

Hitzesommer 2003

Synthesebericht

sc | nat 

ProClim—
Forum for Climate and Global Change
Platform of the Swiss Academy of Sciences

Partner:

OcCC

Organe consultatif sur les changements climatiques
Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung

sc | nat 

GEOforumCH
Forum Geosciences
Platform of the Swiss Academy of Sciences

sc | nat 

ACP
Atmospheric Chemistry and Physics
A Commission of the Swiss Academy of Sciences

Herausgeber und Vertrieb:
ProClim-
Forum for Climate and Global Change
Platform of the Swiss Academy of Sciences
Schwarztorstrasse 9 | CH-3007 Bern
T (+41 31) 328 23 23 | F (+41 31) 328 23 20
proclim@scnat.ch | www.proclim.ch

Abbildungen Titelseite:
Grosses Bild: Christoph Schär (vgl. Abbildung 4, Seite 10)
Kleine Abbildung, links: Jürg Luterbacher et al. (vgl. Abbildung 3, Seite 9)
Kleine Abbildung, rechts: Mark Liniger, MeteoSchweiz (vgl. Abbildung 1, Seite 7)

Druck: Druckzentrum Vögeli AG, Langnau i.E.
Auflage: 2000 Ex. deutsch, 500 Ex. französisch

Bern, November 2005

ISBN-Nummer: 978-3-907630-16-7

Hitzesommer 2003

Synthesebericht

Basierend auf den Referaten und Beiträgen
zum Forum Hitzesommer 2003 vom 7. Juli 2005
sowie weiteren Forschungsarbeiten und Berichten zum Thema

Impressum

Projektleitung

Urs Neu ProClim-, Bern
Esther Thalmann ProClim-, Bern

Redaktion

Esther Thalmann ProClim-, Bern

Unter Mitarbeit von

Christof Appenzeller	MeteoSchweiz, Zürich
Stephan Bader	MeteoSchweiz, Zürich
Charlotte Braun-Fahrländer	Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel
Conradin A. Burga	Geographisches Institut, Universität Zürich
Claudio Defila	MeteoSchweiz, Zürich
Matthias Dobbertin	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf
Roland Engesser	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf
Jürg Fuhrer	Agroscope FAL Reckenholz, Zürich
Markus Furger	Paul Scherrer Institut, Villigen
Madeleine S. Günthardt-Goerg	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf
Wilfried Haerberli	Geographisches Institut, Universität Zürich
Erika Hiltbrunner	Botanisches Institut, Universität Basel
Adrian Jakob	Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern-Ittigen
Thomas Jankowski	EAWAG, Dübendorf
Caroline Kan	Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern-Ittigen
Hans-Rudolf Keusen	Geotest AG, Zollikofen
Ronald Kozel	Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern-Ittigen
Mark Liniger	MeteoSchweiz, Zürich
Jürg Luterbacher	Geographisches Institut, Universität Bern
Markus Nauser	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
Urs Neu	ProClim-, Bern
Rolf Philipona	MeteoSchweiz, Payerne
André S. Prévôt	Paul Scherrer Institut, Villigen
Martine Rebetez	Institut fédéral de recherches WSL, Antenne romande, Lausanne
Andreas Rigling	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf
Christoph Schär	Institut für Atmosphäre und Klima, ETH Zürich
Marc Schürch	Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern-Ittigen
Cornelia Schwierz	Institut für Atmosphäre und Klima, ETH Zürich
Pierre Vollenweider	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf
Daniel Vonder Mühl	Ressort Forschung, Universität Basel

Layout

Esther Thalmann ProClim-, Bern

Übersetzung ins Französische

Jean-Jacques Dätwyler Sciencepress, Wabernstrasse 34, 3007 Bern

Der vorliegende Bericht wurde am 31. August 2005 von ProClim-, OcCC, GeoForumCH und ACP gutgeheissen.

Inhalt

Einleitung	4
1. Einordnung des Hitzesommers 2003	5
2. Gewässer und Wasserversorgung	8
3. Gletscher und Permafrost	11
4. Luftqualität	14
5. Gesundheitliche Auswirkungen	16
6. Vegetation	18
7. Landwirtschaft	20
8. Produktion von elektrischer Energie	21
9. Blick in die Zukunft	22
10. Zusammenfassung und Empfehlungen	23
Literatur	26

Einleitung

Der Rekordsommer 2003 war gesamteuropäisch sehr wahrscheinlich der heisseste seit mindestens 500 Jahren. Die Temperaturen lagen in der Schweiz und in grossen Teilen Mitteleuropas 3 bis 5 °C über dem langjährigen Mittelwert. Dazu kam eine ausserordentliche Trockenheit, die vielerorts das Jahr vom Februar bis in den November hinein prägte.

Klimamodelle zeigen, dass solche Sommer in Mitteleuropa schon in einigen Jahrzehnten deutlich häufiger oder sogar regelmässig auftreten könnten. Es ist wahrscheinlich, dass bereits gegen Ende dieses Jahrhunderts jeder zweite Sommer so heiss oder noch heisser ausfallen wird als der Sommer 2003. Dieser Bericht wirft einen Blick auf die Konsequenzen der Hitzeperiode, um in Zukunft für vergleichbare Wetterextreme besser gewappnet zu sein.

Der vorliegende Synthesebericht gibt einen Überblick über die wichtigsten Auswirkungen auf die Schweiz, wobei vorwiegend die negativen Folgen diskutiert werden. Er beruht auf Forschungsarbeiten zum Thema, welche bereits verfügbar sind und erhebt daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen werden sich weiterhin mit dem Phänomen des Hitzesommers 2003 befassen. Dieser Bericht bietet eine erste Übersicht über Schwerpunkte und soll das Interesse an weiterführenden Forschungsarbeiten wecken.

Der erste Abschnitt dient der Einordnung des Sommers 2003. Die Rekonstruktion der Klimageschichte zeigt, wie extrem der Hitzesommer tatsächlich war. Anhand von Klimamodellen lässt sich ausserdem aufzeigen, wie wahrscheinlich das Auftreten eines vergleichbaren Sommers ist respektive in Zukunft sein wird. Es stellt sich die Frage nach dem Zusammenhang zur Klimaänderung und dem menschlichen Einfluss.

Im zweiten und dritten Abschnitt werden die Auswirkungen auf den Wasserkreislauf dargelegt. Zunächst stellt sich die Frage nach der Wasserqualität und den Wassermengen in Flüssen, Seen und im Grundwasser, den Folgen für die Fischbestände sowie die Wasserversorgung. Für die mittel- und langfristige Sicherstellung der Wasserversorgung sind die Gletscher ein wichtiger Faktor, deren Rückzug im Jahr 2003 einen vorläufigen Höhepunkt erreichte.

Der vierte Abschnitt widmet sich der Luftqualität. Extrem hohe Ozonwerte haben massive Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Die

Folgen der Hitze und der belasteten Luft auf den Menschen werden im fünften Abschnitt diskutiert. Auch wenn für die Schweiz keine abschliessende Analyse der Todesursachen vorliegt, ist die Zahl von nahezu 1000 hitzebedingten Todesfällen in der Schweiz und einem Vielfachen davon in Europa alarmierend.

Nicht nur für den Menschen ist die Hitze ungewohnt – auch bei der Vegetation finden Veränderungen statt. Sie werden im sechsten Abschnitt angesprochen. Im siebten Abschnitt wird spezifisch auf die landwirtschaftliche Produktion eingegangen: Dass Hitze und Trockenheit Ernteaufträge zur Folge hatten, leuchtet ein. Mit Hilfe zahlreicher Massnahmen auf Bundes- und Kantonebene wurde versucht, Härtefälle zu verhindern respektive die Auswirkungen zu mildern.

Der achte Abschnitt fasst die Auswirkungen auf die Stromproduktion zusammen. Auswertungen zum Einfluss auf weitere Wirtschaftszweige, wie zum Beispiel auf den Tourismus, liegen zur Zeit nicht vor. Auch dort sind grundsätzlich Auswirkungen zu erwarten, wie eine englische Studie [1] zeigt, die den Einfluss extremer Wetterbedingungen auf die Wirtschaft – unter anderem auf den Tourismus- und Energiesektor – untersuchte.

Die beiden letzten Abschnitte befassen sich mit den Zukunftsaussichten und möglichen Konsequenzen aufgrund der Erfahrungen aus dem Hitzesommer 2003. Massnahmen auf öffentlicher und auf individueller Ebene können dazu beitragen, die negativen Folgen zukünftiger Hitzewellen zu mildern.

1. Einordnung des Hitzesommers 2003

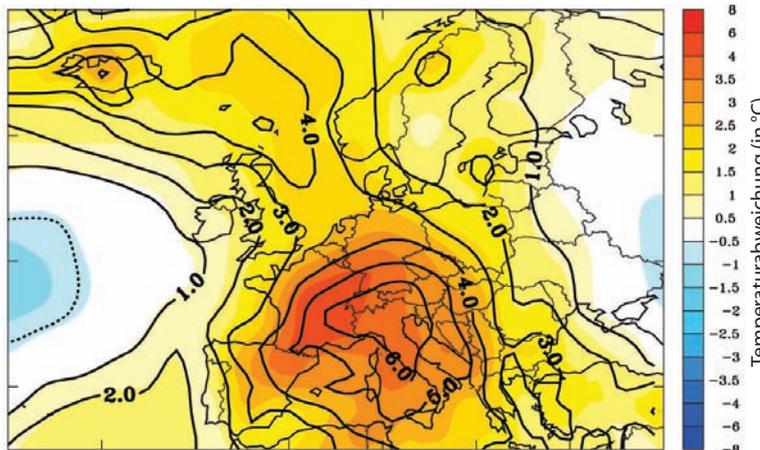


Abbildung 1: Abweichung der durchschnittlichen Sommertemperaturen (Juni, Juli, August) vom Mittel der Zeitperiode 1961–1990 (in °C) in Europa. Die Konturlinien zeigen die Anomalie als Anzahl der Standardabweichungen des Zeitraums 1961–1990.

Quelle: Mark Liniger, MeteoSchweiz

Überdurchschnittlich heiss und trocken

Der Hitzesommer 2003 war in grossen Teilen Europas ein Extremereignis jenseits aller Erfahrungswerte (Abbildung 1). Auch wenn die Unsicherheiten in Bezug auf die Klimainformationen früherer Jahrhunderte berücksichtigt werden, war der Sommer 2003 gesamteuropäisch mit grosser Wahrscheinlichkeit der wärmste seit mindestens 500 Jahren [2,3]. Eine neue Rekonstruktion der Sommertemperaturen in den Hochlagen der Alpen zeigt, dass der Sommer 2003 wahrscheinlich auch der wärmste des letzten Jahrtausends war [4]. In der Schweiz lagen die Temperaturen des meteorologischen Sommers (Mittel der Monate Juni, Juli und August) 4.0 bis 5.5 °C über den durchschnittlichen Sommertemperaturen der Jahre 1864–2003. Die heissesten Sommer in den Messreihen wurden um 2 bis 3 °C übertroffen [5,6] (Abbildung 2). Gesamteuropäisch waren auch die einzelnen Monate Juni, Juli und August die wärmsten seit mindestens 1659 [2], wobei die Monatsmitteltemperaturen auch deshalb so extrem hoch ausfielen, weil die Hitze mit den Kalendermonaten Juni und August zusammenfiel [5,6]. Während der Nacht wichen die Temperaturen an den tiefstgelegenen Messstandorten am meisten von den Normalwerten ab. Am Nachmittag wurden die höchsten Temperaturen an Orten mit der längsten Sonnenscheindauer erreicht [7].

In der Klimatologie wird unterschieden zwischen längeren Hitzeperioden und einzelnen Hitzewellen. Der Sommer 2003 als Ganzes stellt eine Hitzeperiode dar. Eine Hitzewelle beschreibt eine zusammenhängende Sequenz von mehreren Tagen, an welchen ein bestimmter Schwellenwert

(z.B. 28 °C) überschritten wird, wie dies beispielsweise während der ersten zwei Augustwochen der Fall war. Der Sommer 2003 hat in grossen Teilen Europas für Hitzeperioden wie auch für Hitzewellen neue Massstäbe gesetzt.

Der Sommer 2003 war nicht nur ausserordentlich heiss, sondern auch sehr trocken. Im Kontext der letzten 500 Jahre war der Sommer 2003 im weiteren Alpenraum der trockenste [8]. Betroffen waren vor allem Frankreich, Italien, Deutschland, die Schweiz, Österreich, Slowenien, Belgien und die Slowakei. Allerdings war die Trockenheit nicht nur ein Phänomen des Sommers, sondern begann bereits im Februar. Die Niederschlagsarmut hielt in den nachfolgenden Monaten praktisch unvermindert an [5,6]. In der Schweiz lagen die Niederschlagsmengen vom Februar an unter dem langjährigen Durchschnitt und erreichten im Juni nur die Hälfte. Die dadurch stark verminderte Verdunstung verstärkte die Erwärmung der Luft zusätzlich [9]. Weite Gebiete der Schweiz erhielten erst im Oktober deutlich überdurchschnittliche Niederschlagsmengen [5,6]. Im Tessin und in den Bündner Südtälern fielen erst im November und Dezember überdurchschnittliche Mengen. Die Sonnenscheindauer war im Jahre 2003 nicht nur im Sommer, sondern an den meisten Schweizer Wetterstationen jeden Monat überdurchschnittlich [10].

Meteorologisch lassen sich Hitze und Trockenheit zwischen Mai und Oktober 2003 durch die grosse Häufigkeit von Subtropen-Hochdruckgebieten über Mitteleuropa erklären, welche das Wetter über dem Kontinent fast permanent prägten. Die atlantischen Störungszonen wurden weit nach Norden umgelenkt und gelangten nur vereinzelt

Wie extrem war der Sommer 2003?

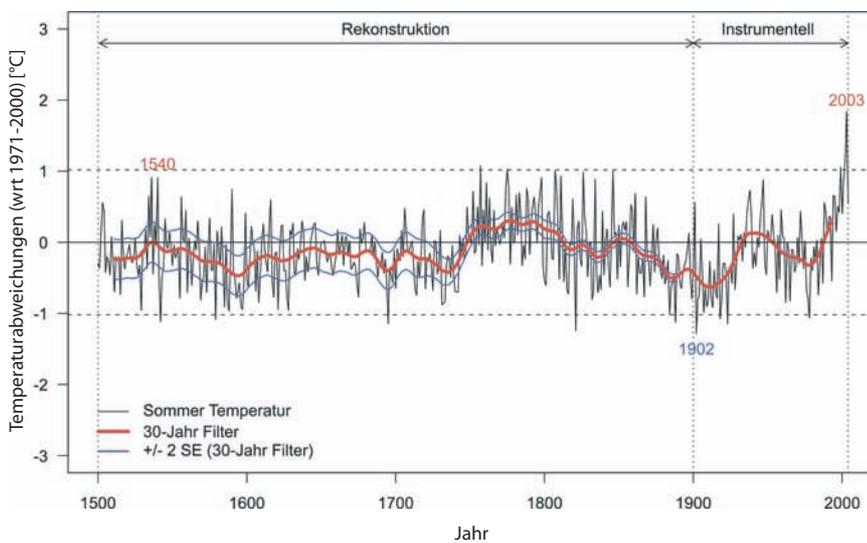
Instrumentelle Temperaturmessreihen gibt es für die Schweiz seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts [12]. Durch die Kombination gemessener Daten seit 1900 mit natürlichen Klimainformationen (Baumringen) und historischen Klimaaufzeichnungen existieren inzwischen Temperaturrekonstruktionen für Europa und den Alpenraum für den Zeitraum ab 1500 [2,13].

Die Darstellung der rekonstruierten (1500–1900) und gemessenen Sommertemperaturen (1901–2004) zeigt, dass die gesamteuropäischen Sommertemperaturen zwischen 1500 und 1750 unter jenen der Periode 1971–2000 lagen. Nach einer

wärmeren Phase um 1800 folgte wiederum eine Abkühlung bis Anfang des 20. Jahrhunderts. Die Erwärmung im 20. Jahrhundert erfolgte in zwei Phasen: in einer ersten Phase zwischen ca. 1910 und 1940 und in einer zweiten Phase seit den 70er Jahren [2,13].

Der Hitzesommer 2003 war gesamteuropäisch um 2 °C wärmer als das Mittel von 1971–2000 und schlug damit alle Rekorde (Abbildung 3). Auch wenn die Unsicherheiten in der Temperaturrekonstruktion berücksichtigt werden, war der Sommer 2003 mit grosser Wahrscheinlichkeit der wärmste seit mindestens 500 Jahren.

Abbildung 3: Mittlere Sommertemperaturen Europas 1500–2004, dargestellt als Abweichungen von der Zeitperiode 1971–2000 (in °C). Die Daten von 1901–2004 basieren auf instrumentellen Messungen, bei den Daten 1500–1900 handelt es sich um statistische Rekonstruktionen. Die rote Kurve stellt geglättete Werte dar, die blaue Kurve markiert Unsicherheiten der Rekonstruktionen. Der kälteste und wärmste europäische Sommer sind blau und rot gekennzeichnet. Der bekannte heisse Sommer 1540 ist als Beispiel ebenfalls markiert.



Quelle: Luterbacher et al. 2004, aktualisiert [2,3]

2. Gewässer und Wasserversorgung

Oberflächengewässer

Pegelstände und Abflüsse

Der Einfluss von Hitze und Trockenheit auf die Wasserstände unterscheidet sich je nach Einzugsgebiet. In Gewässern mit glazialen Einfluss erhöht die verstärkte Gletscherschmelze die Wasserstände gegenüber durchschnittlichen Jahren. In allen anderen Gewässern ist der Faktor Trockenheit ausschlaggebend für den Wasserstand. In Einzugsgebieten mit grossen Grundwasserspeichern und/oder Seen sowie bei Schneerücklagen kann sich der Rückgang der Wasserstände bei ausbleibenden Niederschlägen verzögern oder er ist kaum erkennbar. Wie sich eine trockene Phase auf ein Gewässer auswirkt, ist auch stark abhängig von der Vorgeschichte. Sind die Grundwasserspeicher von vorgängigen Niederschlägen gut gefüllt, fallen die Wasserstände erst nach längeren Trockenphasen auf ausserordentliche Werte.

Tatsächlich lagen die Jahresmittel 2003 der Abflussmessstationen in Gewässern mit glazialen Einfluss über dem Durchschnitt, da die Hitzeperioden im Juni und August zu einer starken Gletscherschmelze führten. In Gebieten ohne Vergletscherung lagen die Jahresabflüsse dagegen deutlich unter der Norm. Der Einfluss der Schneeschmelze in mittleren Höhenlagen (1000 bis 2000 m) nahm rasch ab, da die Schneedecke dort unterdurchschnittlich war und bereits während der milden Phasen im März und April aufgetaut. Die anhaltende Trockenheit bis in den Herbst – abgesehen von einigen kräftigen Gewittern im Juli und August – hatte in den meisten Regionen einen starken Rückgang der Abflüsse zur Folge. Erst im Oktober bewirkten ergiebige Niederschläge eine Normalisierung auf der Alpennordseite. Von der Trockenheit noch stärker betroffen war die Alpensüdseite, wo teilweise bereits ab März extrem kleine Abflüsse beobachtet wurden und erst im November grössere Niederschlagsmengen fielen [6].

Die Seen wurden durch die Witterungsverhältnisse im 2003 in derselben Weise geprägt wie die Fliessgewässer, wobei der Seespeicher eine dämpfende Wirkung hat. Je grösser der See, desto ausgeprägter ist dieser Effekt. Abgesehen vom Walensee und vom Bodensee werden alle grösseren Schweizer Seen reguliert, was eine zusätzlich ausgleichende Wirkung auf die Pegelstände hat. Dennoch wurden – auch in regulierten Seen – einige aussergewöhnlich niedrige Pegelstände beobachtet. Stark betroffen vom Hitzesommer

waren der Lago Maggiore, der Bodensee sowie Seen mit kleinem Speichervolumen ohne glazial geprägte Zuflüsse. Im Lago Maggiore wurden von Juni bis August extrem tiefe Pegelstände gemessen. Im Bodensee wurden im August und September die bisherigen kleinsten Monatsmittel der gesamten Messperiode ab 1866 untertroffen, mit negativen Folgen für die Schifffahrt auf dem Untersee und dem Hochrhein [6].

Seetemperaturen und Sauerstoffgehalt

Nicht nur die Pegelstände der Seen wurden durch Hitze und Trockenheit geprägt, sondern auch Temperaturprofile und Sauerstoffgehalt. Vergleichende Messungen im Zürichsee und im Greifensee haben gezeigt, dass je nach Grösse des Gewässers sowie Nährstoff- und Sauerstoffgehalt die Reaktion auf hohe Temperaturen unterschiedlich ausfällt. Der Zürichsee hat als mittelgrosses, tiefes Gewässer einen mittleren Nährstoffgehalt, der viel kleinere und seichtere Greifensee ist hingegen sehr nährstoffreich. Das Tiefenwasser nährstoffreicher Seen ist im Gegensatz zu nährstoffärmeren Seen sehr sauerstoffarm bis sauerstofffrei.

Im Zürichsee nahm zwischen Juni und September der Sauerstoffgehalt in allen Tiefen stark ab. Diese Abnahme war grösser als zu irgendeinem anderen Zeitpunkt seit Beginn der Messungen im Jahre 1936. Sogar während der Periode maximaler Eutrophierung (Nährstoffreichtum) in den 70er Jahren und anfangs der 80er Jahre erreichte die Sauerstoffabnahme nicht dieses Ausmass. Im Gegensatz dazu wurde im nährstoffreichen Greifensee kein wesentlicher Unterschied zu anderen Sommern festgestellt, da in solchen Gewässern das Tiefenwasser im Sommer regelmässig sauerstofffrei ist.

Die Messungen bestätigen die Resultate von entsprechenden seephysikalischen Simulationsmodellen. Sie sind ein wichtiger Hinweis darauf, dass die Klimaänderung die erfolgreichen Anstrengungen zur Verbesserung der menschlich verursachten Eutrophierung von Gewässern gefährdet [14].

Flusstemperaturen und Wasserqualität

Die starke Einstrahlung und die hohen Lufttemperaturen erwärmten die Fliessgewässer im Sommer zum Teil massiv, insbesondere im Jura und im Mittelland. Die erhöhten Konzentrationen von chemischen Inhaltsstoffen sowie die verstärkte bakterielle Aktivität aufgrund von Hitze und

Trockenheit verursachten keine nachweisbaren Probleme. Der Betrieb der Abwasserreinigungsanlagen wurde von der ausserordentlichen Witterung eher positiv als negativ beeinflusst. Hinweise über besondere hygienische Probleme in Badegewässern als Folge der hohen Wassertemperaturen bei gleichzeitig tiefen Wasserständen und Abflussmengen liegen ebenfalls keine vor [6].



Abbildung 4: Töss, 28. August 2003, Bild: C. Schär

Folgen für die Fischbestände

Hitze und Trockenheit setzen den Fischen in zweifacher Hinsicht zu: Erstens leiden sie unter den sinkenden Wasserständen, die im Extremfall bis zum Trockenfallen von Gewässern führen können (Abbildung 4). Zweitens können sich steigende Wassertemperaturen für kaltwasserliebende Fischarten, z.B. Forellen, Felchen und Äschen, lebensbedrohlich auswirken, wenn sie nicht in kühlere Gewässer ausweichen können. Auch temperaturabhängige Krankheiten können zu einer erhöhten Sterblichkeit führen [6].

Die hohen Temperaturen des Sommers 2003 hatten in Gewässern ohne oder mit anteilmässig geringen vergletscherten Flächen im Einzugsgebiet sowohl extreme Niedrigwasser wie auch massiv erhöhte Wassertemperaturen zur Folge. Während in den alpinen und voralpinen Regionen nur lokale Wasserführungsprobleme auftraten, war die Situation im Mittelland und im Jura wesentlich kritischer. Insbesondere in den Kantonen Waadt, Basel-Landschaft und Zürich führte die Trockenheit zu massiven Problemen. Insgesamt trockneten 352 Fischgewässer stellenweise oder ganz aus. In mindestens 265 Gewässern wurden Notabfischungen durchgeführt, um die Fische vor dem Trockenfallen oder dem Hitzetod zu retten [6].

Massensterben der Äschen im Rhein

Besonders dramatisch wirkte sich die Erhöhung der Wassertemperaturen im Untersee und in der unterliegenden Rheinstrecke aus. Rund 52 000 Äschen und einige hundert andere Fische fielen den hohen Wassertemperaturen zum Opfer. Am 12. August 2003 wurden bei Stein am Rhein in Flussmitte fast 26 °C gemessen. Das Rekord-Fischsterben ist nur mit einem ähnlichen Vorfall im Jahr 1540 vergleichbar. Der überlebende Bestand an fangfähigen Äschen wurde auf 3% der durchschnittlichen Populationsgrösse geschätzt. Die Kantone Schaffhausen und Thurgau verordneten nach dem katastrophalen Äschensterben ein sofortiges Fangverbot für Rhein-Äschen, das später bis Ende April 2005 verlängert wurde [6].

Wasserentnahmen zur Bewässerung

Landwirtschaftliche Kulturen, die von Dürreschäden bedroht waren, wurden zum Teil bewässert. Bei Wasserentnahmen aus kleineren Fließgewässern führte dies aufgrund der häufig geringen Wasserführung zu Interessenkonflikten zwischen Bauern und dem Gewässerschutz. In zahlreichen Kantonen wurden zu bestimmten Zeiten Einschränkungen oder Verbote für die Wasserentnahme verfügt. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die Mindestwasserbestimmungen gemäss Gewässerschutzgesetz eingehalten wurden und leergepumpte Bäche die Ausnahme waren [6].

Grundwasser

Die Grundwasserstände waren zu Beginn des Jahres 2003 aufgrund der intensiven Niederschläge im Winter 2002/03 aussergewöhnlich hoch. Davon zehrten während der Trockenheit 2003 die Grundwasserleiter. In Abhängigkeit von der Art der Grundwasserleiter, der Region und der Höhenlage des Einzugsgebietes wirkte sich die Trockenheit sehr unterschiedlich aus. In den kleinen Flusstälern des Jura, des Mittellandes und des Alpenvorlandes lagen die Grundwasserstände mehrheitlich über dem langjährigen Minimum, lokal wurden jedoch auch sehr tiefe Werte erreicht. In den Talschotterebenen der kleinen Flüsse im Südtessin fielen sie von Januar bis Ende Oktober kontinuierlich und sanken unter die langjährigen Minima (Abbildung 5). In den Tälern der grossen alpinen Flüsse, wo die Grundwasserstände im Sommer generell höher liegen als im Winter, verhinderte die starke, hitzebedingte

Schnee- und Gletscherschmelze zunächst ein Absinken. Erst Ende August fielen die Grundwasserstände in diesen Gebieten markant ab. Bei kleineren Quellen, die aus oberflächennahen Grundwasservorkommen mit kleinem Einzugsgebiet in Locker- und Karstgesteinen gespeist werden, führte die Trockenheit zu einem drastischen Rückgang der Schüttung. Jura, Mittelland, Vor-alpen und Alpensüdseite waren davon betroffen. Karstquellen mit grossem Einzugsgebiet reagierten hingegen weniger stark auf die Trockenheit [6].

Wasserversorgung

Der Trinkwasserkonsum nimmt in der Schweiz seit 20 Jahren ab und liegt heute bei rund 160 Litern pro Person und Tag. Aufgrund des Wasserreichtums der Schweiz werden für die Trinkwasserversorgung nur 2% des jährlichen Niederschlags benötigt. Wird auch der Wasserverbrauch durch Haushalte, Industrie und landwirtschaftliche Bewässerung berücksichtigt, entspricht dies etwa 5% des jährlichen Niederschlags. Auch bei Trockenheit und Hitze ist die Sicherstellung der Wasserversorgung daher primär eine organisatorische Frage und nicht ein Problem knapper natürlicher Ressourcen [6].

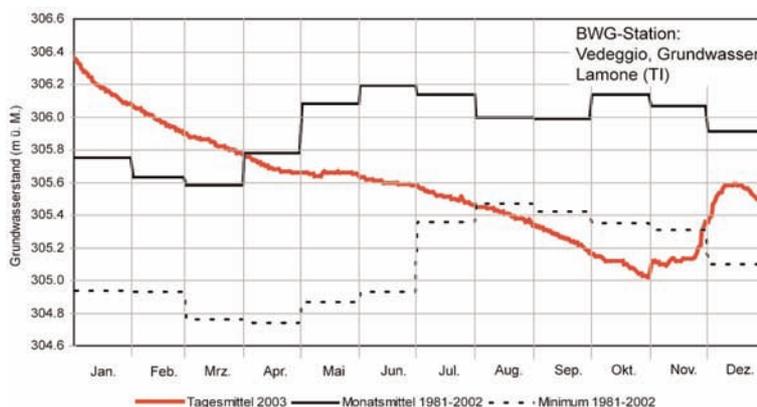
In der Schweiz stammen 80% des Trinkwassers aus Grundwasservorkommen (je 40% aus Quellen und Förderbrunnen), der Rest aus Seewasserfassungen. Insgesamt hat der Sommer 2003 die Erfahrung bestätigt, dass es bei grossen Wasserversorgungen in Grossstädten sowie bei regionalen Verbänden auch bei langen Trockenperioden kaum zu Versorgungsproblemen kommt. Die

hohe Versorgungssicherheit ist primär darauf zurückzuführen, dass sich Seewasserfassungen, Grundwasservorräte und Quelfassungen ergänzen, so dass beispielsweise ein Rückgang bei den Quellen durch eine Erhöhung des Seewasseranteils kompensiert werden kann [6].

Kleinversorgungen, die nicht vernetzt sind und von Quellwasser abhängen, hatten eher Probleme. In solchen Gebieten, z.B. in den Kantonen Waadt, Jura, Basel-Landschaft, Solothurn und Aargau, wurde die Bevölkerung zum Wassersparen aufgefordert. Besonders betroffen war der Kanton Tessin, wo die Niederschlagsdefizite vom Winter bis in den Spätherbst ununterbrochen anhielten. Für viele Kleinversorger, die nicht miteinander vernetzt sind, mussten Gemeinden zusätzliche Wasserbezugsquellen erschliessen. Ab Juni wurde das Wasser laufend knapper. Die Situation verbesserte sich erst mit den ausgiebigen Regenfällen im November. Auf dem gesamten Kantonsgebiet Tessin waren rund 50 Gemeinden betroffen [6].

Bei der Trinkwasserqualität gab es keine klimabedingten Probleme, da der erhöhte Wasserverbrauch während Hitzeperioden die Verweilzeit im Leitungsnetz und dadurch die Vermehrung allfälliger vorhandener Keime reduziert. Bei der Fassung des Rohwassers kann das Ausbleiben von Starkniederschlägen gar zu einer Reduktion der Quellverschmutzungen führen. Umgekehrt können heftige Niederschläge auf völlig ausgetrockneten Böden vermehrt Schadstoffe und Fäkalbakterien in kleine Wasserfassungen schwemmen. Qualitätsprobleme bei der Rohwasserfassung traten jedoch nur vereinzelt und lokal auf [6].

Abbildung 5: Vergleich des Grundwasserstandes in Lamone TI (Station des Bundesamtes für Wasser und Geologie BWG) zwischen dem Monatsmittel 1981–2002 (schwarz), dem minimalen Wert im gleichen Zeitraum (schwarz gestrichelt) und dem Tagesmittel 2003 (rot). Der Grundwasserstand in Lamone (Val D'Agno) lag im Oktober 2003 deutlich unter dem langjährigen Minimum.



Quelle: Bundesamt für Wasser und Geologie BWG

3. Gletscher und Permafrost

Auswirkungen auf die Alpengletscher

Die Gletscher spielen für den Wasserhaushalt der Schweiz eine wichtige Rolle: Sie speichern bedeutende Wassermengen und stellen im Sommer ein wichtiges Wasserreservoir dar. Aus der Rekonstruktion der Vorstoss- und Rückzugsphasen der alpinen Gletscher ist bekannt, dass Mitte des 16. bis Mitte des 19. Jahrhunderts eine Hochstandsphase herrschte. Sie wurde von einer kräftigen Abschmelzphase abgelöst. Im 20. Jahrhundert ist die Massenbilanz der alpinen Gletscher, das heisst die Grösse der Zu- oder Abnahme, insgesamt negativ [6].

Ausschlaggebend für die Massenbilanz der Gletscher ist das Zusammenspiel von Strahlung, Temperatur und Niederschlag in Abhängigkeit von der Jahreszeit. Wichtig sind die Schneefälle im Winter wie auch im Sommer. Liegt im Frühsommer Schnee auf dem Gletscher, dauert es wesentlich länger, bis das Gletschereis der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist, da eine frische Schneefläche eine viel grössere Reflexionsfähigkeit hat als Altschnee oder dunkle und schuttbedeckte Stellen im Eis. Ein zweiter wichtiger Faktor sind die Witterungsverhältnisse von Mai bis September: je wärmer, trockener und strahlungsreicher das Wetter, desto grösser der Massenverlust bei den Gletschern [6].

Das Jahr 2003 war durch seine anhaltende Trockenheit, den grossen sommerlichen Wärmeüberschuss in der Höhe und das Ausbleiben von Kaltluftbrüchen ein extrem ungünstiges Jahr für die Gletscher. Nach einem Winter mit durchschnittlichen Schneemengen wurde der Abschmelzprozess durch frühes Ausapern der Gletscher begünstigt. Die Gleichgewichtslinie, unterhalb derer die Eisschmelze dominiert, stieg

zeitweise auf bisher nie beobachtete Höhen über 3500 m ü.M. In der Folge führten die Gletscherbäche viel Wasser und die Speicherseen mit stark vergletschertem Einzugsgebiet füllten sich rasch [6]. Satellitenbilder zeigten die rasche Bildung von neuen Seen und eine auffällige Verdunkelung von Eis- und Firnoberflächen. Ebenfalls beobachtet wurden kollabierende Eisstrukturen an verschiedenen Stellen sowie das totale Verschwinden von Schnee und Firn auf kleineren Gletschern, Eiskappen und in eisbedeckten Felswänden [15].

Das rekordmässige Abschmelzen der Gletscher beschränkte sich nicht auf die Schweiz, sondern wurde auch in Österreich beobachtet. Der geschätzte mittlere Schmelzbetrag entspricht einer Wassersäule von ca. 2.5 m [15] und ist ein absoluter Rekord für die Alpen. Er übertrifft den bisherigen Rekordverlust von 1998 (1.6 m) um mehr als 50% [15] (Abbildung 6). Der gesamte Volumenverlust der Alpengletscher im Jahr 2003 wird auf 5 bis 10% des Gletschervolumens 2002 geschätzt [6]. Die vertikale Ausdünnung der Gletscher ist so stark geworden, dass sich die Gletscherlänge nicht mehr dem horizontalen Eisnachschub anpassen kann. Deshalb wird das Einsinken und der „Kollaps“ von Gletscherzungen anstelle eines langsamen Rückgangs ein immer häufigerer Prozess [6].

Auswirkungen auf Permafrostgebiete

Die Hitzewelle brachte nicht nur die Gletscher zum Schmelzen, sondern hatte auch Folgen für den Permafrost. Ungefähr 4 bis 6% der Fläche der Schweiz sind Permafrostgebiete, das heisst Gebiete mit dauernd gefrorenem Boden. Weil sich der Permafrost unter einer sommerlichen Auftauschicht versteckt, die einen halben bis mehrere Meter dick sein kann, entzieht er sich der direk-

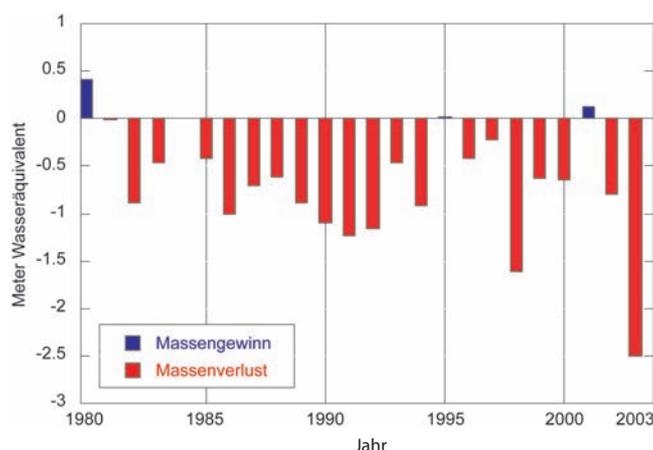
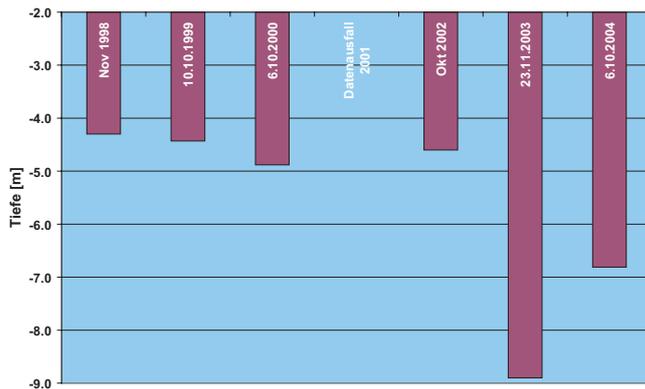


Abbildung 6: Massenverlust der Alpengletscher seit 1980. Die Mittelwerte wurden mit Hilfe der jährlichen Massenbilanz folgender Gletscher berechnet: St Sorlin (F), Sarennes (F), Silvretta (CH), Gries (CH), Sonnblickkees (A), Vernagtferner (A), Kesselwandferner (A), Hintereisferner (A), Careser (I).

Abbildung 7: Maximale Mächtigkeit und Zeitpunkt der sommerlichen Auftauschicht auf dem Schilthorn seit 1998. Der Permafrost im Fels enthält kaum Eis. Daher wird der grösste Anteil der Wärmeenergie in Form von Temperaturerhöhung umgesetzt. Im Jahre 2003 kam es dadurch beinahe zu einer Verdoppelung der Auftauschichtmächtigkeit.



Quelle: Vonder Mühl et al. 2005

ten Beobachtung. Wenn der gefrorene Untergrund jedoch taut, dann werden die Folgen spürbar.

Im Hitzesommer 2003 wurden insbesondere zwischen Juni und August eine grosse Zahl von Felsstürzen im gesamten Alpenraum, insbesondere in den oberen Höhenlagen und an nordexponierten Hängen, beobachtet. Als Auslöser für die Häufung von Steinschlägen und Felsstürzen kommen weder heftige Niederschläge noch andere vorübergehende Einflüsse auf die Hangstabilität in Frage. Als plausible Erklärung bleibt die Degradierung des Permafrostes im Hochgebirge aufgrund der hohen Temperaturen. Die ausserordentliche Felssturzaktivität im Sommer 2003 wird als Hinweis darauf gedeutet, dass die Destabilisierung auf-

grund extremer Hitze als fast sofortige Reaktion erfolgt [16,17]. Nicht nur die hohen Temperaturen waren ausschlaggebend für die Destabilisierung in Permafrostgebieten. Strahlung und Hitze konnten vor allem dort wirken, wo eine schützende Schneedecke fehlte. Schnee wirkt im Sommer auf den darunterliegenden Permafrost als Isolationschicht und reflektiert ausserdem die einfallende Strahlung viel stärker als unbedeckter Boden [18]. Im Winter hingegen verhindert eine frühe und kontinuierliche Schneeschicht durch die isolierende Wirkung die Auskühlung des Bodens. Nur bei unbedecktem Boden kann die Wärme dem Untergrund ungehindert entweichen. Das bedeutet, dass ein schneearmer Winter, unabhängig davon, ob er klimatologisch gesehen zu warm oder zu kalt ist, auf den Permafrost eine kühlende Wirkung hat.

Messungen haben gezeigt, dass der Wärmeeintrag ins Gebirge während des Hitzesommers markant höher war als in Normaljahren. Dies ist weniger auf die Höhe der absoluten Temperaturen zurückzuführen, sondern vor allem auf den langen Zeitraum der Erwärmung. In der Eigernordwand lag die Lufttemperatur während über 700 Stunden über 10 °C, im Jahre 2002 waren es ca. 120 Stunden [17]. Erstmals wurden 2003 Spuren von Schmelzwasser in der Nordflanke der Sphinx auf dem Jungfraujoch (3570 m ü.M.) beobachtet [17]. Aufgrund der langen Wärmeeinwirkung reichte dort die Auftauschicht während des Hitzesommers durchschnittlich ungefähr 10 bis 50 cm tiefer als während der vorangehenden Jahre [16]. In anderen Gebieten, wie zum Beispiel am Schilthorn, taute der Untergrund gar mehrere Meter

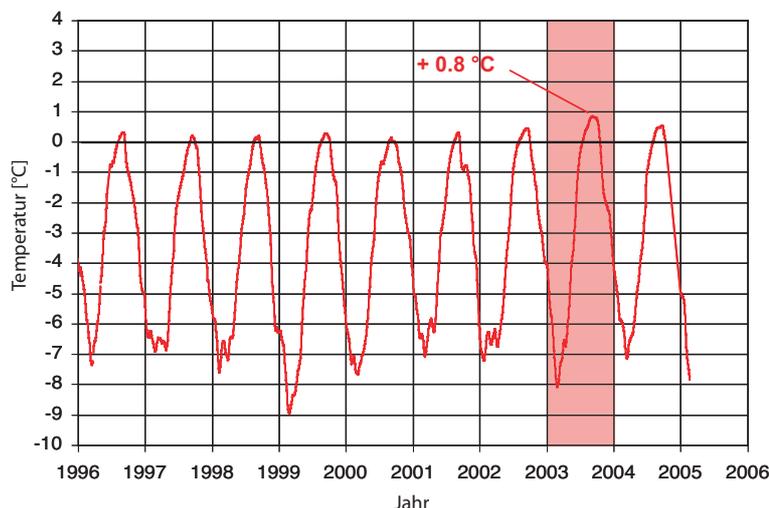


Abbildung 8: Felstemperaturen in der Sphinx-Nordflanke (3570 m ü.M.) 1996 bis Anfang 2005, gemessen 4 m unter der Oberfläche.

Quelle: H.R. Keusen [17]

tiefer als in früheren Jahren [15]. Die Mächtigkeit der sommerlichen Auftauschicht hängt vom Eisgehalt des Permafrosts ab. Am Schilthorn enthält der Permafrost im Fels kaum Eis, so dass der grösste Teil der Wärmeenergie als Temperaturerhöhung umgesetzt wird. Dies erklärt, warum die Auftauschicht am Schilthorn im 2003 fast doppelt so tief reichte wie in den Vorjahren (Abbildung 7). Bemerkenswert ist allerdings, dass auch im 2004 der Untergrund weit tiefer taute als vor dem Hitzesommer. Dies deutet darauf hin, dass sich die Auftauschicht des Jahres 2003 möglicherweise strukturell verändert hat, zum Beispiel durch ein Abtauen und nachfolgende Entwässerung.

Während die sommerliche Auftauschicht an Nordhängen primär von der Lufttemperatur beeinflusst wird, spielt an Südhängen die kurzweilige Strahlung eine wichtige Rolle. Dadurch sind südexponierte Hänge über das Jahr einer grösseren Variabilität ausgesetzt, und die Auftauschicht erreichte bereits vor 2003 grössere Tiefen [16]. Im Kältebereich liegende Nordflanken sind für Instabilitäten auch deshalb prädestiniert, weil sie viel Wasser bzw. Eis enthalten. Als Schmelzwasser kann dieses in Klüften Wasserdrücke erzeugen, die zu Felsdeformationen führen [17]. Der Einfluss der Hitze war daher an nordexponierten Hängen besonders gross, was die Häufung von Steinschlägen und Felsstürzen an Nordhängen erklärt [16,17] (Abbildung 8).

Auch wenn das Auftauen der Permafrostgebiete im Alpenraum für das Auge weniger spektakulär verläuft als das Verschwinden der Gletscher, können die Konsequenzen schwerwiegend sein. Es wird befürchtet, dass die Gefahr grosser Felsstürze als Folge der zunehmenden Tiefe der thermischen Veränderung ansteigen wird – eine mögliche Bedrohung für besiedelte Bergregionen. Auch verschiedene infrastrukturelle Anlagen sind aufgrund ihrer Verankerung im Permafrostboden einem erhöhten Risiko ausgesetzt. Taut der Untergrund, besteht für zahlreiche Bergbahnen, Skilifte und Lawinenverbauungen Handlungsbedarf, um Beschädigungen durch Setzungs- und Kriechvorgänge abzuwenden [18].

4. Luftqualität

Sommersmog

Der sogenannte Sommersmog setzt sich aus einer Vielzahl von Schadstoffen zusammen: Nebst dem Ozon als Hauptsubstanz enthält die Sommersmog-Mischung auch Feinstaub, Stickoxide und weitere Schadstoffe. Ozon ist ein aggressives Reizgas mit zahlreichen negativen Auswirkungen auf den Menschen, auf Kulturpflanzen sowie die natürliche Vegetation.

Beim Menschen können Schleimhautreizungen, Entzündungsreaktionen in den Atemwegen, Einschränkungen der Lungenfunktion und vorzeitige Todesfälle ausgelöst werden, wobei die Empfindlichkeit von Mensch zu Mensch unterschiedlich ist. Kinder, Personen mit bestehenden Atemwegproblemen und ältere Personen sind in der Regel stärker betroffen. Die WHO schätzt, dass ca. 10 bis 15% der Bevölkerung besonders empfindlich auf Ozon reagiert. Die Wirkung von Ozon nimmt mit der Konzentration und der Expositionszeit zu. Sie verstärkt sich auch bei körperlicher Anstrengung als Folge des vergrößerten Atemvolumens [19].

In der Landwirtschaft werden die Ertragseinbussen aufgrund erhöhter Ozonwerte je nach Kultur, Region und Jahr auf 5 bis 15% geschätzt. Mehr als 80 Pflanzenarten der natürlichen Vegetation zeigen stressbedingte Symptome, die sich in einer veränderten Blatt- oder Nadelphysiologie äussern.

Luftqualität im Sommer 2003

Die aussergewöhnliche Wetterlage während des Sommers 2003 hatte Einfluss auf die Luftqualität. In Bezug auf die Ozonproduktion ist im Frühjahr

und im Sommer die Nachmittagstemperatur nebst der Strahlung einer der wichtigsten Einflussfaktoren. Es erstaunt daher nicht, dass im Vergleich zu den Vorjahren die Ozonkonzentrationen während des Hitzesommers ausserordentlich hoch waren [20] (Abbildung 9). Die starke Sonneneinstrahlung und entsprechend hohe Temperaturen begünstigten die Ozonbildung und führten zu hohen Ozonwerten, wobei die absoluten Spitzenwerte nicht höher waren als in den vorangehenden Jahren. Im Durchschnitt lagen jedoch die gemessenen maximalen Ozonwerte rund 30 Mikrogramm/m³ (knapp 30%) höher als im Mittel der Sommer 1992–2002. Die höchsten Werte wurden an den Messstandorten der Alpensüdseite gemessen.

Menschen und Vegetation waren während des ganzen Sommers deutlich erhöhten Ozonwerten ausgesetzt. Während fast drei Monaten stieg die Ozonkonzentration regelmässig über den Immissionsgrenzwert. Über das ganze Jahr betrachtet wurde der 1-Stunden-Immissionsgrenzwert rund doppelt so häufig überschritten wie in den vorangegangenen Jahren [19]. Die Abweichung von durchschnittlichen Werten entsprach der Temperaturabweichung, das heisst, die hohen Ozonwerte können mit den hohen Temperaturen erklärt werden. Sollten vergleichbare Hitzeperioden mittelfristig vermehrt auftreten, dann hätte dies auch Einfluss auf die Luftqualität: Wenn die Ausgangsstoffe (v.a. Kohlenwasserstoffe (VOC) und Stickoxide) für die Ozonbildung nicht massiv abnehmen, werden die Ozonkonzentrationen stark ansteigen [20].

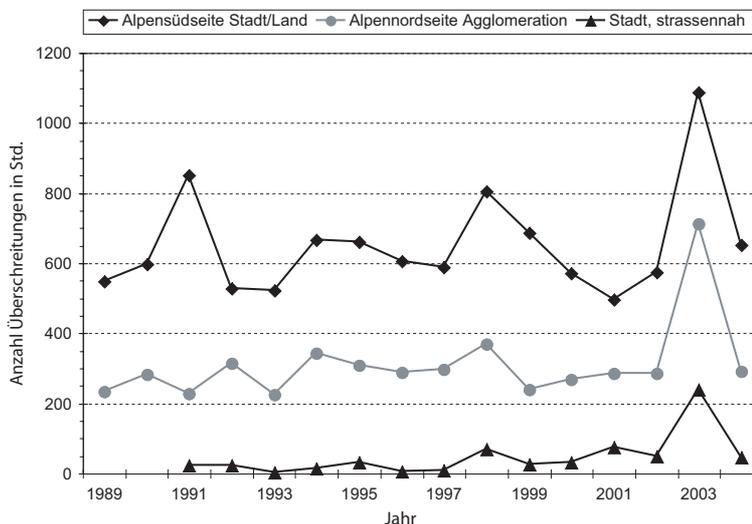
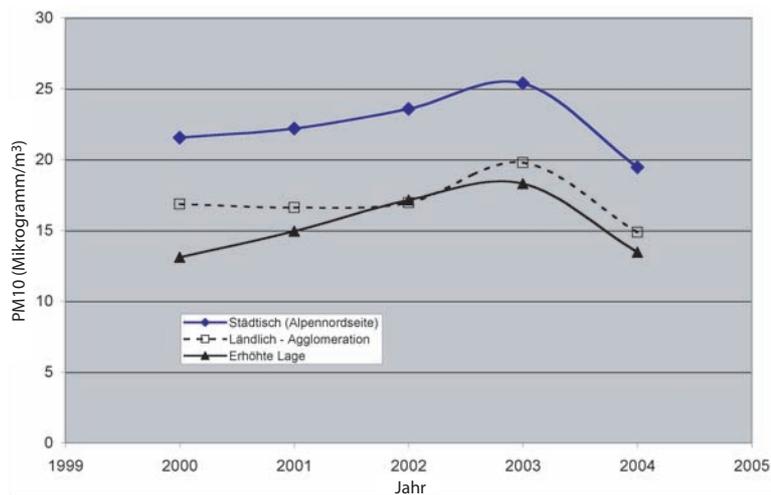


Abbildung 9: Anzahl Überschreitungen des Stundenmittelgrenzwertes für Ozon von 120 Mikrogramm/m³ an verschiedenen Standorttypen des NABEL (Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe) 1989–2003.

Nebst hohen Ozonwerten traten im Sommer 2003 auch hohe Feinstaubkonzentrationen auf (Abbildung 10). Diese Partikel mit einem Durchmesser von 10 Mikrometern oder weniger (sogenannte PM10) belasten Lunge und Bronchien und können zu entzündlichen Reaktionen und Atemwegserkrankungen führen. Feinstäube werden einerseits direkt durch Fahrzeuge und Industrie emittiert, können aber auch – ähnlich wie das

Ozon – durch einen photochemischen Prozess entstehen. Die Ausgangsstoffe sind Stickoxide und Kohlenwasserstoffe sowie Schwefeldioxid und Ammoniak. Im Sommer 2003 waren die Konzentrationen etwa 2 bis 4 Mikrogramm/m³ höher als in den Jahren 2000–2002 und 2004. Auch in ländlichen Gebieten waren im Sommer 2003 die Konzentrationen in der Nähe des Jahresgrenzwertes von 20 Mikrogramm/m³.

Abbildung 10: Mittlere Feinstaubkonzentrationen (PM10) an verschiedenen Standorttypen des NABEL (2000–2004).



Quelle: André S. Prévôt, Paul Scherrer Institut

5. Gesundheitliche Auswirkungen

Knapp 1000 zusätzliche Todesfälle in der Schweiz lautete die tragische Bilanz des Hitzesommers 2003. In Frankreich, das von der Hitzewelle besonders stark betroffen war, wird die Zahl allein für die Zeit zwischen 1. und 20. August auf 15 000 geschätzt. Auch in Italien, Spanien, den Niederlanden, Deutschland und England wurde von hitzebedingten Todesfällen berichtet [21]. Gesamteuropäisch wird die Zahl der Toten als Folge der Hitzewelle auf bis zu 35 000 geschätzt [22,23].

In der Schweiz waren insbesondere ältere Menschen und Bewohner und Bewohnerinnen der Städte und Agglomerationen der Nord- und Westschweiz betroffen. In den Städten Basel, Genf und Lausanne war die Mortalität besonders hoch [21]. Die Anzahl der Todesfälle lag dort zwischen 13 und 24% über dem Durchschnitt [24]. Die erhöhte Todesrate in Städten lässt sich mit dem Wärmeinseleffekt erklären: Mit Zunahme der Siedlungs-, Bebauungs- und Gebäudedichte sind höhere Temperaturen zu erwarten, da die nächtliche Abkühlung geringer ist als in ländlichen Gebieten [25]. Vor allem in den Städten Basel und Genf stiegen die Temperaturen an einzelnen Tagen über 35 °C und sanken nachts nicht unter 20 °C. Die Kombination von hohen Tagestemperaturen und verminderter nächtlicher Abkühlung dürfte ein Grund dafür sein, warum die Sterblichkeit in diesen Städten besonders hoch war [24].

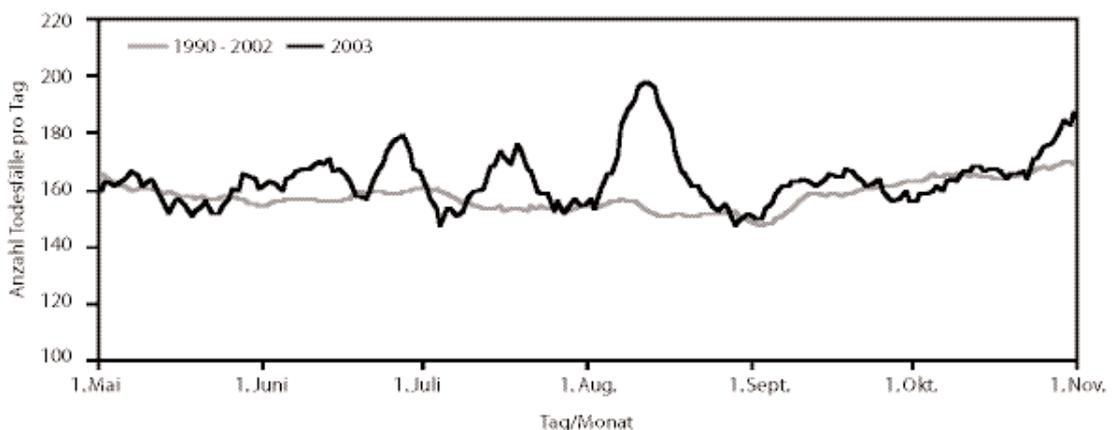
Es ist wahrscheinlich, dass ein Teil der hitzebedingten Todesfälle Menschen betrafen, die sich in gesundheitlich kritischem Zustand befanden und auch ohne Hitzewelle in Kürze gestorben

wären [21]. Die massiv erhöhte Sterberate lässt sich jedoch nicht alleine mit diesen Fällen erklären. Wäre der sogenannte „Harvesting-Effekt“ – der vorzeitige Tod von bereits schwerkranken Personen – ausschlaggebend, müsste die Sterberate nach der Hitzewelle deutlich unter den langjährigen Mittelwert absinken. Die Zahl der Todesfälle blieb aber auch nach Ende August erhöht. Es sind somit zahlreiche Personen verstorben, deren Tod ohne Hitzeeinwirkung in den folgenden Wochen nicht zu erwarten gewesen wäre [24] (Abbildung 11).

Die Frage nach den genauen Gründen für die erhöhte Sterblichkeit kann noch nicht abschliessend beantwortet werden. Die Todesursachen werden erst nach zwei Jahren durch das Bundesamt für Statistik bekannt gemacht und konnten daher in bisherige Studien nicht einbezogen werden. Als Auslöser hitzebedingter Todesfälle oder Krankheiten kommen Ursachen direkter oder indirekter Natur in Frage [25].

Direkte Auswirkungen der Hitzewelle sind zum Beispiel hitzebedingte Herzkreislaufprobleme, Hitzeschlag, Dehydrierung und Hyperthermie (Überhitzung) [25]. Besonders häufig betroffen sind ältere Menschen, die über eine schlechtere Wärmeregulation verfügen. Sie schwitzen weniger und haben ein vermindertes Durstgefühl. Überdies sind Herz und Kreislauf rascher überfordert. Die möglichen gefährlichen Konsequenzen sind Dehydrierung – also Austrocknung des Körpers –, eine erhöhte Körpertemperatur, Ermattung, Bewusstlosigkeit, Hitzekrämpfe und Hitzeschlag [26].

Abbildung 11: Anzahl Todesfälle pro Tag zwischen 1. Mai und 1. November für das Jahr 2003 und im Vergleich dazu der Mittelwert der Jahre 1990–2002.



Zu den indirekten Auswirkungen gehört die Wirkung von Luftschadstoffen, insbesondere von erhöhten Ozonwerten und Feinstaubbelastungen. Aufgrund einer ersten Abschätzung können der Sommersmog-Belastung 2003 etwa 130 bis 300 der zusätzlichen Todesfälle und eine ähnliche Zahl von Spitaleintritten angelastet werden [19]. Ähnliche Resultate ergaben Untersuchungen in den Niederlanden und in Grossbritannien [27,28]. Eine weitere indirekte Folge der Hitze sind wasserqualitäts- und nahrungsmittelbedingte Krankheiten [25]. Die beiden häufigsten bakteriellen Erreger bei Durchfallerkrankungen in der Schweiz – *Campylobacter* und *Salmonella* – zeigen typische saisonale Muster mit sommerlichen Maxima. Eine aktuelle Zeitreihenanalyse mit Daten von 1999–2002 aus zehn europäischen Ländern (inkl. der Schweiz) zeigt, dass zwischen den gemeldeten Salmonelleninfektionen und der jeweiligen Umgebungstemperatur eine lineare Beziehung besteht. Oberhalb der Schwelle von 6 °C ist für die Schweiz ein linearer Zusammenhang der Temperatur und der Anzahl gemeldeter Fälle von Salmonellose erkennbar.

Schliesslich beeinflussten die Trockenheit und die hohen Temperaturen die Pollenfreisetzung von allergenen Pflanzen. Der grösste Einfluss wurde bei den Gräserpollen beobachtet: Die Saison begann zwei Wochen früher als im Mittel und war im Mai und anfangs Juni sehr intensiv. Die Trockenheit beendete die Gräserblüte jedoch 7 bis 33 Tage früher als normal. Trockenheits-ertragende Kräuter produzierten im Sommer aussergewöhnlich hohe Pollenmengen, so zum Beispiel die allergenen Arten Wegerich und Gänsefuss [29,30].

6. Vegetation

Die Hitze des Sommers 2003 in Kombination mit der Trockenheit und hohen Ozonwerten machten nicht nur den Menschen zu schaffen, sondern setzten teilweise auch der Vegetation zu. Kurzfristig hatten die ausserordentlichen Bedingungen vor allem Auswirkungen auf das Wachstum sowie die Entwicklungsphasen (Phänophasen) der Pflanzen. Eine Häufung ähnlicher Sommer hätte längerfristig eine Artenverschiebung respektive eine veränderte Artenzusammensetzung zur Folge.

Folgen für das Pflanzenwachstum

Die Pflanzen reagierten auf den Hitzesommer 2003 je nach Höhenlage und Hitze- respektive Trockenheitsresistenz unterschiedlich. In alpinen und hochalpinen Lagen profitierten die Pflanzen vermutlich teilweise von den warmen Temperaturen und der verlängerten schneefreien Zeit. An der Furka (2430 m ü.M.) wurden in einer Bodentiefe von 10 cm im Juli Maximaltemperaturen von 19.1 °C gemessen. Dieser Wert liegt rund 5 °C über den Maximalwerten, die in den Jahren 1998–2002 in der gleichen Bodentiefe gemessen wurden. Gleichzeitig herrschte grosse Trockenheit: Die Sommerniederschläge (Juli bis September) 2003 entsprachen mit 137 mm nur rund 40% der Niederschläge des Vorjahres. Während 7 Tagen lag im Juli der Bodenwassergehalt unter 10 Volumenprozenten, im August erneut während 11 Tagen. Bei solchen Verhältnissen ist für die Pflanzen das Wasser nicht mehr verfügbar. Viele Alpenpflanzen zeigten in der Folge Welkeerscheinungen – ein Phänomen, das bisher kaum beobachtet worden war [31].

In tieferen Lagen führten hohe Temperaturen und Wassermangel mehrheitlich zu einem verminderten Pflanzenwachstum [32]. Bei einer grossflächigen Untersuchung von Rotbuchen zeigten

sich an allen Standorten sowohl Ozon- als auch Trockenheitssymptome [33] (Abbildung 12). In mehreren Fällen bewirkte die Trockenheit einen frühzeitigen Blattverlust. Die repräsentative Sanasilva-Erhebung im Jahr 2004 zeigte den grössten seit 1985 beobachteten Rückgang der Belaubung respektive Benadelung in der Schweiz [34], wobei diese im Vergleich zum Tiefstand im Jahr 2000 knapp besser war. In 70% der Forstkreise wurde eine erhöhte Baum mortalität festgestellt [35]. Absterbeerscheinungen als direkte Folge der Sommertrockenheit 2003 konnten bis heute in einem deutlich geringeren Ausmass beobachtet werden, als dies anhand der Beschreibungen über die Auswirkungen der Trockenperioden in den 1940er Jahren zu erwarten gewesen wäre [35].

Sichtbare Folgen hatte das Trockenjahr 2003 jedoch im Wallis, wo der Jahresniederschlag gebietsweise weit unter 400 mm lag [36]. Bereits in der Vergangenheit starben nach heissen, trockenen Sommern Föhren in tieferen Lagen vermehrt ab. Dieser Prozess zeigte sich als Folge des Hitzesommers entsprechend ausgeprägt. Im Raum Visp sind seit 2003 lokal bis zu 25% der Föhren abgestorben [36], während Flaumeichen und Mehlbeeren trockenheitsangepasster sind und auch extreme Trockenperioden überleben können. Häufiger auftretende trockene und heisse Sommer werden den Baumartenwechsel in den Tieflagen des Wallis daher zusätzlich beschleunigen.

Einfluss auf die Pflanzenentwicklung hatte auch das veränderte Auftreten von Frosttagen: in hohen Lagen war die Zahl der Frosttage im Vergleich zum Durchschnitt kleiner, in tieferen Lagen trat Frost aufgrund von vermehrt vorkommenden Hochdrucklagen mit klaren Nächten häufiger auf [32].

Die Beobachtung der Vegetation in Kopfsteinpflasterritzen hat gezeigt, dass im Hitzesommer 2003 neue wärmeliebende und trocken-tolerante Arten sowie vermehrt auch Holzpflanzen gekeimt haben. Einzelne bisher schwach vertretene Pflanzen und Unkräuter mit einer raschen Ausbreitung nahmen massiv zu. Einige der neu aufgetretenen Arten konnten den nachfolgenden Winter überstehen, nicht aber den Winter 2004/05. Bei nachhaltiger Erwärmung könnte vor allem die Massenausbreitung von Unkräutern, die anderen Pflanzen Platz und Nahrung wegnehmen, praktische Bedeutung erlangen [37].

Abbildung 12: Trockenheit- (links) und Ozonsymptome (rechts) in Blättern von Rotbuchen. Mit wachsendem Trockenstress rollen sich die Blätter allmählich ein. Ozonstress verursacht die charakteristische Entfärbung von den sonnenexponierten Blattteilen in der Sonnenkrone.



Quelle: Vollenweider et al. [33].

Pflanzenentwicklung (Phänologie)

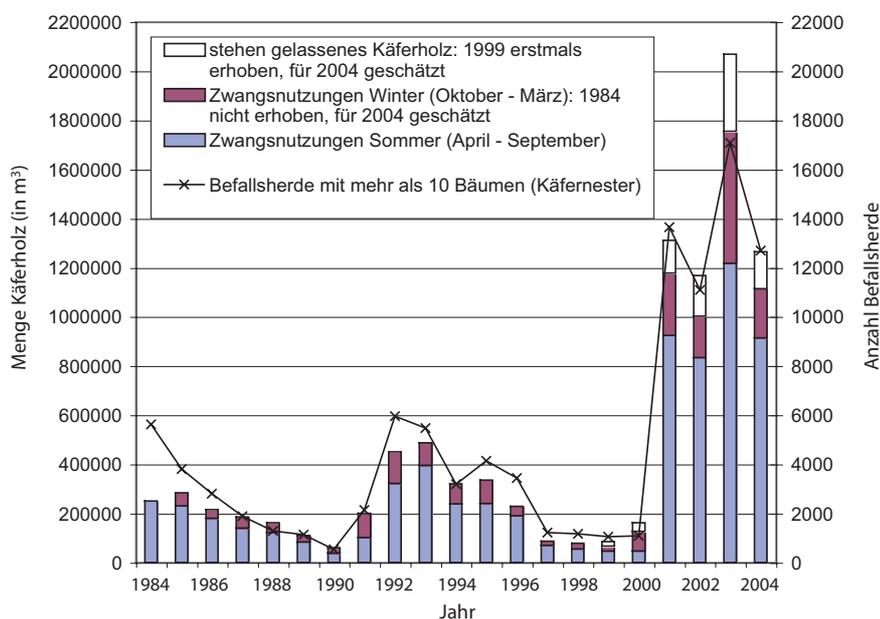
Die Entwicklungsphasen der Pflanzen reagierten stark auf den Hitzesommer 2003: Es wurden zahlreiche „phänologische Rekorde“ beobachtet. Insbesondere im Sommer und Herbst war die Pflanzenentwicklung gegenüber durchschnittlichen Jahren stark verfrüht, wie die Auswertung der unterschiedlich langen Datenreihen (früheste Messungen ab 1951) zeigte. So blühten beispielsweise Rosskastanien und Schwarzer Holunder zwischen 10 und 15 Tagen früher als im Mittel, die Winterlinden gar 20 Tage. Auch im Herbst wurden frühe Termine bei Blattverfärbungen und Blattfall registriert [38]. Die Buchen im schweizerischen Mittelland zeigten zum Teil bereits zwischen Ende Juli und anfangs August Herbstverfärbungen oder gar Laubfall, zwei Monate früher als üblich [39]. Die Eintrittstermine waren jedoch weniger extrem als im Spätfrühling und im Sommer. Insbesondere der Blattfall reagiert nicht primär auf die vergangene Witterung, sondern ist vielmehr vom aktuellen Wetter abhängig, das heisst beispielsweise vom Auftreten von Frost, Sturmwinden oder Schneefall [38]. Auch bei alpinen Pflanzen wurden erste Welkeerscheinungen bereits im August, viel früher als üblich, beobachtet [31].

Rekordjahr für die Borkenkäfer

Während die Pflanzen durch Hitze und Trockenheit tendenziell geschwächt werden, sind diese klimatischen Bedingungen für Schädlinge und Pflanzenkrankheiten häufig vorteilhaft. Sie können sich nicht nur besser vermehren und verbreiten, sondern wirken sich auch aufgrund der grösseren Anfälligkeit bereits geschwächter Pflanzen stärker aus [38].

Der Buchdrucker-Borkenkäfer hat im Jahr 2003 etwa zwei Millionen Kubikmeter Fichten befallen [40]. Diese Menge entspricht fast zwei Dritteln einer normalen jährlichen Nadelholznutzung in der Schweiz [41]. Es wurden 17 000 neue Befallsherde gezählt – so viele wie noch nie. Die guten Brutbedingungen sorgten dafür, dass es bis zu drei Generationen Käfer gab [40]. Auch andere Borkenkäferarten traten verstärkt in Erscheinung [41]. Als ursprünglicher Auslöser des starken Borkenkäferbefalls gilt der Sturm „Lothar“ von 1999. Nach einem ersten erwarteten Hochstand im Jahr 2001 sanken die Zahlen im Mittelland bereits wieder. Der Hitzesommer durchbrach den abnehmenden Trend und sorgte für einen neuen Käferrekord. Im Jahr 2004 hat sich Situation etwas entschärft: Der Befall liegt im Bereich der Jahre 2001 und 2002 [35] (Abbildung 13).

Abbildung 13:
Menge des Käferholzes und Anzahl der Befallsherde in der Schweiz von 1984–2003.



Quelle: Forstschutz-Überblick 2004 [35]

7. Landwirtschaft

Das Wetter spielt im Hinblick auf die bäuerlichen Ernteerträge eine zentrale Rolle: Dementsprechend hatte der Sommer 2003 je nach Region beträchtliche – negative wie auch positive – Auswirkungen. Generell vorteilhaft waren die trockenen und warmen Bedingungen im Frühjahr für den Gemüsebau und die Beerenernte, während in den Sommermonaten die hohen Temperaturen in Kombination mit wenig Niederschlag der Landwirtschaft zu schaffen machten. Der Norden, Nordosten und Westen der Schweiz erlebte zahlreiche Trockenperioden, das heisst Perioden von mindestens 15 Tagen Dauer mit höchstens 5 mm Niederschlag. Der Bodenwasservorrat war bereits ab Februar tief, was im Sommer zu Bodenrissen führte (Abbildung 14). Überdies stand dadurch wenig Wasser für die Verdunstung zur Verfügung, so dass sich die Luft zusätzlich erwärmte.

Abbildung 14: Die anhaltende Trockenheit im Sommer 2003 führte zu einem Wassermangel im Boden und zu Bodenrissen.



Foto: Michael Zimmermann, Agroscope FAL Reckenholz

Die Folgen für Acker- und Obstkulturen sowie Futtererträge waren unterschiedlich. Beim Getreide, bei Futterpflanzen und Kartoffeln waren die Erträge deutlich unter dem Durchschnitt [42]. Gegenüber den Vorjahren (1991–1999) sanken die Erträge bei Weizen, Gerste und Futterpflanzen gesamtschweizerisch jeweils um etwa einen Fünftel, bei den Kartoffeln um etwa 10% [42]. Mit Ausnahme weniger Kantone lagen die Erträge von Körnermais im Mittel höher als zwischen 1991–1999, beim Silomais hingegen deutlich tiefer. Bei den Obstkulturen waren vor allem die Erträge bei den Äpfeln stark reduziert [9]. Insbesondere im Nordwesten und Norden der

Schweiz bis in den Kanton Schaffhausen lag die Ernte bei knapp 20% des Durchschnitts [9]. Bei den Birnen hingegen lagen die Erträge in vielen Kantonen über dem Mittel von 1990–2000.

Die grössten Ausfälle betrafen die West- bis Nordschweiz, während in anderen Regionen auch positive Ertragsanomalien auftraten. Insgesamt schätzt der Schweizerische Bauernverband die Verluste auf bis zu 500 Millionen Franken [9]. Gesamteuropäisch – betroffen waren Süd-, Mittel- und Osteuropa – wird der ökonomische Schaden der Missernte auf 12,3 Milliarden Dollar geschätzt [43].

In der Schweiz ergriffen Bund und Kantone im Laufe des Jahres 2003 eine Reihe von Massnahmen, die rückblickend als wirksam beurteilt werden können. Vordringlich war die Milderung von Engpässen bei der Tierversorgung. In Bezug auf den Grenzschutz wurden die Abgaben für Heu und Futtermittel gesenkt oder auf Null gesetzt. Bei den Direktzahlungen beschloss der Bundesrat einen teilweisen Ausgleich der Reduktion für das Jahr 2004. In Berggebieten konnte der Schnitt von Wiesen zehn Tage früher erfolgen und auf den Alpen durfte zugekauftes Futter verwendet werden. In Härtefällen wurde Betriebshilfe geleistet und bei Liquiditätsschwierigkeiten wurden Betriebshilfedarlehen in einem vereinfachten Verfahren ausgerichtet. Milchkontingente konnten zum Teil vom Berg- ins Talgebiet verlegt werden und bei nicht ausgeschöpften Kontingenten wurde die Nachlieferung im nächsten Milchjahr ermöglicht. Die Armee übernahm Wasser- und Heutransporte auf Alpen [9].

8. Produktion von elektrischer Energie

Trockenheit und Hitze haben sich unterschiedlich auf die Stromproduktion ausgewirkt. Besonders günstig war der Sommer 2003 für Solaranlagen, ungünstig hingegen für die Windkraftwerke. Die Kernkraftwerke waren insofern betroffen, als zum Teil deren Leistung reduziert werden musste, damit die Temperaturmaxima des in Flüsse zurückgeleiteten Kühlwassers eingehalten werden konnten. Ausserdem wurde die Kühlleistung der Kraftwerke beeinträchtigt, was in den Mittags- und Nachmittagsstunden zu kleineren Leistungseinbußen führte.

Die Wasserkraftwerke der Schweiz erzeugen nahezu 60% der elektrischen Energie. Je nach Kraftwerktyp wirkte sich der Hitzesommer positiv respektive negativ auf die Stromproduktion aus. Die Laufkraftwerke – vor allem die Flusskraftwerke im Unterland – erlitten Produktions-

einbußen aufgrund der geringen Wasserführung. Im Gegensatz dazu profitierten die Speicherkraftwerke mit Zuflüssen aus vergletscherten Gebieten vom zusätzlichen Schmelzwasser. Insgesamt lag im Jahr 2003 die Energieproduktion aus Wasserkraft nur rund 0.8% unter dem Mittel der letzten zehn Jahre.

Der Landesverbrauch erreichte 2003 einen neuen Höchstwert (Abbildung 15). Der erhöhte Verbrauch in den Sommermonaten ist vermutlich auf den vermehrten Einsatz von Elektrizität zu Kühlzwecken zurückzuführen. Andererseits stieg in den Monaten Februar, Oktober und Dezember aufgrund der Kälte auch der Energieverbrauch für die Wärmeproduktion. Der hohe Inlandverbrauch steht einer leicht reduzierten Produktion gegenüber, was zum zweittiefsten Exportüberschuss der letzten 10 Jahre führte [6].

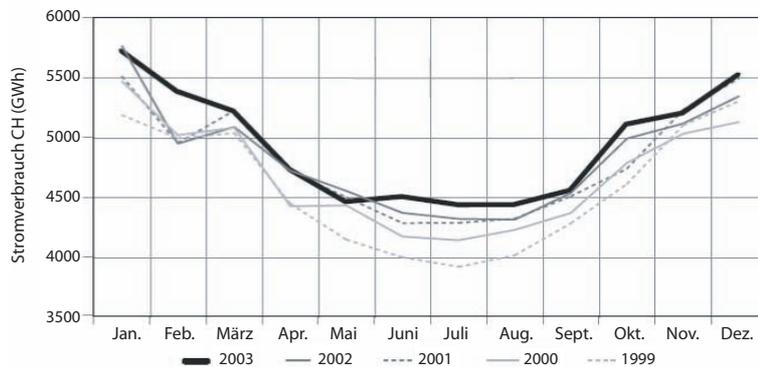


Abbildung 15: Der Landesverbrauch an elektrischer Energie im Jahr 2003 im Vergleich zu den Vorjahren.

Quelle: BUWAL, Schriftenreihe 369 [6]

9. Blick in die Zukunft

Wie bereits vergangene extreme Wetterereignisse hat auch der Sommer 2003 und dessen Folgen die gegenwärtige Klimaänderung in den Fokus des öffentlichen Interesses gerückt. Politiker, Medien und Wissenschaftler suchen Antworten auf folgende Fragen:

1. Inwiefern besteht zwischen gegenwärtiger Klimaänderung und Hitzesommer ein Zusammenhang? Hat der Mensch den Extremesommer mitverursacht?
2. Haben wir in Zukunft vermehrt ähnlich heisse Sommer zu erwarten?
3. In welchen Bereichen drängen sich aufgrund der Erfahrungen aus dem Hitzesommer Massnahmen auf, um in Zukunft die Auswirkungen von Hitzewellen zu mildern?

Aufgrund statistischer Untersuchungen steht heute fest, dass der Sommer 2003 im Schweizer Mittelland auch unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Erwärmung ein äusserst seltenes Ereignis war. Die Auftretenswahrscheinlichkeit für eine solche Hitzeperiode ist sehr klein (<0.0001), wenn man davon ausgeht, dass sich mit der Klimaänderung nur der Temperaturmittelwert ändert. Eine plausible Hypothese erklärt die extremen Sommertemperaturen 2003 daher mit einer Veränderung der Variabilität: Mit der Erwärmung des Klimas verschiebt sich nicht nur der Mittelwert in Richtung wärmere Temperaturen, sondern auch die Schwankungen können grösser werden [12] (Abbildung 16). Temperaturbeobachtungen der letzten 45 Jahre zeigen tatsächlich eine leichte Zunahme der Sommervariabilität. Diese Zunahme ist konsistent mit

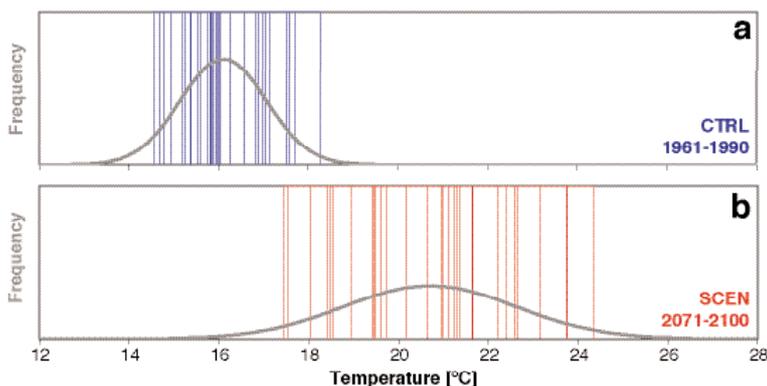
Klimasimulationen, jedoch statistisch nicht signifikant [44].

Modellierungen des zukünftigen Klimas, welche von einem weiteren Anstieg der Treibhausgasemissionen ausgehen, zeigen für den Zeitraum 2071–2100 ein Sommerklima, das mit dem Hitzesommer 2003 vergleichbar ist. Während die Temperaturen entsprechend ansteigen, nimmt die Gesamtmenge der Niederschläge ab. Gleichzeitig berechnen viele, jedoch nicht alle Modelle eine Zunahme heftiger Niederschlagsereignisse. Ein Vergleich der Szenarien mit dem Sommer 2003 ergibt ein erstaunliches Resultat: Der Hitzesommer wäre Ende dieses Jahrhunderts ein Durchschnittssommer, d.h. ungefähr jeder zweite Sommer wäre mindestens so warm und trocken [12,45]. Damit steigt auch die Wahrscheinlichkeit für noch heissere Sommer deutlich an.

In der Klimawissenschaft herrscht heute weitgehend Übereinstimmung darüber, dass die Klimaänderung zumindest teilweise auf den menschlichen Einfluss zurückzuführen ist, und zwar primär durch den anthropogen verursachten Treibhauseffekt. Bei den Extremereignissen ist die Ursachenzuordnung viel schwieriger. Die anthropogene Klimaänderung löst keine Einzelereignisse aus bzw. ist nie alleinige Ursache. Sie kann hingegen die Häufigkeit bzw. das Risiko des Auftretens erhöhen. Inwiefern hat in diesem Sinne der Mensch das Risiko eines Hitzesommers erhöht? Eine entsprechende Studie schätzt, dass der menschliche Einfluss dieses Risiko bisher mindestens verdoppelt hat. Diese Studie ist der erstmalige Versuch, den menschlichen Einfluss auf ein klimatisches Extremereignis zu quantifizieren [46]. In den Überlegungen zur Zukunft sowohl bezüglich Folgen als auch Massnahmen ist zu berücksichtigen, dass sich auch die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen verändern werden. So können beispielsweise der technologische Fortschritt oder steigende Energiepreise grossen Einfluss auf erforderliche Massnahmen haben. Auch die Anpassungs- und Lernfähigkeit der Individuen und der Gesellschaft werden eine Rolle spielen. Prognosen im Hinblick auf diese Veränderungen sind jedoch sehr schwierig.

Es stellt sich auch die Frage, wie sich zwei direkt aufeinanderfolgende heisse, trockene Sommer auswirken würden. Es ist anzunehmen, dass vor allem bei der Vegetation die Auswirkungen deutlich verstärkt werden könnten.

Abbildung 16: Modellierung des zukünftigen Klimas: in blau die Modellresultate für die Zeit von 1961–1990, in rot die Modellwerte für 2071–2100.



Quelle: Schär et al. 2004 [12]

10. Zusammenfassung und Empfehlungen

Auswirkungen des Hitzesommers

Die Folgen extremer Hitzewellen hat die Schweiz im Jahr 2003 erfahren. Unvorstellbar für die einen, dass Hitze plötzlich zur Qual wird oder gar lebensbedrohlich. Unvorstellbar auch, dass der Rhein sich so aufheizt, dass wegen der hohen Wassertemperaturen Zehntausende von Fischen sterben. Die Gletscher reagierten mit einer Rekordschmelze, der tauende Permafrost verursachte eine Häufung von Felsstürzen. Wo waren die Auswirkungen – ob gesundheitlicher, ökologischer oder finanzieller Art – spürbar?

Besonders schwerwiegend waren die Folgen der Hitze im Sommer 2003 für die *Gesundheit*. Die hohen Temperaturen forderten zahlreiche Todesopfer, was bei den Medien ein grosses Echo und in der Bevölkerung Betroffenheit auslöste. Europaweit starben Zehntausende von Menschen – allein in der Schweiz werden die zusätzlichen Todesfälle auf knapp 1000 geschätzt. Ein Teil dieser Todesfälle wird den konstant hohen Ozonwerten und der erhöhten Feinstaubbelastung angelastet. Die schlechte Luftqualität führte überdies bei empfindlicheren Personengruppen zu Schleimhautreizungen, Entzündungsreaktionen und eingeschränkter Lungenfunktion.

Auf die *Gewässer* wirkte sich der Sommer 2003 aufgrund der extremen Trockenheit und der Hitze stark aus. Tiefe Pegel- und Grundwasserstände sowie hohe Wassertemperaturen gehörten zu den wichtigsten Folgen. Diese Veränderungen führten für zahlreiche Fischpopulationen zu lebensbedrohlichen Bedingungen. Sie hatten auch Rückwirkungen auf den Menschen, indem bei kleineren, nicht vernetzten Wasserversorgungen Engpässe auftraten. Wasserentnahmen durch die Landwirtschaft führten überdies zu Interessenkonflikten mit dem Gewässerschutz.

Die *Gletscher* reagierten mit einer Rekordschmelze auf den Sommer 2003: Der Volumenverlust wird in den Alpen auf 5 bis 10% geschätzt. Der starke Gletscherschwund aufgrund von Hitze und Trockenheit wurde durch das frühe Ausapern der Gletscher noch zusätzlich begünstigt. Der massive Abschmelzprozess führte in Fliessgewässern mit vergletschertem Einzugsgebiet zu hohen Abflüssen.

Beim *Permafrost* bewirkten Strahlung und Hitze im Sommer 2003 eine massiv mächtigere Auftauschicht in eisarmen Felsflanken als in den Vorjahren. In der Folge wurde eine ausserordentlich grosse Zahl von Felsstürzen ausgelöst. Die Tatsache, dass auch im Jahr 2004 der Untergrund wesentlich tiefer hinab taute als in den Jahren vor dem Hitzesommer, weist auf eine strukturelle Veränderung der Permafrost-Auftauschicht in den betroffenen Gebieten hin.

Für die Schweizer *Landwirtschaft* hatte das Jahr 2003 unterschiedliche und teilweise gegensätzliche Konsequenzen. Während im Frühjahr die optimale Witterung dem Gemüsebau Rekordernnten bescherte und die guten Bedingungen im Herbst den Weinbau begünstigten, führte die Trockenheit im Sommer zu Ernteaussfällen und Knappheit bei den Futtermitteln. Um Engpässe, insbesondere bei den Futtermitteln, zu mildern, ergriffen Bund und Kantone eine Reihe von Massnahmen. Insgesamt hatte das Jahr 2003 jedoch keine längerfristig wirksamen, negativen Auswirkungen auf die Schweizer Landwirtschaft.

Die natürliche *Vegetation* entwickelte sich gegenüber durchschnittlichen Jahren stark verfrüht, insbesondere im Sommer und Herbst. Viele Pflanzen litten unter Trockenstress, wodurch das Pflanzenwachstum beeinträchtigt wurde. Die anhaltende Trockenheit führte überdies zu einem starken Wiederanstieg des Borkenkäferbefalls, der nach dem Sturm Lothar 1999 eingesetzt hatte. In den Tieflagen des Wallis nahm das seit einiger Zeit beobachtete Föhrensterben stark zu.

Empfehlungen für Massnahmen

Vom Hitzesommer 2003 wurde die Schweiz wie auch das übrige Mitteleuropa überrascht. Massnahmen erfolgten nur als Reaktion auf die unmittelbare Situation. Es leuchtet daher ein, dass negative Auswirkungen nur noch teilweise verhindert respektive gemildert werden konnten. Um in Zukunft für solche Ereignisse besser vorbereitet zu sein, müssen die Erfahrungen des Sommers 2003 genutzt werden. Die Wahrnehmung kritischer Bereiche ermöglicht es, bereits heute entsprechend zu reagieren.

Massnahmen auf öffentlicher Ebene

Bereits initiierte oder realisierte Massnahmen

- Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) hat bereits auf die gravierenden gesundheitlichen Auswirkungen reagiert und erste Massnahmen ergriffen. Primäres Ziel ist die vorsorgliche Aufklärung der Bevölkerung über die potenzielle Gefahr von Hitzewellen. Eine Internetseite ermöglicht den Zugang zu entsprechenden Informationen und Faktenblättern (www.hitzewelle.ch). Auch Pflegende und die Ärzteschaft werden vermehrt auf die gesundheitlichen Gefahren aufmerksam gemacht, da insbesondere alleinstehende, ältere Menschen ohne eine entsprechende Betreuung durch Hitzewellen gefährdet sind.
- Um beim Auftreten von Hitzetagen ein Instrument zur Warnung der Bevölkerung zur Hand zu haben, wurde eine Hitzewarnung eingerichtet. MeteoSchweiz informiert die kantonalen Behörden in Form des sogenannten „heat flash“, wenn an drei aufeinander folgenden Tagen (und Nächten) die Temperaturen oberhalb eines Schwellenwertes liegen.

Empfehlungen für weitere Massnahmen

- **Nachhaltige Wasserbewirtschaftung:** Wasser war bisher für einen grossen Teil der Schweizer Bevölkerung eine Selbstverständlichkeit. Die Trockenheit des Sommers 2003 hat deutlich gemacht, dass die Wasserbewirtschaftung vermehrt ins Auge gefasst werden muss. Die vielfältigen Nutzungsansprüche durch Bevölkerung, Landwirtschaft, Energieproduktion etc. erfordern eine langfristige, nachhaltige Wasserbewirtschaftung, die auch im Krisenfall funktioniert. Grundlage hierzu ist ein umfassendes Monitoring der Wasserressourcen.
- **Ausbau der Wasserverbundsysteme:** Kleinere, nicht vernetzte Wasserversorgungen müssen zunehmend in Verbundsysteme integriert werden, so dass die Wasserversorgung auch bei langandauernder Trockenheit gewährleistet ist.
- **Aufbau von Bewässerungssystemen:** Es ist aufgrund der Klimaänderung absehbar, dass

in Zukunft auch bisher nicht bewässerte Gebiete vermehrt auf Bewässerungssysteme angewiesen sein werden. Bund und Kantone haben die Aufgabe, die Zweckmässigkeit und die Anwendung von Bewässerungssystemen zu prüfen und das entsprechende Know-how zu vermitteln.

- **Überwachung und Sicherung von Permafrostgebieten:** Die Destabilisierung in Permafrostgebieten erfordert eine genaue Abklärung des Gefahrenpotenzials bezüglich Murgängen, Berg- und Felsstürzen in jenen Regionen, wo ein Schadenspotenzial (Siedlungen/Infrastrukturen) vorhanden ist. Zukünftig sind auch grössere Ereignisse möglich. Beim Auftreten von Hitzewellen müssen je nach Bedarf Permafrostgebiete beobachtet und bei Gefährdung entsprechende Schutzmassnahmen ergriffen werden (z.B. Absperren von Wanderwegen).
- **Schutz der Atmosphäre:** Von besonderer Wichtigkeit sind die Förderung nationaler und internationaler Massnahmen in der Lufthygiene. Kurzfristig bringt eine Reduktion der Luftbelastung durch Ozon, Stickoxid und Feinstaub vor allem eine Verminderung der negativen gesundheitlichen Auswirkungen. Beim Auftreten von Hitzewellen verschlechtert sich in der Regel die Luftqualität noch zusätzlich. Mittel- und langfristig muss sich die Aufmerksamkeit auf eine Reduktion der Treibhausgasemissionen richten, um die globale Erwärmung so rasch als möglich zu bremsen.
- **Pflanzung klimaangepasster Baumarten:** Die natürliche Verteilung der Waldbaumarten wird sich aufgrund der Klimaänderung verschieben. Um eine langfristige Stabilität der Bestände zu sichern, sollten in der Forstwirtschaft standortangepasste und zugleich trockenheits- und wärmeangepasste Baumarten gefördert werden. An trockenheitsanfälligen Standorten, wie zum Beispiel in den Tieflagen des Wallis, ist zumindest eine teilweise Revision der Produktionsziele erforderlich.

Massnahmen auf individueller Ebene

- **Angepasste Lebensweise:** Beim Auftreten von Hitzewellen helfen verschiedene Massnahmen wie ausreichende Flüssigkeitszufuhr, eine reduzierte körperliche Aktivität oder der Aufenthalt in kühlen Räumen (weitere Hinweise auf dem Merkblatt „Heisse Tage – Kühle Köpfe“ des BAG, verfügbar unter www.hitzewelle.ch).
- **Betreuung von gefährdeten Menschen:** Ältere, alleinstehende Menschen sind im Falle von Hitzewellen besonders gefährdet. Sie sind nicht in der Lage, Massnahmen zum Schutz vor Hitze zu ergreifen oder spüren die Notwendigkeit nicht. Die Betreuung von Betagten und Pflegebedürftigen ist daher beim Auftreten von Hitzewellen besonders wichtig.
- **Wasser sparen:** Wasser ist eine kostbare Ressource, die selbst in der Schweiz nicht unbeschränkt verfügbar ist. Mit einfachen Massnahmen lässt sich im Haushalt Wasser sparen, beispielsweise durch die Installation wassersparender Geräte und Hilfsmittel sowie ein entsprechendes Verhalten. Auch ausserhalb des Hauses, z.B. bei der Gartenbewässerung und beim Auto waschen, sind Einsparungen möglich.
- **Energie sparen:** Im Hinblick auf die Klimaänderung drängt sich auch ein sorgfältigerer Umgang mit fossilen Energien auf. Sparmassnahmen sind nicht nur sinnvoll im Hinblick auf eine Reduktion der klimarelevanten Treibhausgasemissionen, sondern haben auch kurzfristig positive Auswirkungen auf die Luftqualität. Eine massgebliche Quelle von Luftschadstoffen ist der Verkehr, dessen starke Zunahme die Erfolge von technischen Massnahmen teilweise kompensiert.
- **Erhöhte Energieeffizienz im Wohnungsbau:** Beim Eigentumsbau steigt das Bedürfnis nach einer zukunftsgerechten Bauweise: Zukunftsgerechtes Bauen erfordert nicht nur eine Berücksichtigung des Klimas in dreissig oder vierzig Jahren, sondern stellt auch Ansprüche an die Energieeffizienz. Eine angepasste Konstruktion und eine entsprechende Isolation kann zu Ersparnissen bei den Heizaufwendungen führen und den Einbau einer Klimaanlage überflüssig machen.

Fazit

Aufgrund des gegenwärtigen Wissensstandes muss im Zusammenhang mit der Klimaänderung mittelfristig mit einer Zunahme von Hitzewellen gerechnet werden. Spezifische Massnahmen – unter anderem eine ausgewogene Wasserbewirtschaftung, Reduktionsmassnahmen bei den Luftschadstoffen und Vorsorgemassnahmen im Gesundheitsbereich – können die negativen Auswirkungen von Hitzeperioden mildern. Die Durchsetzung dieser Massnahmen und deren Ergänzung aufgrund neuer Erkenntnisse aus der Forschung ist daher wichtig. Dies befreit jedoch nicht vor der langfristigen Aufgabe, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Die Klimaänderung findet statt – sie muss so rasch als möglich gebremst werden.

Literatur

- [1] Subak S., Palutikof J.P., Agnew M.D., Watson S.J., Bentham C.G., Cannell M.G.R., Hulme M., McNally S., Thorne J.E., Waughray D. and Woods J.C., 2000: The impact of the anomalous weather of 1995 on the U.K. economy. *Climatic Change* 44: 1–26.
- [2] Luterbacher J. und MitarbeiterInnen, 2005: Wie aussergewöhnlich war der Hitzesommer 2003 im Vergleich zu den letzten Jahrhunderten? Abstract zum Hitzesommer 2003.
- [3] Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., Grosjean M. and Wanner H., 2004: European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500, *Science*, 303, 1499–1503.
- [4] Büntgen U., Frank D.C., Nievergelt D. and Esper J.: Alpine summer temperature variations, AD 755–2004. Zur Publikation eingereicht.
- [5] Bader S., 2004: Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003. Arbeitsbericht Nr. 200, MeteoSchweiz.
- [6] BUWAL, BWG, MeteoSchweiz, 2004: Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Schriftenreihe Umwelt Nr. 369. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 174 S.
- [7] Rebetez M., 2004: Summer 2003 maximum and minimum daily temperatures over a 3300 m altitudinal range in the Alps, *Climate Research* 27:45–50.
- [8] Casty C., Wanner H., Luterbacher J., Esper J. and Böhm R., 2005: Temperature and precipitation variability in the European Alps since 1500. *Int. J. Climat.*, 25, 1855–1880, DOI: 10.1002/joc1216.
- [9] Keller F. and Fuhrer J., 2004: Die Landwirtschaft und der Hitzesommer 2003. *AGRARForschung* 11(9): 403–410.
- [10] Rebetez M., Mayer H., Dupont O., Schindler D., Gartner K., Kropp J. & Menzel A., 2005. Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis. *Annals of Forest Sciences*, submitted.
- [11] MeteoSchweiz, 2004: Jahreswitterungsbericht 2003. MeteoSchweiz, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie.
- [12] Schär C., Vidale P.L., Lüthi D., Frei C., Haeberli C., Liniger M.A. and Appenzeller C., 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427:332–336.
- [13] Xoplaki E., Luterbacher J., Paeth H., Dietrich D., Steiner N., Grosjean M. and Wanner H., 2005: European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L15713 (DOI:10.1029/2005GL023424).
- [14] Jankowski T., Livingstone D.M., Bührer H., Forster R. and Niederhauser P., 2005: Consequences of the 2003 European heatwave for lakes: implications for a warmer world. Submitted to *Geophysical Research Letters*.
- [15] Haeberli W., Paul F., Gruber St., Frauenfelder R., Hoelzle M., Käab A., Machguth H., Noetzli J., Rothenbühler C., Vonder Mühl D. and Zemp M., 2005: Effects of the extreme summer 2003 on glaciers and permafrost in the Alps. *Geograph. Inst., Universität Zürich*.

- [16] Gruber S., Hoelzle M. and Haeberli W., 2004: Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003. *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, L13504
- [17] Keusen H.R., 2005: Felstemperaturen und Felsstürze im Hochgebirge. Geotest AG, Bern.
- [18] Rist A. and Phillips M., 2004: Permafrost – Taut die Schweiz auf? Newsletter Naturgefahren 01 / Juli 2004.
- [19] Eidgenössische Kommission für Lufthygiene EKL, 2004: Sommersmog. Stellungnahme der Eidg. Kommission für Lufthygiene. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- [20] Ordóñez C., Mathys H., Furger M., Henne S., Hüglin C, Staehelin J. and Prévôt A.S.H., 2005: Changes of daily surface ozone maxima in Switzerland in all seasons from 1992 to 2002 and discussion of summer 2003. *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1187–1203.
- [21] Grize L., Huss A., Thommen O., Schindler C. and Braun-Fahrländer C., 2005: Heat wave and mortality in Switzerland. *Swiss Med Wkly* 2005; 135:200–205.
- [22] United Nations Environment Programme (UNEP), 2004. Impacts of summer 2003 heat wave in Europe. 2nd issue of Early Warning on Emerging Environmental Threats. United Nations Environment Programme.
- [23] Kovats S., Wolf T. and Menne B., 2004. Heatwave of August 2003 in Europe: provisional estimates of the impact on mortality. *Eurosurveillance Weekly* 2004; 8(11): 11/03/2004.
- [24] Thommen Dombois O., 2005: Direkte und indirekte Auswirkungen der Klimaänderung auf die Gesundheit. Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel.
- [25] Thommen Dombois O. & Braun-Fahrländer C., 2004: Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Literaturstudie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und des Bundesamtes für Gesundheit (BAG).
- [26] Zeltner T., 2005. Referat anlässlich der Medienkonf. v. 24.5.2005: Heisse Tage – Kühle Köpfe.
- [27] Fischer P.H., Brunekreef B. and Lebrecht, E., 2004: Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands, *Atmos. Environ.*, 38, 1083–1085.
- [28] Stedman J.R., 2004: The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave, *Atmos. Environ.*, 38, 1087–1090.
- [29] Gehrig R., 2005: The influence of the hot and dry summer 2003 on the pollen season in Switzerland. *Aerobiologia*, submitted.
- [30] Gehrig R., Clot B. and Köhler B. 2004: The influence of the hot and dry summer 2003 on the pollen season in Switzerland: Does it show a future scenario of climate change? XI International Palynological Congress, Polen (Asoc. Palinol. Leng. Esp.) Vol. 14, 93–94.
- [31] Hiltbrunner E. & Körner C., 2005: Alpine Pflanzen im Hitzesommer 2003. Univ. Basel.
- [32] Jolly W.M., Dobbertin M., Zimmermann N.E. and Reichstein M., 2005: Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the European Alps. Draft Version.

- [33] Vollenweider P., Laverrière M., Schneiter G., Rihm B., Menard T., Schaub M. and Günthardt-Goerg M.S., 2005: Diagnosis of drought and ozone effects on the foliage of mature *Fagus sylvatica* L. trees during the summer of 2003. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf.
- [34] BUWAL, WSL, 2005: Waldbericht 2005. Zahlen und Fakten zum Zustand des Schweizer Waldes. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern und Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf.
- [35] Meier F., Engesser R., Forster B. und Odermatt O., 2005: Forstschutz-Überblick 2004. Herausgeber: Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf.
- [36] Dobbertin M., Rigling A. and Graf Pannatier E., 2005: Der Einfluss von Trockenheit, i.spez. des Hitzesommers 2003, auf die grossflächigen Absterbeprozesse in den Walliser Waldföhrenwäldern. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf.
- [37] Burga Conradin A., 2005: Unkraut-Monitoring 2001–2005: der Hitzesommer 2003. Geograph. Inst., Universität Zürich.
- [38] Defila C., 2004: Der Sommer und Herbst 2003 aus phänologischer Sicht. Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen 155 (2004) 5: 142–145.
- [39] Zingg A., Cherubini P., Rigling A. and Bürgi A., 2005: Wachstumsreaktionen von Buche, Fichte und Tanne auf Sommertrocknis: Analyse alter Daten zur Waldentwicklung. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf.
- [40] Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 2004: Pressemitteilung vom 22. März 2004: 2003: So viele Borkenkäfer wie noch nie.
- [41] Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 2005: Waldschutz Aktuell – 1/2005.
- [42] Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), 2003: Agrarbericht 2003 des Bundesamtes für Landwirtschaft.
- [43] SwissRe, 2004: Natur- und Man-made-Katastrophen im Jahr 2003: Zahlreiche Todesopfer, vergleichsweise moderate Versicherungsschäden. Sigma 1(1), 10.
- [44] Scherrer S.C., Appenzeller C., Liniger M.A. and Schär C., 2005: European temperature distribution changes in observations and climate change scenarios, Geophys. Res. Lett., 32, L19705, doi:10.1029/2005GL024108.
- [45] Beniston M., 2004: The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. Geophys. Res. Letters, 31, L02202
- [46] Stott P.A., Stone A.D. and Allen M.R., 2004: Human contribution to the European heatwave of 2003. Nature, 432, 610 – 614 doi:10.1038/nature03089.

