

Andrea R. Pluess, Sabine Augustin und Peter Brang
(Redaktion)

Wald im Klimawandel

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf

Andrea R. Pluess, Sabine Augustin und Peter Brang
(Redaktion)

Wald im Klimawandel

Grundlagen für Adaptationsstrategien

Haupt Verlag

Zitierung

Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Red.), 2016. Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 447 S.

Zitierung einzelner Kapitel

Kapitelautoren, 2016. Kapiteltitel. In: Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Red.), Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. x-y.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache erhältlich (ISBN 978-3-258-07996-7):

Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Réd.), 2016. Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne; Institut fédéral de recherches WSL, Birmensdorf; Haupt, Berne, Stuttgart, Vienne. 455 p.

Die Originalsprache ist Deutsch.

Die Kapitel durchliefen ein wissenschaftliches Begutachtungsverfahren.

Andrea R. Pluess

Dr. Phil., dipl. Biologin, Universität Basel

Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel»

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf

Sabine Augustin

Dr. forest., Dipl.-Ing. agr., Universität Göttingen

Leiterin des Forschungsprogramms «Wald und Klimawandel»

Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

Peter Brang

Dr. sc. nat. ETH, dipl. Forstingenieur, ETH Zürich

Leiter des Forschungsprogramms «Wald und Klimawandel»

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf

1. Auflage 2016

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-258-07995-0

Alle Rechte vorbehalten.

Copyright © 2016 by Haupt, BAFU, WSL

Jede Art der Vervielfältigung ohne Genehmigung des Verlages ist unzulässig.

Lektorat: Martin Moritzi, Lisa Bose, WSL

Korrektur: Claudia Bislin

Gestaltung und Layout: Sandra Gurzeler, Jacqueline Annen, WSL

Gestaltung Umschlag: Daniela Vacas, Haupt

Umschlagbilder: Simon Speich, Ueli Meier, Lorenz Walther, Ueli Ryter, Markus Bolliger, Ulrich Wasem

Printed in Germany

www.haupt.ch

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
Dank	9
1	<hr/>
Eine Schweizer Forschungsinitiative zum Wald im Klimawandel	13
Peter Brang, Sabine Augustin, Julia Born und Andrea R. Pluess	
2	<hr/>
Klima, Wasserhaushalt und Nährstoffkreisläufe	21
2.1 Klimawandel in der Schweiz – Entwicklung waldrelevanter Klimagrössen	23
Jan Remund, Georg von Arx, Laure Gallien, Martine Rebetez, Barbara Huber und Niklaus E. Zimmermann	
2.2 Wasserhaushalt von Wäldern bei zunehmender Trockenheit	39
Martin Scherler, Jan Remund und Lorenz Walthert	
2.3 Nährstoffflüsse im Wald mit Fokus auf Stickstoff und basische Kationen	61
Peter Waldner, Sabine Braun, Daniel Kurz und Anne Thimonier	
3	<hr/>
Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald	75
3.1 Ökophysiologie: Reaktionen von Waldbäumen auf Klimaänderungen	77
Matthias Arend, Sabine Braun, Alexandre Buttler, Rolf T.W. Siegwolf, Constant Signarbieux und Christian Körner	
3.2 Genetische Variation und lokale Anpassung bei Waldbaumarten im Zeichen des Klimawandels	93
Felix Gugerli, Aline Frank, Christian Rellstab, Andrea R. Pluess, Barbara Moser, Matthias Arend, Christoph Sperisen, Thomas Wohlgemuth und Caroline Heiri	
3.3 Verjüngung von Buche und Fichte im Klimawandel	115
Thomas Wohlgemuth, Laure Gallien und Niklaus E. Zimmermann	
3.4 Wachstum von Einzelbäumen: das Klima als Baustein im komplexen Wirkungsgefüge	137
Brigitte Rohner, Sabine Braun, Pascale Weber und Esther Thürig	
3.5 Potenzielle Grundflächenveränderungen auf Bestandesebene im Klimawandel	157
Nicolas Bircher, Maxime Cailleret, Andreas Zingg und Harald Bugmann	
3.6 Mortalität von Waldbäumen: Ursachen und Trends	177
Sophia Etzold, Jan Wunder, Sabine Braun, Brigitte Rohner, Christof Bigler, Meinrad Abegg und Andreas Rigling	
3.7 Baumartenverbreitung und Standorteignung	199
Niklaus E. Zimmermann, Dirk R. Schmatz, Laure Gallien, Christian Körner, Barbara Huber, Monika Frehner, Meinrad Küchler und Achilleas Psomas	

3.8	Potenzielle Entwicklung der Waldbrandgefahr im Klimawandel Gianni Boris Pezzatti, Antonella De Angelis und Marco Conedera	223
3.9	Borkenkäfer und Befallsdisposition der Fichte im Klimawandel Oliver Jakoby, Golo Stadelmann, Heike Lischke und Beat Wermelinger	247
4	Auswirkungen des Klimawandels auf die Waldleistungen	267
4.1	Auswirkungen des Klimawandels auf Schutzwald und Naturgefahren Peter Bebi, Harald Bugmann, Peter Lüscher, Benjamin Lange und Peter Brang	269
4.2	Auswirkungen des Klimawandels auf Bergwaldvogelarten Kurt Bollmann und Veronika Braunisch	287
4.3	Ökonomische Beurteilung waldbaulicher Strategien zur Bewältigung des Klimawandels im Schweizer Mittelland Bernhard Pauli, Barbara Stöckli, Niels Holthausen und Christian Rosset	311
5	Managementoptionen zur Milderung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Waldleistungen	339
5.1	Waldbauliche Strategien im Klimawandel Peter Brang, Christian Kuchli, Raphael Schwitter, Harald Bugmann und Peter Ammann	341
5.2	Erhaltung genetischer Ressourcen im Schweizer Wald – heutige Situation und Handlungsbedarf angesichts des Klimawandels Christoph Sperisen, Andrea R. Pluess, Matthias Arend, Peter Brang, Felix Gugerli und Caroline Heiri	367
5.3	Potenzial von Gastbaumarten bei der Anpassung an den Klimawandel Peter Brang, Andrea R. Pluess, Anton Bürgi und Julia Born	385
5.4	Wissensaustausch und Controlling als Schlüsselfaktoren eines adaptiven Waldmanagements Nora Zürcher-Gasser, Kathrin Kühne, Jean-Jacques Thormann, Christoph Küffer, Raphael Schwitter, Samuel Zürcher und Monika Frehner	407
6	Kernaussagen und Empfehlungen zum Wald im Klimawandel Andrea R. Pluess, Sabine Augustin und Peter Brang	421
7	Anhang Projektliste	441

Vorwort

Der Klimawandel läuft mit einer Geschwindigkeit ab, die Zweifel aufkommen lässt, ob sich die Wälder über natürliche Prozesse genügend rasch an die veränderten Verhältnisse anpassen und ihre Funktionen dauernd erfüllen können. In der Schweiz beträgt die Erwärmung seit Beginn der Industrialisierung bereits rund 1,8°C, und der mit dem Klimaabkommen von Paris angestrebte Schwellenbereich von global 1,5 bis 2°C wird für die Schweiz zu einer weiteren Erwärmung von 1 bis 2°C führen. Für den Wald bedeutet dies, dass sich der Klimawandel deutlich auswirken wird, selbst wenn die im Rahmen der internationalen Klimaverhandlungen angestrebten Ziele erreicht werden. Der Aktionsplan des Bundesrates zur Anpassung an den Klimawandel (BAFU 2014) hält denn auch fest, dass Bäume, die heute keimen, bereits in mittlerem Alter in einem stark veränderten Klima leben werden.

Mittel- bis langfristig sind daher wichtige Waldleistungen gefährdet. Um die Anpassung des Waldes zu unterstützen und die Erhaltung aller Waldleistungen abzusichern – die Schutzwirkungen des Waldes, die wichtiger werdende Rohstoff- und Energieversorgung, die Funktion als Hort der Biodiversität sowie weitere Leistungen –, sind waldbauliche Strategien nötig, welche eine Überführung des Waldes in die neuen Klimabedingungen erleichtern. Daher haben das Bundesamt für Umwelt und die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 2009 das Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» gestartet. Das Programm hat zum Ziel, für die vielfältigen Waldstandorte in der Schweiz Grundlagenwissen zu erarbeiten, damit die Akteure – Forstdienste, Betriebsleitende, Waldeigentümer und Waldeigentümerinnen, politische Entscheidungsträger – die mit dem Klimawandel verbundenen Risiken besser einschätzen sowie Verjüngung und Pflege der Wälder auf erhöhte Anpassungsfähigkeit und Resilienz ausrichten können.

Das vorliegende Buch ist die wissenschaftliche Synthese dieses Forschungsprogramms. Es präsentiert die gewonnenen Resultate, die auch mit der internationalen Forschung verknüpft und abgeglichen sind, in Form von Themenbeiträgen. An den mehr als 40 Forschungsprojekten waren nebst der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) auch die Universität Basel, die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), das Paul Scherrer Institut (PSI), die Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), das Institut für angewandte Pflanzenbiologie (IAP), die Firma Meteotest sowie mehrere Ingenieurbüros beteiligt.

Die Forschungsprojekte und die Synthese zeigen uns auf, in welchem Rahmen sich der Klimawandel auf den Wald und dessen Leistungen auswirken wird. Dies ist die Basis zur Entwicklung praktischer Empfehlungen für Baumartenwahl und Waldbau, die geeignet sind, die diversen Waldfunktionen auch in Zukunft sicherzustellen. Die Resultate bilden zudem die Grundlage zur Beantwortung konkreter Fragen wie zum Beispiel zu den Risiken des Klimawandels für die Fichte oder zum Einsatz von Gastbaumarten.

Das Forschungsprogramm Wald und Klimawandel wird 2017 abgeschlossen und ist im Zusammenhang mit der Verminderung des Klimawandels und der Anpassung an dessen Auswirkungen von zentraler Bedeutung. Die Erkenntnisse tragen zur Umsetzung der Strategie des Bundesrates zur Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz (BAFU 2012 a), zur Waldpolitik 2020 (BAFU 2013) und zur Strategie Biodiversität Schweiz (BAFU 2012 b) bei. Sie

Vorwort

dienen der Umsetzung des Artikels 28a, *Vorkehrungen zum Klimawandel*, den das Parlament mit der Revision im Frühling 2016 neu in das Waldgesetz aufgenommen hat.

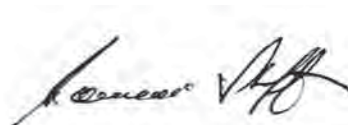
Trotz dem Erkenntnisgewinn aus dem Forschungsprogramm werden Unsicherheiten bleiben, die sich nur schon daraus ergeben, dass verschiedene Klimaszenarien möglich sind. Mit fortschreitendem Klimawandel werden sich weitere Fragen stellen, die es wissenschaftlich zu klären gilt. Dabei wird intensives Monitoring im Wald unerlässlich sein, das Auskunft über den Waldzustand und dessen Entwicklung gibt.

Das vorliegende Buch lässt den hohen Einsatz von menschlichen und finanziellen Ressourcen nur erahnen, der in der Forschung und Koordination des Programms geleistet wurde. Dafür sei allen Beteiligten sehr herzlich gedankt!



Josef Hess

Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt BAFU



Konrad Steffen

Direktor
Eidgenössische Forschungsanstalt für
Wald, Schnee und Landschaft WSL

Literatur

- BAFU, 2012 a. Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 66 S.
- BAFU, 2012 b. Strategie Biodiversität Schweiz. Ausarbeitung einer Strategie zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 89 S.
- BAFU, 2013. Waldpolitik 2020. Visionen, Ziele und Massnahmen für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 68 S.
- BAFU, 2014. Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2014–2019. Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates vom 9. April 2014. Bundesamt für Umwelt, BAFU, Bern. 100 S.