregulierung, • Komposthaltung von Kühen und sonstige alternative Halteformen, • Einsatz von „Precision livestock farming“ Tools zur Überwachung des Gesundheits- und Tierwohlstatus der Tiere als Frühwarnsystem, • Beteiligung an europäischen, internationalen Studien zur Erforschung des Klimawandels auf die Tiergesundheit- und Leistungsbereitschaft (z.B. Charakterisierung der Umwelt-Genetik Effekte) und Ableitung von geeigneten Zucht- und Produktionsstrategien, • Erfassung neuer, alternativer Merkmale am Tier ("fine phenotyping", genomics) z.B. Hitzetoleranz, Krankheitsresistenzen, Bewegung/Aktivität, Elastizität der Leistung (z.B. kompensatorisches Wachstum, Milchgabe),

	Überwachung und Früherkennung von neuen "exotischen" Krankheiten (z.B. Blauzungenkrankheit, Lumpy skin disease, afrikanische Schweinepest); Ausarbeitung von Strategien zur Bekämpfung und Ausrottung.
Zusätzliche Hinweise	http://www.landwirtschaftskammern.de/pdf/klima-tier.pdf
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung
Beteiligte Akteure	Forschungseinrichtungen, Interessensverbände, Vertreter landwirtschaftlicher Betriebe, Beratungsorganisationen, Tierzuchtorganisationen
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Anzahl der Betriebe die gezielte Maßnahmen setzen

5.8. Menschliche Gesundheit

5.8.1. Bestehende Maßnahmen

Im Rahmen des von *Meteo Lux* betriebenen Wetterwarnsystem werden Informationen zu Verhalten bei verschiedensten Wetterlagen in übersichtlicher Form zu den folgenden Themen angeboten:

- Windböen, Sturm
- Regenschauer, Starkregen
- Schnee, Eisregen
- Gewitter
- Hitze- und Kältewellen

Weitere Informationen:

<http://MeteoLux.lu/fr/vigilances/dangers-meteorologiques/>

Relevante Klimafolgen: Zunahme des thermischen Stresses, Zunahme der Gefährdung der Bevölkerung durch Extremwetterereignisse

In der Strategie *Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung* (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012) werden folgende Maßnahmen empfohlen, die den Sektor *Menschliche Gesundheit* betreffen:

- Sicherung und Optimierung der Wirksamkeit von ausreichend großen Kalt- und Frischluftproduktionsflächen mit Siedlungsbezug sowie von Luftleit- und Ventilationsbahnen
- Erhöhung der Albedo zur Verminderung der Absorption von Strahlung und damit einer Aufheizung der Oberflächen

- Entsiegelung und Erhöhung des Grünvolumens auf privaten und öffentlichen Flächen
- Verschattung von Freiräumen
- Schaffung bewegter Wasserflächen

Weitere Informationen:

http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf

Relevante Klimafolgen: Zunahme des thermischen Stresses, Zunahme der Gefährdung der Bevölkerung durch Extremwetterereignisse, Zunahme der Schadstoffbelastung z.B. Ozon und Feinstaub

Die Webplattform *Invasive Alien Species in Luxembourg* (www.neobiota.lu) informiert über invasive Arten hinsichtlich ihrer Wichtigkeit und ihrer Verteilung im Großherzogtum.

Weitere Informationen:

<https://neobiota.lu/en/>

Relevante Klimafolgen: Invasive Neobiota.

Die *Inspection Sanitaire Luxembourg* hat 2011 in einer Stellungnahme zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentliche Gesundheit u. a. folgende Punkte zusammengefasst:

- Auswirkungen der Zunahme von Niederschlägen
- Direkte und indirekte Auswirkungen einer Temperaturzunahme
- Auswirkungen des Klimawandels auf Insektenpopulationen und daraus resultierend auf die Gesundheit
- Auftreten von Zoonosen und ihre Bekämpfungsstrategien

Relevante Klimafolgen: Zunahme allergener Organismen, Zunahme thermischer Stress, Förderung heimischer Krankheitserreger, Auftreten neuer Krankheitserreger, Zunahme der Gefährdung der Bevölkerung durch Extremereignisse.

Die App “Meng Loft” informiert und misst in Echtzeit die Luftqualität in Luxemburg anhand der geographischen Position.

Weitere Informationen:

<http://luxembourg.public.lu/de/actualites/2018/05/15-mengloft/index.html>

Relevante Klimafolgen: Zunahme Schadstoffbelastung (z.B. Ozonfeinstaub).

Besonders um ältere Mitbürger vor Hitzewellen zu informieren und zu unterstützen, wurde der "Plan national canicule" eingerichtet.

Weitere Informationen:

<http://sante.public.lu/fr/prevention/canicule/plan-canicule/index.html>

Relevante Klimafolgen: Zunahme thermischer Stress.

5.8.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Menschliche Gesundheit werden folgende vier Maßnahmen definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Installation eines Trinkwasser Monitoring- und Warnsystems, sowie Ausarbeitung eines Maßnahmenkatalogs zum Schutz des Trinkwassers vor den Folgen des Klimawandels</i>
Nummer der Maßnahme	MG01
Klimafolge	Gefährdung der Trinkwasserqualität
Sektor	Menschliche Gesundheit
Maßnahmenart	Rechtlich, finanzpolitisch, bewusstseinsbildend, Infrastruktur
Ziel der Maßnahme	Infektionsrisiko minimieren, Wasserqualität erhalten
Beschreibung der Maßnahme	Die projizierten Änderungen von Temperatur und Niederschlagsregime haben Einfluss auf die Temperatur des Grundwassers, das Rohrleitungssystem sowie die Grundwasserneubildung. Auswirkungen auf die bakteriologische Qualität des Trinkwassers können die Folge sein. Wärmere Durchschnittstemperaturen beschleunigen die Bodenverwitterung, wodurch der Eintrag von organischen Bestandteilen erhöht wird. Darüber hinaus wird die biologische Aktivität erhöht. Das sorgt für bessere Wachstumsbedingungen für Bakterien und Keime. Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • vorsorgende Ausweisung von Trinkwasserschutzzonen (derzeit laufend, wobei zu prüfen ist, inwieweit der Klimawandel berücksichtigt ist), • bei kritischer Witterung verstärkt kontrollieren, ob die mikrobiologischen Werte der Trinkwasserverordnung eingehalten werden, • Informationskanäle und Zuständigkeiten für den Fall von beeinträchtigtem Trinkwasser festlegen; in näherer Zukunft sollte bezüglich Qualitätseinschränkungen sensibilisiert werden, • die Bevölkerung gegebenenfalls rechtzeitig warnen, dass die Trinkwasserqualität eingeschränkt sein kann, • eventuell können individuelle bakteriologische Analysen für z.B. Krankenhäuser angeboten werden, • regional integrierte Wasserversorgungspläne aufstellen, die eine langfristige Qualitätssicherung (z.B. Desinfektion) beinhalten, • lokale Versickerungen sicherstellen.
Zusätzliche Hinweise	
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Administration de la gestion de l'eau
Beteiligte Akteure	Gesundheitsbehörde, Vertreter der Wasserwirtschaft (Kommunen)

Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Zustand der Grundwasserkörper gemäß Vorgaben der WRRL
--	---

Bezeichnung der Maßnahme	Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber allergenen Stoffen/pollenassoziierten Allergenen
Nummer der Maßnahme	MG02
Klimafolge	Zunahme allergener Organismen
Sektor	Menschliche Gesundheit
Maßnahmenart	Rechtlich, bewusstseinsbildend, Infrastruktur, Forschung, internationale Kooperation
Ziel der Maßnahme	Minimierung von Allergien und Abschwächung damit verbundener gesundheitlicher Risiken
Beschreibung der Maßnahme	Erhöhte Lufttemperaturen und ein höherer CO₂-Gehalt sowie eine Zunahme des Pflanzenstresses infolge von Dürre, intensivieren und verlängern die Pollensaison. Daneben treten klimawandelbedingt vermehrt invasive biologische (Kontakt-) Allergene (z.B. Ambrosia, Eichenprozessionsspinner) auf. Auch aufgrund einer erhöhten Allergenexposition finden vermehrt Sensibilisierungen statt. Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Pollenwarndienst: engmaschiges Monitoring der atmosphärischen Pollenkonzentrationen und eine damit verbundene Vorhersage der zu erwartenden Pollenbelastung, • Informationskanäle und Zuständigkeiten festlegen, • Sensibilisierung und Information z.B. mittels einer Broschüre "Umgang mit Pollenbelastung", • Zugang zu qualifizierter medizinischer Versorgung durch Schulung von Ärzten und Personal im Sektor Gesundheit, • Berücksichtigung des Wissens um Pflanzen mit allergischem Potenzial bei der Bepflanzung öffentlicher Räume, • Implementierung einer nationalen Bekämpfungsstrategie gegen invasive Allergene (z.B. Ambrosia) in Kooperation mit den Nachbarländern, • Prüfung von Maßnahmen zur Eindämmung, • begleitende Forschung: Vergleich der Sensibilisierungsraten in Relation zu Pollenexpositions- und anderen klimaassoziierten Daten.
Zusätzliche Hinweise	https://neobiota.lu/en/ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/umid_01_2014_gesamt_0.pdf
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Gesundheit
Beteiligte Akteure	Grünamt, Wetterdienst, Gesundheitsbehörden
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Ausbreitungskataster Neophyten • Pollenmonitoring

Bezeichnung der Maßnahme	Management von lang andauernden Hitzewellen im Gesundheits-, Pflege- und Sozialwesen
Nummer der Maßnahme	MG03
Klimafolge	Zunahme des thermischen Stresses
Sektor	Menschliche Gesundheit
Maßnahmenart	Bewusstseinsbildend, Infrastruktur, Forschung

Ziel der Maßnahme	Ziel ist es, die Risikogruppen zu einem angepassten Verhalten zu motivieren, ihnen ein schonendes Umfeld zu bieten, ihren Gesundheitszustand zu beobachten und medizinische Notfallversorgung auch in großem Umfang leisten zu können.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Tagesgenaue Vorhersage der zu betreuenden Personen aufgrund des thermischen Belastungsgrades unter Berücksichtigung der gefühlten Temperatur, der zurückliegenden belastungsfreien Zeit, der Dauer der Belastung, • Definition der Zielgruppen (neben Gesundheits-, Pflege- und Sozialwesen) für Warnungen, • Definition der Granularität der Warnungen in Abhängigkeit von der Zielgruppe, • Informationskanäle und Zuständigkeiten festlegen, • Schulung von Personal im Sektor Gesundheit zu Interpretation der Vorhersage und Behandlungsmethoden, • Sensibilisierung und Information (Vorsorge), • Implementierung technischer Lösungen zur Reduktion des Hitzestresses, • Bereitstellung von Informationen über Medikamente die die Hitzeadaptation des Körpers senken.
Zusätzliche Hinweise	http://www.guichet.public.lu/citoyens/de/actualites/2016/08/23-alerte-canicule/index.html http://www.sante.public.lu/fr/prevention/canicule/plan-canicule/index.html http://www.guichet.public.lu/citoyens/de/sante-social/services-domiciles/canicule/inscription-plan-canicule/index.html http://www.sante.public.lu/fr/espace-professionnel/recommandations/direction-sante/canicule/index.html http://www.sante.public.lu/fr/publications/s/soleil-ami-ennemi-adolescent-2008/index.html http://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/stuttgart-combating-the-heat-island-effect-and-poor-air-quality-with-green-ventilation-corridors/#cost_benefit_anchor
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Gesundheit
Beteiligte Akteure	Rettungskräfte, Pflegeeinrichtungen, Krankenhäuser, Wetterdienst
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Übersterblichkeit aufgrund Temperatur

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Vorhersage und Management erhöhter Ozon- und Feinstaubbelastung</i>
Nummer der Maßnahme	MG04
Klimafolge	Zunahme Schadstoffbelastung (Ozon, Feinstaub)
Sektor	Menschliche Gesundheit
Maßnahmenart	Rechtlich, finanzpolitisch, bewusstseinsbildend
Ziel der Maßnahme	Verbesserte Lufthygiene während kritischer Wetterlagen
Beschreibung der Maßnahme	Die für die photochemische Reaktion der Ozonbildung limitierende Komponente, nämlich die solare Einstrahlung, wird sich unter Klimawandelbedingungen nur unwesentlich verändern. Eventuell lässt sich aus der projizierten Änderung der intraannualen Niederschlagsverteilung ableiten, dass die solare Einstrahlung im

	Sommer ansteigt. Gleiches gilt für die Feinstaubkonzentration. Durch verminderte Sommerniederschläge werden diese weniger ausgewaschen. Wie auch der thermische Stress selbst, beeinträchtigen die Schadstoffe Ozon und Feinstaub die Atemwege und das Herz-Kreislauf-System. Die Auswirkungen der Schadstoffbelastung auf die menschliche Gesundheit werden durch den gleichzeitig auftretenden verstärkten Hitzestress also weiter erhöht (Mücke, 2008, 2014). Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Einrichtung eines Warndienstes basierend auf den Vorhersagen von Regen, Windrichtung, Inversionsstärke und Turbulenz, • Festlegung von Informationskanälen und Zuständigkeiten, • Definition von Maßnahmen zur Reduktion von Feinstaub- und Ozonvorläuferstoffen, • Schaffung eines regulatorischen Rahmens zur Durchsetzung dieser emissionsmindernden Maßnahmen.
Zusätzliche Hinweise	http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/2014/06/muecke.pdf
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Administration de l'environnement
Beteiligte Akteure	Wetterdienst
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Messungen der Feinstäube und Ozon

5.9. Ökosysteme und Biodiversität

5.9.1. Bestehende Maßnahmen

Im *Plan national pour la protection de la nature 2017 - 2021* (Ministère de l'Environnement, 2017) werden folgende Maßnahmen zum Schutz von Ökosystemen und Biodiversität aufgelistet, die relevant für die Anpassung an den Klimawandel sind:

- Prioritärer Schutz von ökologischen Elementen die als grüne Infrastruktur oder Schlüsselgebiete ausgewiesen sind,
- Reduktion des anthropogenen Drucks auf Ökosysteme um ihre Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel nicht zu gefährden,
- Schutz und Wiederherstellung eines landschaftlichen Mosaiks von regionalen, diversen und miteinander im Gleichgewicht befindlichen Strukturen für Arten und Habitate, um das Risiko von lokalem Aussterben zu vermindern (hier können Agrarumweltmaßnahmen sowie Biodiversitätsprogramme eine wichtige Rolle spielen),
- Wiederherstellung der Resilienz von Habitaten und Ökosystemen,
- Prioritärer Schutz von klimatischen Rückzugsgebieten,
- Stärkung der Funktionalität der ökologischen Korridore,
- Agroforst-Projekte als „no-regret“ Maßnahme.

Weitere Informationen:

https://environnement.public.lu/fr/natur/biodiversite/mesure_2_pnpn.html

Relevante Klimafolgen: Gefährdung von Feuchtlebensräumen, Veränderung der Phänologie/ des Fortpflanzungsverhaltens, Veränderung der Artzusammensetzung, Verschiebung von Lebensräumen, invasive Neobiota.

Die Webplattform *Invasive Alien Species in Luxembourg* (www.neobiota.lu) informiert über invasive Arten hinsichtlich ihrer Wichtigkeit und ihrer Verteilung im Großherzogtum.

Weitere Informationen:

<https://neobiota.lu/en/>

Relevante Klimafolgen: invasive Neobiota.

5.9.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Ökosysteme und Biodiversität werden folgende vier Maßnahmen definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen. Grundsätzlich sind „nature based solutions“ zu bevorzugen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Gezielte Fördermaßnahmen für gefährdete Arten, insbesondere in den Teilarealen, welche auch in Zukunft klimatisch für eine Art geeignet sein könnten</i>
Nummer der Maßnahme	ÖB01
Klimafolge	Veränderung der Artzusammensetzung, Veränderung der Phänologie/des Fortpflanzungsverhaltens, Gefährdung von Feuchtlebensräumen
Sektor	Ökosysteme und Biodiversität
Maßnahmenart	Rechtlich, Forschung, bewusstseinsbildend
Ziel der Maßnahme	Ergreifen von Maßnahmen für (Teil-)Populationen, Arten und Lebensräumen, die besonders stark von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sind, sowie die Sicherstellung ihres Fortbestandes.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Erarbeitung von Bewertungskriterien zur Identifizierung von (Teil-) Populationen, Arten und Lebensräumen die durch die Auswirkungen des Klimawandels am stärksten beeinträchtigt werden, • auf Artniveau: Mitberücksichtigung der genetischen Vielfalt, bei Lebensräumen, besondere Berücksichtigung von Natura 2000 Gebieten und anderen Naturschutzgebieten, • Abklärung, ob und mit welchen rechtlichen Anpassungen und ergänzten Managementplänen klimasensitive Arten und Lebensraumtypen unter Klimawandelbedingungen besser geschützt werden müssen (Mindestgrößen- und Flächen der Schutzgebiete), • Einleiten von gezielten Fördermaßnahmen für nicht ausreichend geschützte (Teil-) Populationen, Arten und Lebensräume (von besonderer Bedeutung sind hier Vernetzungskorridore zur Unterstützung von Wanderungsbewegungen), • die notwendigen Erhaltungs- und Fördermassnahmen sind national mit anderen Sektoren abzustimmen, • regelmäßige Prüfung ob neue Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen.

Zusätzliche Hinweise	https://gouvernement.lu/dam-assets/fr/actualites/articles/2012/04-avril/16-pac/etude.pdf https://environnement.public.lu/dam-assets/documents/natur/general/pnnp2.pdf
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Administration de la nature et des forêts
Beteiligte Akteure	Naturschutzorganisationen, Forschungseinrichtungen
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten • Temperaturindex der Vogelarten-Gemeinschaft • Berücksichtigung des Klimawandels in Naturschutzkonzepten und Managementplänen

Bezeichnung der Maßnahme	Berücksichtigung des Klimawandels in Naturschutzkonzepten und Managementplänen
Nummer der Maßnahme	ÖB02
Klimafolge	Veränderung der Phänologie/des Fortpflanzungsverhaltens, Veränderung der Artzusammensetzung, Gefährdung von Feuchtlebensräumen
Sektor	Ökosysteme und Biodiversität
Maßnahmenart	Rechtlich, Forschung
Ziel der Maßnahme	Unterstützung des Anpassungspotenzials von Tier- und Pflanzenarten durch die Förderung und Bewahrung der Funktionalität von Ökosystemen
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Evaluierung bestehender Naturschutzkonzepte und Managementpläne hinsichtlich dem Nachkommen ihrer Funktionalität im Kontext des Klimawandels, • Überarbeitung von Schutzkonzepten und Managementplänen (großflächige Betrachtung von Schutzgebieten über ihre Grenzen hinaus um Biotopverbundsysteme ausfindig zu machen), • Schaffung von Korridorflächen oder Leitstrukturen wie Hecken und Trittsteinhabitate, • Verringerung der Barrierewirkung von Verkehrswegen oder Fließgewässerverbauung durch technische Maßnahmen, • Förderung der internationalen Zusammenarbeit bei der Errichtung von Biotopverbundsystemen.
Zusätzliche Hinweise	https://environnement.public.lu/fr/natur/biodiversite/mesure_2_pnnp.html
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Administration de la nature et des forêts
Beteiligte Akteure	Naturschutzorganisationen
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten • Temperaturindex der Vogelarten-Gemeinschaft • Berücksichtigung des Klimawandels in Naturschutzkonzepten und Managementplänen

Bezeichnung der Maßnahme	Monitoring, Kontrolle und Beseitigung von invasiven Neobiota
Nummer der Maßnahme	ÖB03
Klimafolge	Invasive Neobiota
Sektor	Ökosysteme und Biodiversität
Maßnahmenart	Forschung, rechtlich, bewusstseinsbildend
Ziel der Maßnahme	Frühzeitige Erkennung invasiver, gebietsfremder Arten mit hohem Schadpotenzial und Einleitung von Maßnahmen der Prävention und Bekämpfung zum Verhindern einer unkontrollierten Ausbreitung

Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Sammlung von Informationen zu invasiven, gebietsfremden Arten und regelmäßige Prüfung der Relevanz für Luxemburg (https://neobiota.lu/en/), • Beurteilung des Schadenspotenzials von in Luxemburg vorkommenden gebietsfremden bislang unauffällig gebliebenen Arten unter veränderten Klimabedingungen, • Abstimmung der Maßnahmen gegen invasive, gebietsfremde Arten auf die Eigenschaften der jeweiligen Art, • gezielte Einleitung von Maßnahmen gegen die unbeabsichtigte Ausbreitung gebietsfremder Arten, • bewusstseinsbildende Maßnahmen bei Branchenverbänden, usw. im Umgang mit invasiven gebietsfremden Arten, • Forcierung der Sektorübergreifenden Zusammenarbeit (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Menschliche Gesundheit), • Die Bekämpfung von landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Schädlingen kann Auswirkungen auf Ökosysteme haben; eine enge Kooperation mit den zuständigen Behörden/Sektoren ist notwendig.
Zusätzliche Hinweise	https://neobiota.lu/en/ https://environnement.public.lu/fr/natur/biodiversite/mesure_2_pnpn.html
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Administration de la nature et des forêts, Administration de la gestion de l'eau
Beteiligte Akteure	Vertreter von Landwirtschaft, Forstwirtschaft, bestimmten Branchen (Gärtnereien),
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Auftreten ausgewählter invasiver Arten mit hohem Schadenspotenzial für bestimmte Ökosysteme

5.10. Tourismus

5.10.1. Bestehende Maßnahmen

Für den Sektor Tourismus wurden keine für die Anpassung relevanten Unterlagen übermittelt.

5.10.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Tourismus wird folgende Maßnahme definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Information von Touristen über Extremwetterereignisse</i>
Nummer der Maßnahme	T01
Klimafolge	Zunahme Extremwetterereignisse
Sektor	Tourismus
Maßnahmenart	Bewusstseinsbildend
Ziel der Maßnahme	Touristen sollen bei drohenden Extremwetterereignissen besser informiert werden
Beschreibung der Maßnahme	Touristen – besonders Individualtouristen – sind aufgrund von potenziell mangelnder Orts- und Sprachkenntnis in Krisensituationen auf individuellere

	Warnungen angewiesen. Gleichzeitig sind sie solchen Situationen aufgrund ihrer Freizeitaktivitäten (z.B. Wasserqualität, Wassermangel, Überflutung tiefliegender Campingplätze, Windwurf, vermehrtes Auftreten von Allergenen, Beeinträchtigung von An- und Abreiserouten) häufig stärker ausgesetzt. Im Rahmen dieser Maßnahme sollen folgende Schritte gesetzt werden: • Kategorisierung der Touristen hinsichtlich ihrer Erreichbarkeit (Übernachtungsgäste, Tagesgäste, Erreichbarkeit per Handy, usw.), • Definition von Kommunikationsverantwortlichen (Hotelier, Campingplatzbetreiber, Reiseführer, usw.), • Definition der zu kommunizierenden Warnungen und Hinweise in Abhängigkeit der Kategorien, • Definition der warnenden Stellen, • Sicherstellung des Informationsflusses von warnender Stelle über Kommunikationsverantwortlichen bis hin zum Touristen.
Zusätzliche Hinweise	https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimawandel/Anpassungsstrategie.pdf
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Wirtschaft, Kommunen
Beteiligte Akteure	Tourismusbetriebe und deren Interessensvertretungen, Tourismusverbände, Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Wetterdienst, Rettungsdienste
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Anzahl der in Tourismusdestinationen etablierten Kommunikationsabläufe

5.11. Urbane Räume

5.11.1. Bestehende Maßnahmen

In der Strategie *Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung* (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012) werden folgende Maßnahmen empfohlen die den Sektor Urbane Räume betreffen:

- Sicherung von ausreichend großen Kalt- und Frischluftproduktionsflächen mit Siedlungsbezug sowie von Luftleit- und Ventilationsbahnen,
- Optimierung der Wirksamkeit von Kalt- und Frischluftproduktionsflächen sowie von Luftleit- und Ventilationsbahnen,
- Erhöhung der Albedo zur Verminderung der Absorption von Strahlung und damit einer Aufheizung der Oberflächen,
- Entsiegelung und Erhöhung des Grünvolumens auf privaten und öffentlichen Flächen zur Steigerung der Verdunstung sowie der Evapotranspiration,
- Verschattung von Freiräumen,
- Schaffung bewegter Wasserflächen zur kühlenden Verdunstung in der bebauten Stadt.

Weitere Informationen:

http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf

Relevante Klimafolgen: Vermehrtes Auftreten von Hitzewellen.

5.11.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Urbane Räume werden folgende zwei Maßnahmen definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Ausarbeitung eines integrativen städteplanerischen Gesamtkonzeptes für städtebauliche Maßnahmen zur Reduktion von Hitzewellen</i>
Nummer der Maßnahme	UR01
Klimafolge	Vermehrtes Auftreten von Hitzewellen
Sektor	Urbane Räume
Maßnahmenart	Rechtlich, Infrastruktur, planerisch
Ziel der Maßnahme	Begrenzung der gesundheitlichen Belastungen besonders für Risikogruppen
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sollen folgende Schritte gesetzt werden: • Die städtische Wärmebilanz ist durch Erhöhung der Beschattung, Belüftung, Verdunstung und Albedo zu verringern, • Dach- und Fassadenbegrünung, • Einsatz heller und reflektierender Oberflächen für Dächer, Straßen und Parkplätze, • Nutzung von Straßenzügen als Luftleitbahnen (nächtliche Ventilation bei Kessellage oder in Hauptwindrichtung), • Schaffung von verteilten Parks, barrierefreie Erreichbarkeit besonders für Senioren und Kinder, Funktionstüchtigkeit (abschattende, verdunstungsstarke Bäume, mit sichergestellter Bewässerung) und Attraktivität (z.B. durch Spielgeräte, Kaffees) ist sicherzustellen. Eventuelle Doppelnutzungen, beispielsweise als Retentionsflächen können erwogen werden, • Weiter ist darauf zu achten, dass Kühlaggregate nicht so viel Wärme in den städtischen Boden einleiten und sich so auch im Grundwasser eine keimfördernde Hitzeinsel ausbildet.
Zusätzliche Hinweise	https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/basicscompendium.pdf http://coolroofs.org/ http://www.guichet.public.lu/citoyens/de/actualites/2016/08/23-alerte-canicule/index.html 3rd Industrial Revolution Strategie http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium des Innern Ministerium für Energie und Raumentwicklung, Ministerium für Wohnungsbau
Beteiligte Akteure	Beteiligung der Ressorts für Grünanlagen, Bauaufsicht, Verkehr, Wasserwirtschaft und Stadtplanung
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Stadt-Umland Temperaturdifferenz • Anzahl der Tropennächte
Bezeichnung der Maßnahme	<i>Überprüfung der städtischen Infrastruktur im Hinblick auf die Zunahme von Extremwetterereignissen sowie die Ausarbeitung von Konzepten zur baulichen Anpassung</i>
Nummer der Maßnahme	UR02
Klimafolge	Zunahme von Extremwetterereignissen

Sektor	Urbane Räume
Maßnahmenart	Finanzpolitisch, bewusstseinsbildend, Infrastruktur
Ziel der Maßnahme	Schutz und Gewährleistung der Funktionsweise von städtischer Infrastruktur, Versorgung der Bevölkerung
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sollen folgende Schritte gesetzt werden: • Identifikation der durch Starkregen, Dürre und Hitze gefährdeten Infrastrukturen. Besonderes Augenmerk ist zu legen auf: ○ Verkehr (Unterführungen, Tiefgaragen, Schienen, Asphaltdecken), ○ Telekommunikation (Verteilerkästen), ○ Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (Dimensionierung, Retention). • Definition und Monitoring von Schwellenwerten der tolerierbaren Einschränkung/Beschädigung für betroffene Infrastrukturen/Objekte, • Bei der Ausarbeitung einzelner baulicher Maßnahmen sollte deren flexible Nachjustierbarkeit oberste Prämisse sein. Wechselwirkungen mit unterschiedlichen Nutzungen und anderen Maßnahmen sind zu untersuchen. Vermeidung/Verschiebung von Investitionen durch Etablierung von Notfallplänen oder durch Garantierung der Funktionsweise bereits bestehender Maßnahmen (beispielsweise durch verstärkte Inspektionen oder Übungen) stellt eine Option dar ("Low-regret"). Beispiele für Maßnahmen sind: • Schaffung und Ausweisung von Retentionsflächen, • Verringerung der Bodenversiegelung durch Begrünung und Verwendung permeabler Straßenbelege, • Regelmäßige Inspektionen der Kanalisation im Sommer hinsichtlich Ablagerungen, • Verwendung eiförmiger Abwasserrohre mit besserer Spülwirkung auch bei geringen Abwassermengen während einer Dürre.
Zusätzliche Hinweise	http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf 3rd Industrial Revolution Strategie
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium des Innern, Ministerium für Energie und Raumentwicklung
Beteiligte Akteure	Rettungsdienste, Stadtplanung, Verkehr, Bauaufsicht, Wasserwirtschaft und Stadtplanung
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Hochwasserstände • Anzahl Einsätze

5.12. Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft

5.12.1. Bestehende Maßnahmen

In der Strategie *Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung* (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012) werden folgende Maßnahmen empfohlen, die den Sektor Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft betreffen:

- Vermeidung von Engpässen durch den Einsatz angepasster Versorgungsinfrastrukturen, die Reduzierung des Wasserverbrauchs durch wassersparende Verhaltensweisen sowie die Nutzung effizienter Technologien,
- Anreicherung des Grundwassers durch eine dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser und die Wasserbereitstellung aus Verbundnetzen,
- Sicherung einer guten Wasserqualität über den Schutz der Quellbereiche, Oberflächengewässer und Grundwasservorkommen vor Verschmutzung,
- Abbau von Stichleitungen (mit stehendem Wasser), das häufigere Spülen von Leitungen sowie die Tieferlegung der Rohrleitungen im Boden als mögliche Maßnahmen zur Vermeidung von hygienischen Problemen,
- Optimierung der Wirksamkeit der Kanalnetze bei Niedrigwasser durch Nutzung hydraulisch effizienter Rohrprofile bei Neubaumaßnahmen sowie durch die häufigere Wartung und Reparatur von Leckagen im System,
- Informationskampagnen zur Wassereinsparung,
- Einsatz von ordnungsrechtlichen und ökonomischen Instrumenten in Zeiten von Wasserknappheit wie Verbote, beispielsweise der Gartenbewässerung, oder die saisonale Regulierung der Wassernutzung über den Wasserpreis,
- Begrenzung der Versiegelung,
- Abbau von Abflusshindernissen (z.B. Brückenpfeiler) in hochwassergefährdeten Bereichen,
- Einbau von Abflusshindernissen in gegenüber Hochwasser unkritischen Bereichen,
- Sicherung und Rückgewinnung von natürlichen Überschwemmungsflächen durch Deichrückverlegungen,
- Schaffung von neuen Retentionsräumen für Hochwasser,
- Entlastung des Kanalsystems, durch Abkoppelung von Oberflächengewässer aus der Umgebung vom Kanalsystem; oberflächliche Ableitung und Versickerung.

Weitere Informationen:

http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf

Relevante Klimafolgen: Zunahme Wasserbedarf, Sicherstellung Trinkwasserversorgung, Absenkung des Grundwasserspiegels, Zunahme lokale Starkniederschläge, Zunahme Anzahl an Hochwässern und veränderte Erfahrungswerte

Im ersten *Hochwasserrisikomanagementplan gemäß Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL -2007/60/EG*, Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2015) sind folgende Maßnahmen, die den Sektor Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft betreffen, vorgesehen (Tabelle 9).

Es ist allerdings anzumerken, dass die Auswirkungen des Klimawandels bisher in den Bemessungsgrundlagen der Maßnahmen noch keinen Einzug gefunden haben und dies im zweiten Zyklus ab 2021 zu erfolgen hat.

Tabelle 9: Maßnahmen zur Anpassung gemäß Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie

Nr	Aspekt des HWRM	Maßnahmenblock /Maßnahmengruppe(= LAWA-Handlungsbereich 2010)	Kurzbeschreibung Maßnahmenart
30 1	Vermeidung	Vermeidung (Flächenvorsorge)	Angepasste Raumordnungs- und Regionalplanung
30 2			Festsetzung von Überschwemmungsgebieten
30 3			Angepasste Bauleitplanung
30 4			Angepasste Flächennutzungen
30 5		Entfernung/Verlegung (Flächenvorsorge)	Entfernung oder Verlegung zur Anpassung
30 6		Verringerung (Bauvorsorge)	Hochwasserangepasstes Planen, Bauen und Sanieren
30 7			Objektschutz
30 8			Hochwasserangepasster Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
30 9		Sonstige Vorbeugungsmaßnahmen kommen in Luxemburg nicht zur Anwendung, da die Ziele mit den v.g. Maßnahmen erreicht werden sollen.	
31 0	Schutz	Management natürlicher Überschwemmungen / Abfluss- und Einzugsgebietsmanagement (Natürlicher Wasserrückhalt)	Natürlicher Wasserrückhalt im Einzugsgebiet (Gebietsretention)
31 1			Natürlicher Wasserrückhalt in der Gewässeraue (Gewässerretention)
31 2			Minderung der Flächenversiegelung
31 3			Regenwassermanagement
31 4			Wiedergewinnung von Überschwemmungsgebieten
31 5		Regulierung des Wasserabflusses (Technischer Hochwasserschutz)	Planung und Bau von Hochwasserrückhaltemaßnahmen
31 6			Betrieb, Unterhaltung und Sanierung von Hochwasserrückhaltemaßnahmen
31 7		Anlagen im Gewässerbett und im Überschwemmungsgebiet (Technischer Hochwasserschutz)	Dämme, Hochwasserschutzwände, mobiler Hochwasserschutz (Bau)
31 8			Unterhaltung von stationären und mobilen Schutzbauwerken

31 9		Management von Oberflächengewässern (Technischer Hochwasserschutz)	Vergrößerung der Hochwasserabflussquerschnitte im Siedlungsraum und in Gewässerauen (Bau)
32 0			Freihaltung der Hochwasserabflussquerschnitte durch Gewässerunterhaltung
32 1		Sonstige Schutzmaßnahmen kommen in Luxemburg nicht zur Anwendung, da die Ziele mit den anderen Maßnahmen erreicht werden sollen.	
32 2	Vorsorge	Hochwasservorhersage und Warnungen (Informationsvorsorge)	Hochwasserinformation und Vorhersage
32 3			Kommunale Warn- und Informationssysteme
32 4		Notfallplanung (Gefahrenabwehr- und Katastrophenschutz)	Alarm- und Einsatzplanung
32 5		Öffentliches Bewusstsein und Vorsorge (Verhaltensvorsorge)	Vorbereitung auf den Hochwasserfall
32 6		Sonstige Vorsorge (Risikovorsorge)	Finanzielle Vorsorge
32 7	Wiederher- stellung/ Regeneration	Überwindung der Folgen für den Einzelnen und die Gesellschaft (Regeneration)	Aufbauhilfe und Wiederaufbau, Nachsorgeplanung
32 8		Sonstige Maßnahmen aus dem Bereich Wiederherstellung, Regeneration entfallen, da die Ziele mit den bisher genannten Maßnahmen erreicht werden sollen.	

Weitere Informationen:

https://eau.public.lu/directive_cadre_eau/directive_inondation/1er-cycle/HWRML-PL_final/HWRM-PL_2015_final_151218.pdf

Relevante Klimafolgen: Zunahme lokaler Starkniederschläge, Zunahme Anzahl an Hochwässern und veränderte Erfahrungswerte, Veränderung saisonale Niederschlagsverteilung, Zunahme von Schäden durch Extremereignisse

Im *Leitfaden zum Umgang mit Regenwasser in Siedlungsgebieten Luxemburgs* (Ministère de l'Intérieur et à la Grande Région) werden für den Sektor Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft folgende Maßnahmen zum Wassersparen empfohlen:

- zukünftige Neuerschließungen von Siedlungsgebieten bzw. Neubaugebieten sind ausschließlich im Trennsystem zu entwässern,
- öffentliche Aufklärungskampagnen zum Wassersparen insbesondere in Bezug auf wassersparende Haushaltsgeräte.

Weitere Informationen:

https://eau.public.lu/publications/brochures/Regenwasserleitfaden/Leitfaden_pdf.pdf

Relevante Klimafolgen: Sicherstellung der Trinkwasserversorgung, Zunahme Trockenperioden, Absenkung Grundwasserspiegel.

Im Rahmen des *Zweiten Flussgebietsplanes* (AGE, 2015) werden Maßnahmen zum Trinkwasserschutz getroffen wie z.B. das Verhindern der Verschmutzung des Grundwassers allgemein (z.B. Agrar-Umweltmaßnahmen) bzw. spezielle Maßnahmen in sogenannten Trinkwasserschutzgebieten.

Die Maßnahmen in Trinkwasserschutzgebieten um Grundwasserfassungen sind in dem *Règlement grand-ducal du 9 juillet 2013 relatif aux mesures administratives dans l'ensemble des zones de protection pour les masses d'eau souterraine ou parties de masses d'eau souterraine servant de ressource à la production d'eau destinée à la consommation humaine* als obligatorisch erklärt worden. Derzeit erfolgt die Ausweisung in den 7 Gebieten sowie die Erstellung von detaillierten Maßnahmenprogrammen. In bestehenden Trinkwasserschutzgebieten werden die bisherigen Vorgaben überarbeitet oder neu festgelegt, wenn dies zum Schutz der Wasserversorgung erforderlich ist.

Weitere Informationen:

[http://geoportail.eau.etat.lu/pdf/plan%20de%20gestion/2.%20Bewirtschaftungsplan%20f%33%bcr%20Luxemburg%20\(2015-2021\)_22.12.2015.pdf](http://geoportail.eau.etat.lu/pdf/plan%20de%20gestion/2.%20Bewirtschaftungsplan%20f%33%bcr%20Luxemburg%20(2015-2021)_22.12.2015.pdf)

Relevante Klimafolgen: Sicherstellung der Trinkwasserversorgung, Zunahme Trockenperioden, Absenkung Grundwasserspiegel

5.12.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft werden folgende drei Maßnahmen definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Berücksichtigung von Starkregenereignissen im zweiten Hochwasserrisikomanagementplan</i>
Nummer der Maßnahme	WW01
Klimafolge	Zunahme von lokalen Starkniederschlägen
Sektor	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Maßnahmenart	Finanzpolitisch, bewusstseinsbildend, Infrastruktur, Forschung, Monitoring
Ziel der Maßnahme	Reduktion der negativen Auswirkungen von Starkregenereignissen.
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Beauftragung einer Studie zur Untersuchung der Auswirkungen von Starkregenereignissen auf Verkehr, Kanalsysteme, Gebäudeinfrastruktur, Landwirtschaft, Einsatzpläne der Rettungskräfte und Gewässerqualität. Hier geht es vor allem um die Abschätzung der Auswirkungen auf lokaler Ebene, wie z.B. Einstauhöhen, • Erstellung von Gefahren- und Risikokarten gemäß Hochwasserrisikomanagementrichtlinie,

	• Erstellung eines Maßnahmenprogrammes gemäß Hochwasserrisikomanagementrichtlinie, • Angepasste Bewirtschaftung der Einzugsgebiete (Hanglage) und Vermeidung von Bodenverdichtung, • Schaffen natürlicher Retentionsräume und Renaturierungen, • Kanalreglemente anpassen, • Monitoring mit Einbindung von Kommunen/Syndikate.
Zusätzliche Hinweise	http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/workshopdokumente/extremwetterereignisse/csc_machbarkeitsstudie_abschlussbericht.pdf
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Administration de la gestion de l'eau
Beteiligte Akteure	Kommunen, Syndikate, Rettungsdienst, Landwirtschaft
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Die Erstellung einer Studie Starkregenereignisse (im zweiten Hochwasserrisikomanagementplan berücksichtigt)

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Maßnahmen zur Senkung der Wassertemperatur</i>
Nummer der Maßnahme	WW02
Klimafolge	Zunahme der Wassertemperaturen
Sektor	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Maßnahmenart	Infrastruktur, Vegetation
Ziel der Maßnahme	Reduktion der Zunahme der Wassertemperaturen
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen der Agrarumweltmaßnahmen und der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) werden zunehmend Gewässerrandstreifen gefördert. Diese dienen derzeit vor allem als Puffer- und Retentionsflächen, bzw. als Übergangszone zwischen den intensiv agrarisch genutzten Flächen und dem Fließgewässer. Sie verhindern bzw. vermindern den oberirdischen Stoffeintrag aus Wassererosion, insbesondere aber den Kontakt mit Pflanzenschutz- und Düngemitteln. Meist sind diese Flächen nur durch niedrigen Bewuchs gekennzeichnet. Im Falle eines Busch- oder Waldbewuchses sorgt neben den oben genannten Funktionen die Beschattung durch Ufergehölze auch für eine geringere Erwärmung des Gewässers im Sommer. Die übermäßige Vermehrung von Algen oder zu starker Krautwuchs wird verhindert. Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Beschattungsmaßnahmen durch Uferstrandstreifen • Renaturierungen • Temperaturbegrenzung der Abwasserleitungen • Monitoring
Zusätzliche Hinweise	
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung, Administration de la gestion de l'eau, Administration de la nature et des forêts
Beteiligte Akteure	Kommunen, Syndikate, Flusspartnerschaften, Naturparke, Biologische Stationen
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Flächen mit Gewässerrandstreifen mit hohem Bewuchs (kann im Rahmen der hydrologischen Kartierung gem. WRRL mitgeprüft werden)

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Schutz der bestehenden und zukünftigen Trinkwasserressourcen (quantitativ und qualitativ)</i>
Nummer der Maßnahme	WW03

Klimafolge	Sicherstellung der Trinkwasserversorgung
Sektor	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Maßnahmenart	bewusstseinsbildend, Infrastruktur, ordnungspolitisch
Ziel der Maßnahme	Reduktion der Verschmutzung der Trinkwasserressourcen und des Wasserverbrauchs
Beschreibung der Maßnahme	Im Rahmen dieser Maßnahme sollen: • alle bestehende Ressourcen die für die Trinkwassergewinnung benutzt werden geschützt werden um eine gute Qualität zu erhalten, • alle Ressourcen, die wegen zu hoher Belastungen zur Zeit nicht für die Trinkwasserversorgung benutzt werden können (Verschmutzung durch Nitrate, Pestizide, usw.), sollen geschützt werden um eine Verbesserung der Wasserqualität zu gewährleisten und wieder Trinkwasserversorgungskonform zu sein, • Wassereinsparmaßnahmen den durchschnittlichen Trinkwasserverbrauchs pro Einwohner reduzieren, damit trotz Bevölkerungswachstum die Wasserversorgungssicherheit gewährleistet bleibt, • Ausweisung von Trinkwasserschutzzonen und Umsetzen der Maßnahmenprogramme, • Effektive Abwasserreinigung (Vermeidung der Nutzung von Trinkwasser für die Prozesse die kein Trinkwasser erfordern), • Förderung von Regen- und Grauwassernutzung, • Förderung von grundwasserbildenden Bodenbewirtschaftung, • Wassersparmaßnahmen bei Spitzenverbrauchenden Industrien.
Zusätzliche Hinweise	
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Administration de la gestion de l'eau
Beteiligte Akteure	Vertreter der Wasserwirtschaft (Kommunen), Vertreter landwirtschaftlicher Betriebe
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• durchschnittlicher Trinkwasserverbrauch pro Einwohner • Anteil der nicht abgerechneten Wassermengen pro Gemeinde • Reduzierung der Wasserverluste im Trinkwassernetz

Bezeichnung der Maßnahme	Angepasste Abwasserbehandlung und effektive Nutzung des Abwassers
Nummer der Maßnahme	WW04
Klimafolge	Sicherstellung der Wasserentsorgung, Sicherstellung der Trinkwasserversorgung
Sektor	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Maßnahmenart	Infrastruktur, ordnungspolitisch
Ziel der Maßnahme	Reduktion der Risiken für Wasserentsorgung, Reduktion des Wasserverbrauchs
Beschreibung der Maßnahme	Die saisonalen Schwankungen der Niederschläge werden große Herausforderungen für die Siedlungswasserwirtschaft stellen, da das Wassernetzwerk in Luxemburg hauptsächlich aus kleinen Bächen besteht, welche in Zukunft während den Sommermonaten weniger Wasser beinhalten werden, was wiederum die Ablaufwerte der Kläranlagen beeinträchtigen wird. Desweiteren stellen Starkniederschläge ebenfalls eine Herausforderung für Kläranlagenbetreiber. Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Weitestgehende Abwasserreinigung (Mikroverunreinigung),

	• Förderung von Grauwassernutzung, • Effektive Abwasserreinigung (Vermeidung der Nutzung von Trinkwasser für die Prozesse die kein Trinkwasser erfordern), • Temperaturbegrenzung der Abwasserleitungen, • Dezentrale Abwasserbehandlung fördern (z.B. in Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen), • Abwasserrecycling fördern (z.B. Rohstoffkreislauf für Phosphor aus dem Klärschlamm)
Zusätzliche Hinweise	
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Administration de la gestion de l'eau
Beteiligte Akteure	Vertreter der Wasserwirtschaft (Kommunen), Vertreter landwirtschaftlicher Betriebe
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	• Nutzung von Grauwasser • Anzahl der Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe

5.13. Wirtschaft

5.13.1. Bestehende Maßnahmen

Auf der Webplattform des Bürgerportals (<http://www.guichet.public.lu>) werden Vorsichtsmaßnahmen bei Hitzewarnung zur Verfügung gestellt:

Weitere Informationen:

<http://www.guichet.public.lu/citoyens/de/actualites/2016/08/23-alerte-canicule/index.html>

Relevante Klimafolgen: Reduktion von Arbeits- bzw. Leistungsfähigkeit durch thermischen Stress

5.13.2. Zukünftige Maßnahmen

Für den Sektor Wirtschaft werden folgende drei Maßnahmen definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt die ausreichende Ausstattung mit Budget und humanen Ressourcen.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Bauliche Maßnahmen zur Reduktion der thermischen Belastung in Betriebsgebäuden (Neubau/Sanierung)</i>
Nummer der Maßnahme	W01
Klimafolge	Reduktion von Arbeits- bzw. Leistungsfähigkeit durch thermischen Stress
Sektor	Wirtschaft
Maßnahmenart	Rechtlich
Ziel der Maßnahme	Reduzierung des thermischen Stresses am Arbeitsplatz
Beschreibung der Maßnahme	Durch Hitze am Arbeitsplatz nimmt die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit sowohl bei geistigen als auch bei körperlichen Tätigkeiten um bis zu 70 % ab. Dadurch leidet die Arbeitsqualität. Das Unfallrisiko steigt. Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Bei der Arbeitsplatzevaluierung nach dem Arbeitnehmerschutzgesetz werden auch die klimatischen Verhältnisse und ihre Einflüsse auf die Gesundheit der Beschäftigten berücksichtigt.

	• Abschattung vor direkter Sonneneinstrahlung z.B. durch Anbringen von Jalousien, Grünanlagen, usw. • Klimatisierung, • Einbau von Duschen, • Reduktion von Wärme emittierenden Maschinen (Computer) im Arbeitsraum.
Zusätzliche Hinweise	http://www.guichet.public.lu/citoyens/de/actualites/2016/08/23-alerte-canicule/index.html https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Physikalische-Faktoren-und-Arbeitsumgebung/Klima-am-Arbeitsplatz/Sommertipps.html
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung, Ministerium für Gesundheit, Inspection du travail et des mines, Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung
Beteiligte Akteure	MultiSektorieller arbeitsmedizinischer Dienst, Arbeitsmedizinischer Dienst des IndustrieSektors, Baubehörde, OAI
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Anzahl der thermisch sanierten Gebäude

Bezeichnung der Maßnahme	Anpassung des Versicherungswesens
Nummer der Maßnahme	W02
Klimafolge	Zunahme Extremereignisse (VersicherungsSektor), und Verbreitung von Schädlingen (Tier- und Pflanzengesundheit)
Sektor	Wirtschaft, Landwirtschaft
Maßnahmenart	Finanzpolitisch
Ziel der Maßnahme	Reduktion der Vulnerabilität im Bereich der Landwirtschaft durch Versicherung gegen klimabedingte Ernteaufälle (durch hohe, unregelmässige Niederschlagsmengen, Trockenperioden) und Auftreten von Tierseuchen/-krankheiten).
Beschreibung der Maßnahme	Für die Umsetzung dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Erhebung der bestehenden Situation betreffend der Versicherungen gegen Ernteaufälle/Auftreten von Tierkrankheiten, -seuchen, bei Leistungseinbussen (Tier) insgesamt. Dies umfasst einerseits die Art und Weise der Produktion die versichert ist (z.B. Obst- und Weinanbau), aber auch die Naturgefahren, das Risiko des Auftretens von Tierseuchen/-krankheiten gegen welcher ein Versicherungsschutz der Landwirte besteht. • Basierend auf den Ergebnissen ist die weitere Strategie festzulegen, die ggf. gemeinsam mit der Versicherungsbranche zu erarbeiten ist (Arten der Versicherung). Ebenso ist abzuklären, ab wann staatliche Beihilfen jene, von Versicherungen nicht gedeckte, Schäden übernehmen. Dies ist auch in Bezug auf die nächste Finanzperiode der GAP zu analysieren in der mögliche Risikominimierungsmechanismen vorhanden sein können.
Zusätzliche Hinweise	
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium der Finanzen, Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung
Beteiligte Akteure	Versicherungen, Interessensverbände, Vertreter landwirtschaftlicher Betriebe, Beratungsorganisationen, Tierzuchtorganisationen, Landwirtschaftskammer
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Regelmäßige Fortschrittsberichte

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Erstellung einer Risikoanalyse hinsichtlich des Auftretens und der Auswirkungen von Extremereignissen auf die Data Center sowie die Erstellung eines Maßnahmenplans</i>
Nummer der Maßnahme	W03
Klimafolge	Vermehrtes Auftreten von Hitzewellen (Data Center)
Sektor	Wirtschaft
Maßnahmenart	Rechtlich, finanzpolitisch, bewusstseinsbildend, Infrastruktur, Forschung
Ziel der Maßnahme	Sicherung der Data Center in Luxemburg unter sich verändernden Klimabedingungen
Beschreibung der Maßnahme	Luxemburg hat eine der höchsten Data Center-Dichten Europas (knapp 50.000 m²). Die Anbindung an europäische Internet-Knoten und das Stromnetz sind sehr gut wie auch die technische und rechtliche Sicherheit. Zwei Drittel der Data Center sind Tier IV zertifiziert (Uptime Institut). Damit ist luxemburgisches Hosting für IT-Dienstleister, die mit sensiblen Daten operieren attraktiv. Tier IV setzt als höchster Standard mit Fokus auf Erreichbarkeit auch kontinuierliche Kühlung voraus. Neben der 12-stündigen Autarkie des Kühlsystems (Energie, Kühlmittel) wird auch die Auslegung definiert: <i>“The capacity of all equipment that rejects heat to the atmosphere shall be determined at the Extreme Annual Design Conditions that best represents the data center location in the most recent edition of the ASHRAE Handbook – Fundamentals. ... temperature for design shall be the “N=20 years” value.”</i> An diesem Punkt setzt die gegenständliche Maßnahme an: ein 20-jährliches Hitze-Ereignis könnte als Risikoauflschlag bei der Bemessung der Kühlsysteme unzureichend sein. Im Rahmen dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Definition eines Risikoauflschlages für die Auslegung der Kühlung. Die Intensität der projizierten Hitzewellen und der thermischen Belastungsfähigkeit moderner Server ist dabei zu berücksichtigen, • Entwicklung eines einfachen Checks, der auch nicht zertifizierten Data Centern erlaubt, sich auf zukünftige Hitzewellen ausreichend vorzubereiten, • Rückverwertung thermischer Energie. Neben Hilfestellungen zur Auslegung des Kühlsystems gehört auch ein Notfallplan für den Ausfall der Kühlung gerade unter heißen Bedingungen.
Zusätzliche Hinweise	https://uptimeinstitute.com/ https://ict.investinluxembourg.lu/why-luxembourg/ict-luxembourg/data-centres-ecosystems https://ec.europa.eu/jrc/en/energy-efficiency/code-conduct/datacentres
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Staatsministerium (Kommunikation und Medien), Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung
Beteiligte Akteure	Meteorologischer Dienst, Energie, Telekommunikation
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Anzahl der Data Center mit einem Risikomanagementplan

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Ökonomische Risikoanalyse der Auswirkungen durch den Klimawandel evaluieren</i>
Nummer der Maßnahme	W04
Klimafolge	Stranded assets der fossilen Energie
Sektor	Wirtschaft
Maßnahmenart	Finanzpolitisch, Forschung, bewusstseinsbildend
Ziel der Maßnahme	Wirtschaftliche Risiken durch Investitionen in fossilen Rohstoffen reduzieren
Beschreibung der Maßnahme	Mit dem Pariser Klimaabkommen, die Erderwärmung auf 1,5 bzw. 2 Grad Celsius zu beschränken, werden dem Verbrauch fossiler Energieträger

	konkrete Grenzen gesetzt. Sollten diese fossilen Reserven nicht gefördert werden, können so genannte stranded assets („gestrandete Vermögenswerte“) entstehen. Besonders schwerwiegende Folgen können hierbei für Länder entstehen, die von fossilen Rohstoffen für ihre wirtschaftliche und soziale Entwicklung abhängig sind. Die Auswirkungen eines ungebremsen Klimawandels wären jedoch für die globalen Volkswirtschaften ebenso folgenreich und noch verheerender. Am stärksten betroffen ist der Immobilien-Sektor, gefolgt von Investment in Unternehmen, die fossile Ressourcen gewinnen und Energie erzeugen. Für die Umsetzung dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Evaluierung der ökonomischen Auswirkungen durch den Klimawandel für Luxemburg, • Risikoanalyse der verschiedenen Investitionen.
Zusätzliche Hinweise	
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium der Finanzen, Ministerium für Wirtschaft
Beteiligte Akteure	Chambre de commerce
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Regelmäßige Fortschrittsberichte

5.14. Sektorübergreifende Maßnahmen

Im Zuge der Umsetzung der Anpassungsstrategie Luxemburg kommt der Bewusstseinsbildung über die Auswirkungen des Klimawandels eine große Bedeutung zu. Die folgende Maßnahme gilt für alle betroffenen Sektoren.

Bezeichnung der Maßnahme	<i>Öffentlichkeitsarbeit bezüglich der Anpassung an den Klimawandel</i>
Nummer der Maßnahme	S01
Klimafolge	alle
Sektor	alle
Maßnahmenart	Bewusstseinsbildend
Ziel der Maßnahme	Ziel der Maßnahme ist es die Bevölkerung, ausgewählte Zielgruppen aber auch die Verwaltung für das Thema Anpassung an den Klimawandel zu sensibilisieren.
Beschreibung der Maßnahme	Im Zuge dieser Maßnahme sind folgende Schritte zu setzen: • Definition und Beschreibung der Zielgruppen, • Ausarbeitung von zielgruppenspezifischen Kampagnen zur Bewusstseinsbildung, • Abstimmung dieser Kampagnen mit den relevanten Akteuren, • Herstellung von zielgruppenspezifischen Informationsmaterialien, Formaten der Bewusstseinsbildung, • Enge Kooperation mit relevanten Medien (Zeitung, Fernsehen, usw.), • Zusammenarbeit mit Journalisten die diesen Prozess begleiten, • Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel sollen in Grundschulen, Sekundarschulen und Hochschulen thematisiert werden, • Gezielte Weiterbildungsmaßnahmen für ausgewählte Berufsgruppen.
Zusätzliche Hinweise	
Verantwortlichkeit hinsichtlich der Umsetzung	Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung

Beteiligte Akteure	Alle Ministerien, relevante Interessensvertreter, verschiedenste Medien, Journalisten, usw.
Indikator zur Überprüfung des Fortschrittes der Umsetzung	Anzahl der durchgeführten Kampagnen zur Bewusstseinsbildung

6. SCHNITTSTELLEN ZWISCHEN DEN SEKTOREN BEI DER ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL

Im folgenden Kapitel werden die Klimafolgen der einzelnen Sektoren hinsichtlich ihrer Schnittstellen mit anderen Sektoren dargestellt. Basierend auf dieser Darstellung gilt es Synergien beim Umgang mit verschiedenen Klimafolgen zu nutzen, die Sektorübergreifende Zusammenarbeit zu stärken um so effiziente und zielgerichtete Maßnahmen einzuleiten.

BAUEN UND WOHNEN

Für den Sektor “Bauen und Wohnen” zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren “Menschliche Gesundheit”, “Landesplanung”, “Urbane Räume” und “Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft”. Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 10* zu entnehmen.

Tabelle 10: Schnittstellen Klimafolgen Sektor “Bauen und Wohnen”

Klimafolge	Energie	Forstw.	Infrastruktur	Krisen & Katastrophenmanagement	Landesplanung	Landwirtschaft	Menschl. Gesundheit	Ökosyst. & Biodiv.	Tourismus	Urbane Räume	Wasserhaushalt & Wasserwirtschaft	Wirtschaft
Geringerer Heizwärmebedarf im Winter	x									x		
Sekundäre Schäden durch Naturgefahren				x	x		x			x	x	
Höhere Sommertemperaturen (Gebäudeklima)	x				x		x			x		
Stärkere Auswirkungen von Extremereignissen (Retentionsvermögen)				x			x			x	x	

ENERGIE

Für den Sektor “Energie” zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren “Infrastruktur”, “Urbane Räume”, “Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft” und “Wirtschaft”. Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 11* zu entnehmen.

Tabelle 11: Schnittstellen Klimafolgen Sektor “Energie”

Klimafolge	Bauen & Wohnen	Forstw.	Infrastruktur	Krisen- & Katastrophenmanagement	Landwirtschaft	Menschliche Gesundheit	Ökosyst. & Biodiv.	Landesplanung	Tourismus	Urbane Räume	Wasserhaushalt & Wasserwirtschaft	Wirtschaft
Veränderung des Wasserdargebots	x										x	
Höheres Biomasseaufkommen		x			x							
Zunahme von Sturmtagen			x					x			x	x
Veränderung des Strombedarfs	x									x	x	x

Zunahme der Folgen von Extremereignissen			x							x		x
Höhere/niedere Potenziale für die Nutzung von Solarenergie										x	x	
Zunahme von Sturmtagen		x	x		x		x					

FORSTWIRTSCHAFT

Für den Sektor “Forstwirtschaft” zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren “Infrastruktur”, “Urbane Räume”, “Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft” und “Wirtschaft”. Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 12* zu entnehmen.

Tabelle 12: Schnittstellen Klimafolgen Sektor “Forstwirtschaft”.

Klimafolge	Bauen & Wohnen	Energie	Infrastruktur	Krisen- & Katastrophenmanagement	Landwirtschaft	Menschliche Gesundheit	Ökosyst. & Biodiv.	Landesplanung	Tourismus	Urbane Räume	Wasserhaushalt & Wasserwirtschaft	Wirtschaft
Abiotische Waldschäden			x	x								
Veränderung der (Baum-) Artenzusammensetzung				x			x					
Änderung des Ertragspotenzials		x			x							
Zunehmende Waldbrandgefahr	x		x	x	x	x		x		x		x
Zunahme heimischer Schadorganismen				x	x							
Invasive Neobiota					x	x						
Beschleunigung von Umsetzungsprozessen (Böden)					x		x					
Zunehmende Sturmgefahr		x	x		x		x					

INFRASTRUKTUR

Für den Sektor “Infrastruktur” zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren “Bauen und Wohnen”, “Energie”, “Urbane Räume” und “Wirtschaft”. Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 13* zu entnehmen.

Tabelle 13: Schnittstellen Klimafolgen Sektor “Infrastruktur”

Klimafolge	Bauen & Wohnen	Energie	Forstw.	Krisen- & Katastrophenmanagement	Landwirtschaft	Menschliche Gesundheit	Ökosyst. & Biodiv.	Landesplanung	Tourismus	Urbane Räume	Wasserhaushalt & Wasserwirtschaft	Wirtschaft
Verändertes Naturgefahrenpotenzial	x	x	x	x		x		x		x	x	x
Zunahme von betriebswirtschaftlichen Auswirkungen	x	x										x
Höhere Materialbeanspruchung	x	x										x
Erhöhter Kühlbedarf im öffentlichen Verkehr		x								x		
Erhöhte Ausfallgefahr	x									x		
Gefährdung der Schifffahrt												x
Störung der Infrastruktur durch Hitze												x

KRISEN- UND KATASTROPHENMANAGEMENT

Für den Sektor “Krisen- und Katastrophenmanagement” zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren “Bauen und Wohnen”, “Energie”, “Infrastruktur”, “Menschliche Gesundheit”, “Landesplanung”, “Urbane Räume” und “Wirtschaft”. Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 14* zu entnehmen.

Tabelle 14: Schnittstellen Klimafolgen Sektor “Krisen- und Katastrophenmanagement”

Klimafolge	Bauen & Wohnen	Energie	Forstw.	Infrastruktur	Landwirtschaft	Menschl. Gesundheit	Ökosyst. & Biodiv.	Landesplanung	Tourismus	Urbane Räume	Wasserhaushalt & Wasserwirtschaft	Wirtschaft
Verändertes Brandpotenzial	x		x	x		x		x		x		

Beeinträchtigung der Verkehrsinfrastruktur				x		x						
Verschiebung des zeitlichen Eintritts/Varianz von Ereignissen		x		x		x					x	
Gefährdung der Energieversorgungssicherheit		x		x								
Stärkere Auswirkungen von Extremereignissen		x		x	x	x		x		x		x
Gefährdung der Trinkwasserver- & Abwasserversorgung	x			x	x	x						
Zunahme primärer & sekundärer Schäden durch Naturgefahren	x	x		x	x			x		x	x	x
Eintritt bisher nicht dimensionierter Ereignisse	x	x		x	x	x		x		x		x
Steigende Kosten	x	x		x	x							

LANDESPLANUNG

Für den Sektor „Landesplanung“ zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren „Bauen und Wohnen“, „Infrastruktur“, „Krisen- und Katastrophenmanagement“, „Menschliche Gesundheit“, „Urbane Räume“ und „Wirtschaft“. Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 15* zu entnehmen.

Tabelle 15: Schnittstellen Klimafolgen Sektor „Landesplanung“

Klimafolge	Bauen & Wohnen	Energie	Forstw.	Infrastruktur	Krisen- & Katastrophenmanagement	Landwirtschaft	Menschl. Gesundheit	Ökosyst. & Biodiv.	Tourismus	Urbane Räume	Wasserhaushalt & Wasserwirtschaft	Wirtschaft
Veränderte Gefährdungsgebiete	x			x	x		x		x	x		x
Vermehrter Wärmeinseleffekt	x						x			x		
Veränderte Flächeneignung	x			x			x		x	x		x
Zunehmender Druck auf Freiräume	x					x		x		x		

Verschärfung von Nutzungskonflikten um Flächen	x	x	x	x		x		x		x		x
--	---	---	---	---	--	---	--	---	--	---	--	---

LANDWIRTSCHAFT INKL. TIERISCHER UND PFLANZLICHER GESUNDHEIT

Für den Sektor “Landwirtschaft inkl. tierischer und pflanzlicher Gesundheit” zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren “Energie”, “Menschliche Gesundheit”, “Ökosysteme und Biodiversität”, “Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft” und “Wirtschaft”. Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 16* zu entnehmen.

Tabelle 16: Schnittstellen Klimafolgen Sektor “Landwirtschaft inkl. tierischer und pflanzlicher Gesundheit”

Klimafolge	Bauen & Wohnen	Energie	Forstw.	Infrastruktur	Krisen- & Katastrophenmanagement	Menschl. Gesundheit	Ökosyst. & Biodiv.	Landesplanung	Tourismus	Urbane Räume	Wasserhaushalt & Wasserwirtschaft	Wirtschaft
Zunahme der Hitzebelastung											x	
Zunahme von Extremwetterereignissen		x		x								x
Veränderung des Wasserdargebots											x	
Steigender Bewässerungsbedarf											x	
Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit, -struktur & -stabilität								x				x
Veränderung des Naturgefahrenpotenzials					x							
Neu auftretende Krankheiten						x	x					
Verlängerung der Vegetationsperiode		x				x						
Zunahme heimischer Schadorganismen							x					x
Invasive Neobiota						x	x					x
Beschleunigung von Umsetzungsprozessen (Böden)		x										x

MENSCHLICHE GESUNDHEIT

Für den Sektor “Menschliche Gesundheit” zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren “Bauen und Wohnen”, “Ökosysteme und Biodiversität” und “Urbane Räume”. Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 17* zu entnehmen.

Tabelle 17: Schnittstellen Klimafolgen Sektor “Menschliche Gesundheit”

Klimafolge	Bauen & Wohnen	Energie	Forstw.	Infrastruktur	Krisen- & Katastrophenmanagement	Landwirtschaft	Ökosyst. & Biodiv.	Landesplanung	Tourismus	Urbane Räume	Wasserhaushalt & Wasserwirtschaft	Wirtschaft
Zunahme der Gefährdung der Bevölkerung durch Extremereignisse	x				x			x		x		
Gefährdung der Wasserqualität										x	x	
Zunahme heimischer Krankheitserreger							x			x		
Zunahme thermischer Stress	x									x		
Zunahme allergener Organismen							x			x		
Auftreten neuer Krankheitserreger							x			x		

ÖKOSysteme UND BIODIVERSITÄT

Für den Sektor “Ökosysteme und Biodiversität” zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren “Forstwirtschaft”, “Landwirtschaft” und “Menschliche Gesundheit”. Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 18* zu entnehmen.

Tabelle 18: Schnittstellen Klimafolgen Sektor “Ökosysteme und Biodiversität”

Klimafolge	Bauen & Wohnen	Energie	Forstw.	Infrastruktur	Krisen- & Katastrophenmanagement	Landwirtschaft	Landesplanung	Menschl. Gesundheit	Tourismus	Urbane Räume	Wasserhaushalt & Wasserwirtschaft	Wirtschaft
------------	----------------	---------	---------	---------------	----------------------------------	----------------	---------------	---------------------	-----------	--------------	-----------------------------------	------------

Gefährdung von Feuchtlebensräumen									x		x	
Verschiebung von Lebensräumen			x			x						
Temperaturerhöhung der Gewässer		x				x		x			x	
Veränderung der Phänologie/des Fortpflanzungsverhaltens			x			x		x				
Veränderung der Artenzusammensetzung			x			x		x				
Invasive Neobiota			x			x		x				

TOURISMUS

Für den Sektor "Tourismus" zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren "Menschliche Gesundheit" und "Urbane Räume". Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 19* zu entnehmen.

Tabelle 19: Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Tourismus"

Klimafolge	Bauen & Wohnen	Energie	Forstw.	Infrastruktur	Krisen- & Katastrophenmanagement	Landwirtschaft	Menschl. Gesundheit	Ökosyst. & Biodiv.	Landesplanung	Urbane Räume	Wasserhaushalt & Wasserwirtschaft	Wirtschaft
Zunahme Extremwetterereignisse							x			x		
Zunahme der Hitzebelastung							x			x		

URBANE RÄUME

Für den Sektor "Urbane Räume" zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren "Energie", "Infrastruktur", "Krisen- und Katastrophenmanagement", "Menschliche Gesundheit", "Landesplanung" und "Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft". Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 20* zu entnehmen.

Tabelle 20: Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Urbane Räume"

Klimafolge	Bauen & Wohnen	Energie	Forstw.	Infrastruktur	Krisen- & Katastrophenmanagement	Landwirtschaft	Menschl. Gesundheit	Ökosyst. & Biodiv.	Landesplanung	Tourismus	Wasserhaushalt & Wasserwirtschaft	Wirtschaft
Vermehrtes Auftreten von Hitzewellen	x	x		x	x		x		x		x	x
Zunahme der Niederschlagsvariabilität		x		x	x		x		x		x	
Zunahme von Extremwetterereignissen	x	x		x	x		x		x		x	x
Zunahme invasive Arten							x					

WASSERHAUSHALT UND WASSERWIRTSCHAFT

Für den Sektor “Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft” zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren “Bauen und Wohnen”, “Energie”, “Krisen- und Katastrophenmanagement”, “Landwirtschaft”, “Menschliche Gesundheit”, “Landesplanung” und “Wirtschaft”. Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 21* zu entnehmen.

Tabelle 21: Schnittstellen Klimafolgen Sektor “Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft”

Klimafolge	Bauen & Wohnen	Energie	Forstw.	Infrastruktur	Krisen- & Katastrophenmanagement	Landwirtschaft	Menschl. Gesundheit	Ökosyst. & Biodiv.	Landesplanung	Tourismus	Urbane Räume	Wirtschaft
Veränderung des Wasserdargebots		x				x						x
Zunahme von Extremereignisse	x	x		x	x	x			x		x	x
Zunahme von Trockenperioden		x									x	x
Zunahme des Wasserbedarfs		x				x						
Zunahme der Wassertemperaturen							x	x				
Veränderung der saisonalen Niederschlagsverteilung		x			x	x		x	x		x	
Veränderung des Abflussregimes		x										
Zunahme der Anzahl von Hochwasser	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x

Absenkung des Grundwasserspiegels		x				x						
Sicherstellung der Wasserentsorgung											x	
Sicherstellung der Trinkwasserversorgung							x				x	

WIRTSCHAFT

Für den Sektor “Wirtschaft” zeigen sich vor allem Schnittstellen mit den Sektoren “Energie”, “Landwirtschaft”, “Menschliche Gesundheit”, “Urbane Räume” und “Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft”. Eine detaillierte Darstellung ist *Tabelle 22* zu entnehmen.

Tabelle 22: Schnittstellen Klimafolgen Sektor “Wirtschaft”

Klimafolge	Bauen & Wohnen	Energie	Forstw.	Infrastruktur	Krisen- & Katastrophenmanagement	Landwirtschaft	Menschl. Gesundheit	Ökosyst. & Biodiv.	Landesplanung	Tourismus	Urbane Räume	Wasserhaushalt & Wasserwirtschaft
Verändertes Wasserdargebot		x				x					x	x
Zunahme thermischer Stress auf der Arbeit							x					
Zunahme Extremereignisse (Versicherungssektor)			x			x						
Vermehrtes Auftreten von Hitzewellen (Data Center)				x								
Stranded assets der fossilen Energie												

7. VERKNÜPFUNGEN ZU ANDEREN STRATEGIEN

Wenn die Ziele zur Anpassung an den Klimawandel mit jenen anderer Strategien in Luxemburg übereinstimmen, können sie sich unmittelbar gegenseitig unterstützen. Ebenso können Konflikte zwischen verschiedenen Strategieprozessen verringert oder vermieden werden, wenn die Verbindungen zueinander identifiziert sind. Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel andere für Luxemburg gültige sowie in Ausarbeitung befindliche Strategien und deren Wirkung auf den nationalen Anpassungsprozess erläutert.

7.1. Nationaler Plan für eine nachhaltige Entwicklung

Luxemburg hat sich 1992 in Rio bei der *Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung* dazu verpflichtet, sowohl national als auch international Strategien für eine nachhaltige Entwicklung zu entwerfen und in die Praxis umzusetzen. Im *Nationalen Plan für eine nachhaltige Entwicklung* aus dem Jahr 1999 werden drei Pfeiler beschrieben nämlich "Schutz der Umwelt und der natürlichen Ressourcen", "Wirtschaftliche Effizienz" und "Gesellschaftliche Solidarität". In Bezug auf die vorliegende Klimawandel Anpassungsstrategie sind vor allem folgende Ziele der Nachhaltigkeitsstrategie relevant:

Pfeiler I „Schutz der Umwelt und der natürlichen Ressourcen“

- Einrichtung eines nationalen "Biodiversitätsnetzes" auf 15 % der gesamten Landesfläche,
- Flächendeckende Förderung einer naturnahen Waldbewirtschaftung sowie Ausweisung von Naturwaldparzellen frei von forstlichen Eingriffen auf 5 % der Waldfläche,
- Stabilisierung des Bodenverbrauchs und Bewahrung der Bodenqualität durch bodensparendes Siedlungswachstum und bodenschonende Bewirtschaftungsmethoden,
- Wiederherstellung der ökologischen Funktionen aller Gewässer durch den Anschluss der ganzen Bevölkerung an eine moderne und effiziente Kläranlage bis 2010,
- Verminderung der Emissionen von treibhauswirksamen Gasen, allen voran des Kohlendioxids (CO₂) um 28 % in der Periode 2008-2012 im Vergleich zum Referenzjahr 1990 durch Energieeinsparung, Energieeffizienz und Einsatz erneuerbarer Energien.

Im Jahr 2006 wird im *Rapport national sur la mise en œuvre de la politique de développement durable* der Stand der Umsetzung der Nachhaltigkeitsstrategie evaluiert sowie ein Set von Indikatoren vorgelegt. 2015 wiederum wird im Bericht *Ein nachhaltiges Luxemburg für mehr Lebensqualität* ein effektiver Plan zur Koordination der Aktivitäten zur Anpassung an unvermeidliche Klimawandelfolgen als Maßnahme aufgelistet. Diese sind in folgende Schritte,

die nur zum Teil einen direkten Anpassungsbezug haben, vielmehr aber den Klimaschutz betreffen, eingeteilt:

- Erarbeitung von Grundsätzen und Kriterien für eine Priorisierung von Handlungserfordernissen,
- Schaffung von Mechanismen für eine langfristige Finanzierbarkeit von Anpassungsprogrammen,
- Vorgabe eines Fahrplans für das weitere Vorgehen sowie die Weiterentwicklung der Klimaschutzstrategie,
- Erkennen und nutzen der Vorteile eines konsequenten Klimaschutzes auch für die Reduktion konventioneller Luftschadstoffe.

Bezug zu Maßnahmen der Anpassungsstrategie:

Forstwirtschaft:

- Flächendeckende Waldbiotopkartierung und Erstellung eines Maßnahmenkatalogs zur zukunftsfähigen Waldbewirtschaftung in einem sich ändernden Klima
- Umbau von Monokulturen zu Mischwäldern
- Erhaltung, Verbesserung bzw. Wiederherstellung der Funktionen des Waldbodens, insbesondere als Wasser- und Kohlenstoffspeicher sowie als Nährstofflieferant

Landwirtschaft:

- Förderung von Bodenschutzmaßnahmen

Ökosysteme und Biodiversität:

- Gezielte Fördermaßnahmen für gefährdete Arten, insbesondere in den Teilarealen, welche auch in Zukunft klimatisch für eine Art geeignet sein könnten
- Berücksichtigung des Klimawandels in Naturschutzkonzepten und Managementplänen

Der dritte *Nationale Plan für nachhaltige Entwicklung* wird die 17 Nachhaltigkeitsziele der Agenda 2030 der Vereinten Nationen umsetzen. In diesem PNDD 3 (Plan national pour un développement durable) wird die Strategie zur Anpassung an den Klimawandel einen wichtigen Eckpfeiler insbesondere zur Umsetzung des Zieles 13 „Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen“ sein, wie auch des Zieles 15 „Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern, Wälder nachhaltig bewirtschaften, Wüstenbildung bekämpfen, Bodendegradation beenden und umkehren und dem Verlust der biologischen Vielfalt ein Ende setzen“.

7.2. Zweiter Nationaler Aktionsplan Klimaschutz

Die beiden Säulen einer erfolgreichen Klimapolitik sind zum einen Klimaschutz, zum anderen die Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels.

In diesem Zusammenhang, hat das Großherzogtum Luxemburg im Jahr 2006 seinen *1. Nationalen Aktionsplan Klimaschutz* vorgelegt und damit wichtige Weichen für einen wirksameren nationalen Klimaschutz gestellt. Im *2. Nationalen Aktionsplan Klimaschutz* aus dem Jahr 2013 wird festgestellt, dass die Emissionen pro Einwohner – ohne Treibhausgase, aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen, Forstwirtschaft und internationaler Luftfahrt- und Schifffahrt – in den letzten 20 Jahren erheblich reduziert werden konnten (von 34 Tonnen im Jahr 1990 auf 23 Tonnen im Jahr 2011 pro Einwohner). Nichtsdestotrotz sind dies nach wie vor die höchsten Emissionen pro Einwohner in der EU.

Um nationale und internationale Ziele zu erreichen werden im *2. Nationalen Aktionsplan Klimaschutz* eine Reihe vorrangig auf den Zeitraum 2013-2020 ausgerichtete Maßnahmen vorgestellt, die zu echten Minderungen beim Inlandsverbrauch und den im Inland selbst entstehenden Emissionen führen sollen. Als wichtigste Potenziale werden Inlandsverkehr, Haushalte/Gebäude, Industrie/Energie, und Agrokraftstoffe gesehen.

Im Hinblick auf die Anknüpfung an die Thematik der Anpassung an den Klimawandel wird in Punkt 2.7 des Maßnahmenprogrammes auf die im Jahr 2011 erschienene *Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique* verwiesen.

Bezug zu Maßnahmen der Anpassungsstrategie:

Energie:

- Bewusstseinsbildende Maßnahmen zum Thema Energiesparen und Ausbau von dezentraler Solarenergie
- Ausbau von Biomassekraftwerken unter Berücksichtigung von Aspekten der Nachhaltigkeit

Aufgrund des Pariser Klimaabkommens sowie der Verordnung auf EU-Ebene zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021-2030 hat die Luxemburger Regierung beschlossen einen *3. Nationalen Klimaschutzplan* vorzulegen. Neben der Anpassung an den Klimawandel und der Umlenkung der globalen Finanzströme ist die Minderung der Treibhausgasemissionen das 3. Hauptziel des im Dezember 2015 unter luxemburgischer Ratspräsidentschaft verabschiedeten Klimaabkommens. Die globale Erwärmung soll im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf höchstens 2 °C, wenn möglich sogar auf 1,5 °C begrenzt werden. Dies setzt die sogenannte „Klimaneutralität“ bis spätestens im Laufe der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts voraus.

Zurzeit (Stand 2016) liegen die THG-Emissionen Luxemburgs (die vom Emissionshandelssystem erfassten Sektoren ausgeschlossen) bei etwa 8,5 Millionen Tonnen, d.h. 16 % unter dem Referenzjahr 2005. Hauptverursacher (zwei Drittel) ist der Transport Sektor. Eine Minderung der Emissionen um 40 % im Jahr 2030 im Vergleich zu 2005 setzt eine Halbierung der pro-Kopf Emissionen innerhalb der nächsten 12-15 Jahre voraus. Der 3. *Nationale Klimaschutzplan* wird ebenfalls eine Langfristperspektive (2050) aufzeichnen.

7.3. Maßnahmenprogramm Hochwassermanagement

Am 23.10.2007 ist die Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL -2007/60/EG) des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken in Kraft getreten. Mit der Einführung hat die EU einen Rahmen für das Management von Hochwasserrisiken zur Verringerung der hochwasserbedingten nachteiligen Folgen geschaffen. Gemäß Artikel 7 der Richtlinie sind die Mitgliedstaaten verpflichtet, für die Risikogebiete Hochwasserrisikomanagementpläne zu erstellen.

Die Richtlinie sieht folgende Planungsschritte vor:

1. Vorläufige Risikobewertung: die Durchführung einer Bewertung des Hochwasserrisikos und – darauf aufbauend – die Auswahl der Risikogebiete, in denen ein potenziell signifikantes Hochwasserrisiko besteht.
2. Erstellung von Gefahren- und Risikokarten: für alle Risikogebiete müssen Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten erstellt werden.
3. Risikomanagementplan: auf Grundlage der vorläufigen Risikobewertung sowie der Gefahren- und Risikokarten werden Ziele und Maßnahmen für ein integriertes Hochwasserrisikomanagement unter Einbeziehung der Öffentlichkeit geplant und umgesetzt. Der Plan Luxemburgs wurde im Dezember 2015 verabschiedet.

Darüber hinaus fordert die Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie die EU-Mitgliedsstaaten auf, sich im Hinblick auf Hochwasserrisiken auch mit zukünftig veränderten Gegebenheiten durch den Klimawandel zu beschäftigen. Dazu wurden in Luxemburg mit dem räumlich hochaufgelösten Wasserhaushaltsmodell (WHM) LARSIM Wasserhaushaltssimulationen für das Mosel- und Saareinzugsgebiet durchgeführt. Ziel der Studie war die Untersuchung der möglichen Einflüsse des Klimawandels auf die Fließgewässer in Luxemburg. Die Ergebnisse sind im zweiten Plan auch bei der Maßnahmenplanung zu berücksichtigen.

Bezug zu Maßnahmen der Anpassungsstrategie:

Bauen und Wohnen:

- Anpassen der Baunormen an extremere klimatische Bedingungen und projizierte Veränderungen
- Ausarbeitung einer Anleitung „Klimasicheres Bauen“

Energie:

- Überprüfung und Anpassung der vorhandenen Energieinfrastrukturen in Bezug auf die Vulnerabilität gegenüber Extremereignissen

Infrastruktur:

- Identifizierung von kritischen Infrastrukturen und Initiierung von Maßnahmen zur Reduktion der Vulnerabilität
- Integration von Klimawandel in die Konzeption neuer Infrastrukturen

Krisen- und Katastrophenmanagement:

- Anpassen der Blaulichtorganisationen und Einsatzleitungen an sich verändernde klimatischen Verhältnisse
- Kontinuierliches Monitoring von Naturgefahrenprozessen und Ereignissen sowie Weiterentwicklung und Verbesserung der Methoden und Technologien zur Erkennung neuer Naturgefahrenprozesse
- Integration von Klimawandel in die Konzeption von Regen-,/Abwasser- und Trinkwassersysteme
- Initiierung von robusten und anpassbaren Schutzmaßnahmen

Landesplanung:

- Intensivierung von Forschungsaktivitäten im Hinblick auf die Vorhersage von Extremwetterereignissen sowie Identifizierung der Implikationen für die verschiedenen Bereiche der Landwirtschaft

Urbane Räume:

- Überprüfung der städtischen Infrastruktur im Hinblick auf die Zunahme von Extremwetterereignissen sowie die Ausarbeitung von Konzepten zur baulichen Anpassung

Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft:

- Berücksichtigung von Starkregenereignissen im zweiten Hochwasserrisikomanagementplan
- Beschattungsmaßnahmen durch Uferrandstreifen

7.4. Flussgebietsmanagementplan

Am 22. Dezember 2000 trat die Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, kurz Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), in Kraft. Damit wurde erstmals europaweit eine einheitliche und gemeinsame Grundlage für die Bewirtschaftung der Gewässer geschaffen und das ökologische Gesamtziel des „guten Zustandes“, welcher bis Ende 2015 für alle Gewässer der EU erreicht werden soll, eingeführt.

Nach Artikel 11 der WRRL müssen die Mitgliedstaaten für ihre Flussgebietseinheiten oder ihre nationalen Anteile an einer internationalen Flussgebietseinheit Maßnahmenprogramme erstellen. Solche Maßnahmenprogramme müssen von den Mitgliedstaaten durchgeführt werden, wenn die Zustandsanalyse ergibt, dass Wasserkörper die von der WRRL vorgegebenen Umweltziele nicht erfüllen, bzw. um den Erhalt des guten Zustandes zu gewährleisten.

Luxemburg hat 2015 den in der WRRL geforderten zweiten Flussgebietsbewirtschaftungsplan und das dazugehörige Maßnahmenprogramm veröffentlicht, mit dem Ziel die Situation und den Zustand der Gewässer in Luxemburg zu verbessern. Das Maßnahmenprogramm Luxemburgs besteht aus 3 großen Aktionsfeldern: Siedlungswasserwirtschaft, Landwirtschaft und Hydromorphologie und beinhaltet eine Vielzahl von Untermaßnahmen.

Dieses Maßnahmenprogramm wurde, um den Ansprüchen des Klimawandels gerecht zu werden, teilweise bereits einem Klimacheck unterzogen. Dieser Klimacheck soll vor allem jene Maßnahmen identifizieren, die a) klimaschädlich sind, oder b) unter sich ändernden Klimabedingungen ihre Wirkung reduzieren bzw. verlieren. Die Ergebnisse für Luxemburg zeigen, dass viele hydromorphologische Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel beitragen (z.B. Abmilderung von Extremereignissen) und im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft der Klimawandel stärker in der Dimensionierung der neu zu bauenden Anlagen zu berücksichtigen ist. Für die landwirtschaftlichen Maßnahmen wurde bisher keine Überprüfung durchgeführt, da dies nicht im Kompetenzbereich der Wasserverwaltung liegt (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2015).

Bezug zu Maßnahmen der Anpassungsstrategie:

Ökosysteme und Biodiversität:

- Berücksichtigung des Klimawandels in Naturschutzkonzepten und Managementplänen

Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft:

- Beschattungsmaßnahmen durch Uferrandstreifen

7.5. Zweiter Nationaler Plan zum Schutz der Natur

Der zweite nationale Plan zum Schutz der Natur¹¹ wurde am 13 Januar 2018 im Regierungsrat gestimmt und legt die Strategie im Bereich Naturschutz für die kommenden 5 Jahre fest.¹² Ein wichtiger Aspekt dieses Plans sind Maßnahmen im Bereich der Anpassung von Flora und Fauna an die klimatischen Veränderungen.

Einige wichtige Maßnahmen mit einer Relevanz zur Klima-Anpassungsstrategie sind z.B.:

- Wiederherstellung der Ökosysteme und deren Dienstleistungen: dies beinhaltet die Wiederherstellung der Ökosysteme und somit auch deren Anpassungspotenzial gegenüber Klimaveränderungen.
- Biotopverbundsystem wiederherstellen: durch die Herstellung eines Verbundsystems wird der genetische sowie Artenaustausch zwischen den Habitaten verbessert und erlaubt somit die klimabedingte Anpassung der verschiedenen Flora und Fauna Arten.
- Forst- und landwirtschaftliche Vorzeigeprojekte: Ausarbeitung von einem agroforstwirtschaftlichen Konzept soll Möglichkeiten der Anpassung der Landwirtschaft an ändernde klimatische Bedingungen aufzeigen. Demonstrationsbetriebe sollen verschiedene Möglichkeiten des landwirtschaftlichen Arbeitens aufzeigen.

¹¹

<http://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/natur/general/pnnp2.pdf>

¹² <http://data.legilux.public.lu/file/eli-etat-leg-dgc-2017-01-13-a194-jo-fr-pdf.pdf>

8. UMSETZUNG UND WEITERENTWICKLUNG

In den kommenden Jahren und Jahrzehnten werden die Folgen des Klimawandels mehr und mehr sichtbar werden und Luxemburg muss sich an diese Änderungen anpassen. Die vorliegende Strategie und Aktionsplan bieten dafür einen geeigneten Rahmen. Das Dokument basiert auf dem aktuellen Wissensstand zum Klimawandel und dessen Auswirkungen. Für deren Umsetzungserfolg wurden die möglichen Anpassungsmaßnahmen in Kooperation aller betroffenen Akteure erarbeitet.

Die Anpassungsmaßnahmen sollen in den kommenden Jahren im Rahmen der jeweiligen Sektorpolitiken konkretisiert und umgesetzt werden. Die Anpassung an den Klimawandel ist ein Prozess, der unmittelbar beginnen muss, sich jedoch über längere Zeithorizonte erstrecken wird. Eine kontinuierliche Erweiterung des Wissensstandes und der Erfahrungen in der Umsetzung sind Grundlage für eine effiziente Anpassung an den Klimawandel. Um die Auswirkungen des Klimawandels sowie die Klimarisiken realistisch abzuschätzen, sind verlässliche wissenschaftliche Kenntnisse und gut aufgelöste Klimaszenarien notwendig. Dementsprechend ist es wichtig diese regelmäßig zu aktualisieren und zu ergänzen. Je besser die Klimaszenarien, desto verlässlicher sind die Abschätzungen zu den Auswirkungen und die Analysen der Risiken und Chancen.

Die Maßnahmen sollen deshalb in den Jahren 2018 bis 2023 umgesetzt werden. Die Strategie und der Aktionsplan werden alle 5 Jahre evaluiert und mit dem Vorliegen neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse sowie konkreten Erfahrungen bei der Anpassung verbessert und weiterentwickelt.

9. GLOSSAR

Anpassung (auch: Adaption)

Anpassung an den Klimawandel bezeichnet den Prozess der Umstellung und Ausrichtung von natürlichen und gesellschaftlichen Systemen auf tatsächliche oder zu erwartende Klimaveränderungen mit deren Folgen, um die negativen Auswirkungen zu mindern und Vorteile nutzbar zu machen. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Anpassungsstrategien

Anpassungsstrategien in Bezug auf den Klimawandel sind langfristig angelegte Konzepte oder Verhaltensweisen einschließlich der zu ihrer Umsetzung eingesetzten Instrumente und Maßnahmen, um Nachteile von tatsächlichen oder erwarteten Klimaveränderungen mit deren Folgen zu mindern und Vorteile zu nutzen. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Anpassungsfähigkeit, Anpassungskapazität

Anpassungsfähigkeit in Bezug auf den Klimawandel ist das Vermögen von Individuen sowie natürlichen und gesellschaftlichen Systemen, die Nachteile von tatsächlichen oder erwarteten Klimaveränderungen mit deren Folgen zu mindern und Vorteile zu nutzen. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Exposition

Unter Exposition ist zu verstehen, dass Subjekte, Objekte und Systeme den Einwirkungen des Klimawandels und seinen Folgen räumlich und zeitlich ausgesetzt sind. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Klima

Klima ist die raum-zeitliche Gesamtheit aller Wettererscheinungen in der Atmosphäre unter Berücksichtigung des Maßstabs der wirkungsrelevanten Prozesse. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Klimamodell

Ein Klimamodell ist ein numerisches oder statistisches Modell, das eine dreidimensionale Repräsentation der Atmosphäre enthält und die in ihr ablaufenden physikalischen und chemischen Prozesse beschreibt. Es berücksichtigt Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Erdoberfläche. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Klimaprojektion

Als Klimaprojektion wird eine mögliche zukünftige Entwicklung einzelner oder mehrerer Klimakenngrößen (Klimavariablen) bezeichnet, wie sie auf der Basis von Szenarien mithilfe eines Klimamodells berechnet werden kann. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Klimaschutz (auch: Mitigation)

In der Diskussion zum Klimawandel versteht man darunter alle Bemühungen zum Schutz des globalen Klimas, also zur möglichst weitgehenden Vermeidung des Klimawandels. Hierfür wird häufig auch der Begriff Mitigation verwendet. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Klimawandel

Der Begriff des Klimawandels bzw. der anthropogenen Klimaänderung bezieht sich in erster Linie auf die aktuelle vom Menschen verursachte Veränderung des globalen und regionalen Klimas. Allgemein umfasst eine Klimaänderung die langfristigen Veränderungen des Klimas, unabhängig davon, ob dies auf natürliche oder anthropogene Ursachen zurückzuführen ist. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Klimawirkung, Klimafolgen

Eine Klimawirkung ist das Resultat einer multikausalen Wirkungsbeziehung, an deren Anfang die Veränderungen bestimmter Klimakenngrößen bzw. -variablen als Belastung (Einwirkung) auf ein klimasensitives System stehen und in deren Folge in Abhängigkeit von der Exposition ökonomische, ökologische und soziale Auswirkungen im betroffenen System eintreten können. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

No-Regret-Strategie (dt.: „Strategie ohne Bedauern“)

No-Regret-Strategien basieren auf Konzepten und Verhaltensweisen, die unabhängig vom Klimawandel ökonomisch, ökologisch und sozial sinnvoll sind. Sie werden vorsorglich ergriffen, um negative Auswirkungen zu vermeiden oder zu mindern. Ihr gesellschaftlicher Nutzen ist auch dann noch gegeben, wenn der primäre Grund für die ergriffene Strategie (hier: Anpassung an den Klimawandel) nicht im erwarteten Ausmaß zum Tragen kommt. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Resilienz

Als Resilienz wird u. a. in der Ökologie die Fähigkeit von Ökosystemen beschrieben, Schocks und Störungen zu absorbieren und zentrale Funktionen in einem System auch in der Zeit von Stresseinwirkungen möglichst zu erhalten (Holling 1973; Folke 2006). Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Risiko

Risiko kann als die Wahrscheinlichkeit negativer Konsequenzen verstanden werden. Darüber hinaus wird Risiko als Produkt der Interaktion bzw. des Zusammentreffens einer Gefahr (z.B. natürlicher Prozesse wie Starkregenereignisse) mit der gesellschaftlichen Vulnerabilität verstanden. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Szenarien

Szenarien sind kohärente, konsistente und plausible Beschreibungen möglicher zukünftiger Verhältnisse einschließlich des Verlaufs ihrer Entstehung. Sie basieren auf Annahmen. Die Beschreibung kann in qualitativer und quantitativer Form erfolgen. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Treibhausgase

Treibhausgase sind gasförmige Bestandteile der Atmosphäre (sowohl natürlichen wie anthropogenen Ursprungs), die die Strahlung, die von der Erdoberfläche, der Atmosphäre selbst und den Wolken abgestrahlt wird, in spezifischen Wellenlängenbereichen innerhalb des Spektrums der thermischen Infrarotstrahlung absorbieren und wieder ausstrahlen. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Unsicherheit

Unsicherheit ist ein Ausdruck für das Ausmaß in dem ein Wert, Zustand oder Prozess unbekannt ist (IPCC 2012; z. B. der zukünftige Zustand des Klimasystems, der zukünftige Zustand der Gesellschaft). Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

Vulnerabilität (auch: Verwundbarkeit)

Vulnerabilität umfasst physische, soziale, ökonomische, umweltbezogene und institutionelle Strukturen und Prozesse, die die Anfälligkeit sowie die Bewältigungs- und Anpassungskapazitäten eines Systems oder Objekts hinsichtlich des Umgangs mit Gefahren – wie z.B. Klimawandeleinflüssen – bedingen. Quelle: <http://www.klima-und-raum.org/>

10. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Prioritäre Klimafolgen für Luxemburg	6
Tabelle 2:	Liste von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel.	7
Tabelle 3:	Lineare Trendanalyse der saisonalen und jährlichen Lufttemperaturen für die beiden Referenzperioden. Trendwert pro Dekade. Statistisch signifikante Werte (Mann Kendall Test) sind rot markiert	14
Tabelle 4:	Lineare Trendanalyse der saisonalen und jährlichen Niederschläge für die beiden Referenzperioden. Trendwert pro Dekade. Statistisch signifikante Werte (Mann Kendall Test) sind rot markiert	18
Tabelle 5:	Auswirkungen des Klimawandels auf die Biosphäre	29
Tabelle 6:	Auswirkungen des Klimawandels auf die Pedosphäre	38
Tabelle 7:	Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrosphäre.....	43
Tabelle 8:	Zusammenfassung der Auswirkungen des Klimawandels auf Luxemburg.....	49
Tabelle 9:	Maßnahmen zur Anpassung gemäß Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie	118
Tabelle 10:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Bauen und Wohnen"	128
Tabelle 11:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Energie"	128
Tabelle 12:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Forstwirtschaft"	129
Tabelle 13:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Infrastruktur".	130
Tabelle 14:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Krisen- und Katastrophenmanagement"	130
Tabelle 15:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Landesplanung"	131
Tabelle 16:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Landwirtschaft inkl. tierischer und pflanzlicher Gesundheit"	132
Tabelle 17:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Menschliche Gesundheit".....	133
Tabelle 18:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Ökosysteme und Biodiversität"	133
Tabelle 19:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Tourismus"	134
Tabelle 20:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Urbane Räume"	134
Tabelle 21:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft"	135
Tabelle 22:	Schnittstellen Klimafolgen Sektor "Wirtschaft"	136

11. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Jahresmittelwerte der Lufttemperatur für die Station Findel (blaue Linie), 7-jährig gleitendes Mittel (rote Linie) sowie für die beiden Referenzperioden 1961 bis 1990 (8,3 °C) und 1981 bis 2010 (9,3 °C); Auswertezeitraum 01/1947 bis 12/2016. Quelle: nicht publiziert, Rohdaten MeteoLux	12
Abbildung 2:	Jährliche Anomalien der Lufttemperatur für die Station Findel in der Referenzperiode 1961 bis 1990 (8,3 °C); Auswertezeitraum 01/1947 bis 12/2016. Quelle: nicht publiziert, Rohdaten MeteoLux	13
Abbildung 3:	Mittelwerte der Lufttemperatur für die meteorologischen Jahreszeiten (Winter = Dezember bis Februar, Frühjahr = März bis Mai, Sommer = Juni bis August, Herbst = September bis November) für die Station Findel (blaue Linien), 7-jährig gleitendes Mittel (rote Linien) sowie Mittelwerte (schwarze Linien) der beiden referenzperioden 1961 bis 1990 und 1981 bis 2010; Auswertezeitraum 01/1947 bis 12/2016. Quelle: nicht publiziert, Rohdaten MeteoLux	13
Abbildung 4:	Jahresmittelwerte der Lufttemperatur für die ASTA Stationen Asselborn, Grevenmacher, Clemency und Remich (blaue Linie), 7-jährig gleitendes Mittel (rote Linie) sowie die mittelwerte der Referenzperiode 1981 bis 2010; Quelle: Rohdaten ASTA.....	15
Abbildung 5:	Jährliche Niederschlagssummen für die Station Findel, sowie mittlere jährliche Niederschlagssummen für die beiden Referenzperioden 1961 bis 1990 (875 mm) und 1981 bis 2010 (897 mm); Auswertezeitraum 01/1947 bis 12/2016. Quelle: nicht publiziert, Rohdaten MeteoLux	16
Abbildung 6:	Jährliche Anomalien des Niederschlags für die Station Findel in der Referenzperiode 1961 bis 1990 (875 mm); Auswertezeitraum 01/1947 bis 12/2016. Quelle: nicht publiziert, Rohdaten MeteoLux	16
Abbildung 7:	Mittelwerte des Niederschlags für die meteorologischen Jahreszeiten (Winter = Dezember bis Februar, Frühjahr = März bis Mai, Sommer = Juni bis August, Herbst = September bis November) für die Station Findel (graue Balken), 7-jährig gleitendes Mittel (rote Linien) sowie Mittelwerte (schwarze Linien) der beiden Referenzperioden 1961 bis 1990 und 1981 bis 2010; Auswertezeitraum 01/1947 bis 12/2016. Quelle: nicht publiziert, Rohdaten MeteoLux	17
Abbildung 8:	Jährliche Niederschlagssummen für die ASTA Stationen in blau, sowie Mittelwerte der Referenzperioden in rot. Quelle: homogenisierte daten, ASTA.....	18
Abbildung 9:	Anzahl der Tage pro Jahr mit Starkniederschlägen für die Station Findel; Zeitraum 1947 bis 2016. Schwellenwert abgeleitet aus der Referenzperiode 1981 bis 2010, p95 = 17,8 mm.	19
Abbildung 10:	Anzahl der Tage pro Jahr mit Starkniederschlägen für die Station Findel für die meteorologischen Jahreszeiten Sommer (links) und Winter (rechts); Zeitraum 1947 bis 2016. Schwellenwert abgeleitet aus der Referenzperiode 1981 bis 2010, p95 sommer = 21,8 mm und p95 winter = 16,1 mm.	19

Abbildung 11:	Anzahl der Tage pro Jahr mit Starkniederschlägen für verschiedene ASTA Stationen; Schwellenwert abgeleitet aus der Referenzperiode 1981 bis 2010, Schwellenwerte für Tage mit Starkniederschlag: Asselborn = 14,6 mm, Grevenmacher = 15,7 mm, Clemency = 18,6 mm, Remich = 15,7 mm; Quelle: Rohdaten ASTA.....	20
Abbildung 12:	Absolute Anzahl von ausgewählten Ereignistagen basierend auf Messdaten der Station Findel (links: Zeitraum 1947 bis 2000) und basierend auf Klimaprojektionen mit dem Cosmo-CLM Model. Quelle: Junk et al. 2013	21
Abbildung 13:	Verschiede Modelldomänen der hoch aufgelösten Modellierung mit dem Cosmo-CLM Model. Zieldomäne Luxemburg, 220 x 220 Gitterpunkte bei einer horizontalen Auflösung von ca. 1,3 km. Quelle: Junk et al. 2013	22
Abbildung 14:	Entwicklung der Lufttemperatur für Luxemburg basierend auf einem Ensemble von Klimaprojektionen; Zeitraum 1961 bis 2098. Quelle: Junk et al. 2012 (verändert)	23
Abbildung 15:	Entwicklung des Niederschlags für Luxemburg basierend auf einem Ensemble von Klimaprojektionen; Zeitraum 1961 bis 2098. Quelle: nicht publiziert	24
Abbildung 16:	Absolute Häufigkeitsverteilung der Tageswerte der Lufttemperatur und des Niederschlags, abgeleitet aus 6 regionalen Klimaprojektionen für Luxemburg für die Referenzperiode (1961 bis 1990), die nahe (2021 bis 2050) und die ferne Zukunft (2069 bis 2098). Quelle: Goergen et al. (2013)	25
Abbildung 17:	Absolute Häufigkeitsverteilung der Tage ohne Niederschlag berechnet aus 6 Ensemble Mitgliedern für die Referenzperiode (a), die nahe Zukunft (b), sowie die ferne Zukunft (c). Quelle: nicht veröffentlicht.....	25

12. LITERATUR

Administration de la nature et des forêts (2017): Leitfaden für forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen von geschützten Waldbiotopen, Luxemburg, Luxemburg.

APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich.

Baguis, P., Ntegeka, V., Willems, P. & Roulin, E. (2009): Extension of CCI-HYDR climate change scenarios for INBO, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) & Belgian Science Policy, SSD Research Programme, Technical report by K.u.Leuven Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium, January 2009.

Belgian Science Policy: Satellite Earth Observation – Educational initiatives of Belgian Science Policy. <http://eoedu.belspo.be/en/profs/vgt.asp?section=1>

DWD (2016): Nationaler Klimareport (2016): 2. korrigierte Auflage, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland.

EC (2017): Commission Staff Working Document - The EU Environmental Implementation Review Country Report – LUXEMBOURG. Brüssel, Belgien.

EC (2013): Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and social Committee of the Regions - An EU Strategy on adaptation to climate change. Brüssel, Belgien.

EC (2005): Soil Atlas of Europe, European Soil Bureau Network. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, Luxemburg.

EEA (2014): Greenhouse gas data viewer. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>

EEA: www.eea.europa.eu/data-and-maps

Eickermann, M., Junk, J., Ulber, B., Reinhardt, A., Görgen, K., Hoffmann, L. & Beyer, M. (2012): Effekte des regionalen Klimawandels auf die Zuwanderung von von Ceutorhynchus napi Gyll. in Rapsbestände. 58. Deutsche Pflanzenschutztagung "Pflanzenschutz – alternativlos", 10.-14. September 2012, Braunschweig, Deutschland.

Fenner, D., Mücke, H.G. & Scherer, D. (2015): Innerstädtische Lufttemperatur als Indikator gesundheitlicher Belastungen in Großstädten am Beispiel Berlins. UMID: Umwelt und Mensch – Informationsdienst.

Forest Europe (2015): Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management.

Gagnon-Lebrun, F. & Agrawala, S. (2006): Progress on Adaptation to Climate Change in Developed Countries: An Analysis of Broad Trends, OECD, Paris, Frankreich.

Gellens, D. & Roulin, F. (1998): Streamflow response of Belgian catchments to IPCC climate change scenarios. Journal of Hydrology 210, p. 242-258.

Görgen et al. (2013): ENSEMBLES-based assessment of regional climate effects in Luxembourg and their impact on vegetation. Clima Change 119: 761. doi:10.1007/s10584-013-0756-x.

Görge, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C. & Volken, D. (2010): Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project, CHR report, I-23, 229 pp., Lelystad, Niederlande.

IEA (2014): Energie Policies of IEA Countries. Luxembourg – Review 2014. International Energy Agency, Paris, Frankreich.

d'Ieteren, E., Hecq, W., De Sutter, R. & Le Roy, D. (2004): Les effets du changement climatique en Belgique: Impacts potentiels sur les bassins hydrographiques et la côte maritime, phases I et II (recommandations pour une gestion durable). Convention CEESE-ECOLAS-IRGT/KINT, Décembre 2004, 134 p.

Inspection sanitaire (2011): Implication du changement climatique sur la santé publique au Luxembourg. Luxembourg, Luxembourg.

International Commission for the Protection of the Rhine (2015): Strategy for the IRBD Rhine for adapting to climate change. Koblenz, Deutschland.

Junk, J., Görge, K., Eickermann, M., Sinigoi, P. & Hoffmann, L. (2011): Possible climate change impacts on agriculture and viticulture in Luxembourg – the benefit of ensemble-based regional climate change projections EMS Annual Meeting Abstracts Vol. 8, EMS2011-PREVIEW, 2011 11th EMS / 10th ECAM.

Junk, J., M. Eickermann, K. Görge, M. Beyer and L. Hoffmann (2012). "Ensemble-based analysis of regional climate change effects on the cabbage stem weevil (*Ceutorhynchus pallidactylus* (Mrsh.)) in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.)." *The Journal of Agricultural Science* 150(2): 191-202.

Junk, J., Matzarakis, A. Ferrone, A. & Krein, A. (2013): Evidence of past and future changes in health-related meteorological variables across Luxembourg. *Air Qual Atmos Health*. Springer. DOI 10.1007/s11869-013-0229-4, Springer.

Junk, J., M. Jonas and M. Eickermann (2014). Assessing meteorological key factors on crop invasion by pollen beetle – past observations and future perspectives. 8. BIOMET, Dresden, Germany, Technische Universität Dresden.

Junk, J., M. Jonas and M. Eickermann (2015a). "Assessing meteorological key factors influencing crop invasion by pollen beetle (*Meligethes aeneus* F.) - past observations and future perspectives." *Meteorologische Zeitschrift*: 8.

Junk, J., B. Ulber, S. Vidal and M. Eickermann (2015b). "Assessing climate change impacts on the rape stem weevil, *Ceutorhynchus napi* Gyll., based on bias- and non-bias-corrected regional climate change projections." *Int J Biometeorol* 59(11): 1597-1605.

Junk, J., Kouadio, L., Delfosse, P. & El Jarroudi, M. (2015c): Effects of regional climate change on brown rust disease in winter wheat. *Climatic Change*. 135: 439, Springer. DOI 10.1007/s10584-015-1587-8.

Junk, J., L. Kouadio, P. Delfosse and M. El Jarroudi (2016). "Effects of regional climate change on brown rust disease in winter wheat." *Climatic Change* 135(3): 439-451.

Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg (2017): Leitfaden für forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen von geschützten Waldbiotopen. Luxembourg, Luxembourg.

Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg (2015): Bewirtschaftungsplan für die luxemburgischen Anteile an den internationalen Flussgebietseinheiten Rhein und Maas (2015-2021). Luxembourg, Luxembourg.

Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, Ministère de l'Environnement (2006): Changement climatique. Agir pour un défi majeur ! – 1er Plan d'action en vue de la réduction des émissions de CO₂ (1. Nationaler Aktionsplan Klimaschutz). Luxemburg.

Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg (2013): 2. Nationaler Aktionsplan Klimaschutz. Luxemburg, Luxemburg.

Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg (2010): Ein nachhaltiges Luxemburg für mehr Lebensqualität. Luxemburg, Luxemburg.

Matzarakis, A., Rammelberg, J. & Junk, J. (2013): Assessment of thermal bioclimate and tourism climate potential for central Europe—the example of Luxembourg. *Theor Appl Climatol*, 114:193–202.

Maixner, M. (2014): Klimabedingte neue Risiken durch Schadorganismen im Weinbau. In: Lozán, J.L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Auflage. Elektron. Veröffentl. (Kap.4.10) - www.warnsignale.uni-hamburg.de.

McCallum, S., Dworak, T., Prutsch, A., Kent, N., Mysiak, J., Bosello, F., Klostermann, J., Dlugolecki, A., Williams, E., König, M., Leitner, M., Miller, K., Harley, M., Smithers, R., Berglund, M., Glas, N., Romanovska, L., van de Sandt, K., Bachschmidt, R., Völler, S. & Horrocks, L. (2013): Support to the development of the EU Strategy for Adaptation to Climate Change: Background report to the Impact Assessment, Part I – Problem definition, policy context and assessment of policy options. Environment Agency Austria, Vienna, Austria.

Ministerium für Umwelt, Forst und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (2007): Klimabericht Rheinland-Pfalz. Mainz, Deutschland.

Ministerium für Inneres und Sport des Saarlandes (2012): Klimawandel und Raumentwicklung im Saarland: Abschlussbericht des Saarländischen Interreg IV B-Projektes „C-CHANGE – CHANGING CLIMATE, CHANGING LIVES“, Saarbrücken, Deutschland.

Ministerium für Umwelt Saarland (2008): Saarländisches Klimaschutzkonzept 2008 - 2013 Das Klima schützen – die Klimafolgen bewältigen. Saarbrücken, Deutschland.

Ministère de l'Environnement (2017): Plan national protection nature 2017 - 2021. Luxemburg, Luxemburg.

Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2011a): Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique. Luxemburg, Luxemburg.

Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2011b): Plan national pour un développement durable. Deutsche Kurzfassung. Luxemburg, Luxemburg.

Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2012): Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung in Luxemburg. Luxemburg, Luxemburg.

Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2013): Plan national pour la protection de la nature Plans d'actions habitats 2013. Luxemburg, Luxemburg.

Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2015): Hochwasserrisikomanagementplan für das Großherzogtum Luxemburg. Luxemburg, Luxemburg.

Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des consommateurs (2016): Die luxemburgische Landwirtschaft in Zahlen. Luxemburg, Luxemburg.

Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2016): COMMUNIQUE DE PRESSE Mieux valoriser et protéger nos forêts. Luxembourg, Luxembourg.

Molitor, D., Caffarra, A., Sinigoj, P., Pertot, I., Hoffmann, L. & Junk, J. (2014a): Late frost damage risk for viticulture under future climate conditions: a case study for the Luxembourgish winegrowing region. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 20, 160–168.

Molitor, D., Ferrone, A. & Junk, J. (2014b): Einfluss des Klimas auf den Weinbau im oberen Moseltal. *Weinbau* 11, 26-28.

Mücke, H.G. (2014): Gesundheitliche Auswirkungen von atmosphärisch beeinflussten Luftverunreinigungen. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & Jendritzky, G. (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Auflage.

National Climate Commission (2010): *Belgian National Climate Change Adaptation Strategy*. Brussels, Belgium.

Ntegeka, V., Willems, P., Baguis, P. & Roulin, E. (2009): Climate change impact on hydrological Extremes along rivers and urban drainage systems in Belgium. Leuven: K.U.Leuven—Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium.

Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (2007): *Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique*. Paris, France.

OECD (2013): *Water and Climate Change Adaptation: Policies to Navigate Uncharted Waters*, OECD Studies on Water, OECD Publishing.

Panos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meuburger, K., Montanarella, L. & Alewell, C. (2015): The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*, 54, pp. 438 – 447.

The TIR Consulting Group LLC (2016): *3rd Industrial Revolution Strategy*, Luxembourg, Luxembourg.

Trnka, M., Kersebaum, K.C., Eitzinger, J., Hayes, M., Hlavinka, P., Svoboda, M., Dubrovský, M., Semerádová, D., Wardlaw, B.D., Pokorný, E., Možný, M., Wilhite, D.A. & Žalud, Z. (2013) "Consequences of climate change for the soil climate in Central Europe and the central plains of the United States". Drought Mitigation Center Faculty Publications. Paper 16. University of Nebraska – Lincoln.

Umweltbundesamt (2015): *Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. Bericht der interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Dessau-Roßlau, Deutschland.

UNFCCC (2015): *Paris Agreement*. Paris, Frankreich.