
Klimawandel und phänologische Trends laut Beobachtungen an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein und ihre Auswirkungen auf die Kulturlandschaft

A. BOHNER, O. BRUCKNER, J. BRUCKNER, CH. POPPELBAUM, M. SCHINK und H. SCHWARZ

Zusammenfassung

Mit Hilfe pflanzenphänologischer und meteorologischer Zeitreihenanalysen wurde der Klimawandel in Irndning charakterisiert. Die Lufttemperatur ist während der letzten 12 Jahre nur in der Vegetationsperiode (1.4. bis 30.9.) im Vergleich zum langjährigen Mittel (1953-2004) tendenziell leicht angestiegen. Die vergangenen 12 Jahre waren in den Monaten April bis August im Durchschnitt wärmer und im September kühler als das langjährige Monatsmittel der Lufttemperatur. Besonders deutlich war die Temperaturerhöhung in den Monaten Mai und August. Die Niederschlagssummen haben während der letzten 12 Jahre sowohl in der Vegetationsperiode als auch während des Jahres im Vergleich zum langjährigen Mittel tendenziell leicht zugenommen. Die vergangenen 12 Jahre waren während der Vegetationsperiode vor allem in den Monaten Juni und September im Durchschnitt niederschlagreicher als das langjährige Monatsmittel. Bei den meisten untersuchten Gefäßpflanzenarten weist die Trendlinie in den phänologischen Zeitreihen im Beobachtungszeitraum 1994 bis 2005 einen leicht U-förmigen Verlauf auf. Bis zum Jahr 2002 bzw. 2003 war sehr häufig eine kontinuierliche Verfrühung der Eintrittstermine pflanzenphänologischer Phasen zu beobachten. In den nachfolgenden kühleren, niederschlag-, schnee- und wolkenreicheren Jahren 2004 und 2005 war meist eine deutliche Verspätung der pflanzenphänologischen Entwicklung festzustellen. Für die pflanzenphänologische Entwicklung vor allem im Frühling spielen Lufttemperatur, Strahlung, Sonnenschein- und Schneedeckendauer eine überragende Rolle. Daher

konnte im Untersuchungsgebiet keine generelle Verfrühung pflanzenphänologischer Phasen im Zeitraum 1994 bis 2005 festgestellt werden, obwohl die Lufttemperatur während der Vegetationsperiode im Vergleich zum langjährigen Mittel (1953-2004) tendenziell leicht zunimmt. Die Auswirkungen des lokalen Klimawandels auf die Kulturlandschaft werden diskutiert.

Einleitung

Klimaänderungen, Änderungen in der Klimavariabilität (z.B. zeitliche Niederschlagsverteilung) und zunehmende Häufigkeit extremer Witterungsereignisse (z.B. häufigere und länger andauernde Trockenperioden, vermehrt Starkniederschläge und Hagelunwetter) sind weltweit zu beobachten. Besonders deutlich waren die Änderungen bei der Temperatur, die im letzten Jahrhundert im globalen Mittel um etwa 0,6 °C gestiegen ist. In Europa nahm die Temperatur in diesem Zeitraum um etwa 0,8 °C und in Österreich um nahezu 1,8 °C zu, wobei alle Höhenlagen betroffen waren. In den nächsten 100 Jahren ist mit einer globalen Temperaturerhöhung von 1,4 bis 5,8 °C zu rechnen. In den regionalen Klimaszenarien beträgt die Temperaturzunahme innerhalb der nächsten 80 Jahre bis zu 5 °C. Alle Klimamodelle prognostizieren eine höhere Temperaturzunahme im Winter und Sommer als in den Übergangsjahreszeiten. Bei Temperaturzunahmen um 1 bis 2 °C bis in 1500 m Höhe muss man mit einem Rückgang der Andauer der Schneedecke um 20 bis 40 Tage rechnen; der Anteil des Schnees am Niederschlag geht zurück und eine Verschiebung der Höhenstufen der Vegetation ist wahrscheinlich. Neben der Temperatur haben sich auch die Nieder-

schlagsmengen global verändert. Es wird eine Zunahme der Niederschläge in den mittleren und hohen Breiten der Nordhemisphäre festgestellt, wobei dies mit häufigerem Auftreten von Starkniederschlägen einhergeht. Im südalpinen Raum und im Osten Österreichs ist eher ein Rückgang der Niederschlagsmengen festzustellen (ALEXANDROV et al., 2001; KROMP-KOLB, 2003, 2004; KROMP-KOLB und FORMAYER, 2005a,b). In den phänologischen Zeitreihen sind ab Mitte der 1980er Jahre deutlich frühere Eintrittstermine der phänologischen Pflanzenphasen zu beobachten. Im Mittel ergibt sich für die Blattentfaltung und Blüte in Europa eine Verfrühung um 1,4 bis 3,1 Tage pro Jahrzehnt. Für Eurasien ist eine Verlängerung der Vegetationsperiode um bis zu 17 Tage seit 1981 festzustellen (KOCH und SCHEIFINGER, 2002, 2004, 2005).

Lokale Faktoren können den globalen Klimawandel verstärken oder abschwächen. Der Klimawandel kann daher lokal sehr unterschiedliche Auswirkungen zeigen. Für die Klimaforschung wird es immer wichtiger, nicht nur die unmittelbaren Klimafaktoren, wie Temperatur oder Niederschlag, sondern auch die direkten Auswirkungen in der Natur zu beobachten und aufzuzeichnen (KROMP-KOLB und FORMAYER, 2005b). Dies erfolgt unter anderem durch die Pflanzenphänologie. Die Pflanzenphänologie hat die Aufgabe, die verschiedenen im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Wachstumsercheinungen der Pflanzen zu beobachten und die Zeit ihres Eintretens festzuhalten, die Gesetzmäßigkeiten im periodischen Wachstumsablauf festzustellen und die Abhängigkeit dieses Ablaufs von den Umweltbedingungen (insbesondere

Autoren: Dr. Andreas BOHNER, Christa POPPELBAUM und Martina SCHINK, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Abteilung für Umweltökologie, Raumberg 38, A-8952 IRDNING; Oliver BRUCKNER und Josef BRUCKNER, Raumberg 76, A-8952 IRDNING; Dr. Herbert SCHWARZ, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING

Klima und Boden) zu untersuchen (SCHNELLE, 1955). Umgekehrt kann man aus dem phänologischen Verhalten der Pflanzen gewisse Schlüsse auf das Klima ziehen, das am Standort der Pflanze wirksam ist, weil die Schwankungen der Eintrittszeitpunkte pflanzenphänologischer Phasen von Jahr zu Jahr großteils durch das lokale Klima gesteuert werden (SEYFERT, 1960). Mit Hilfe pflanzenphänologischer Beobachtungen kann man ohne umfangreiche messtechnische Ausrüstung Aussagen zum lokalen Klimawandel machen, denn die Pflanzen können als empfindliche Messinstrumente (Bioindikatoren) der lokalen Atmosphäre betrachtet werden (KOCH und SCHEIFINGER, 2004).

Ziel dieser Arbeit ist es daher, mit Hilfe pflanzenphänologischer Beobachtungen und meteorologischer Daten

- Aussagen über einen lokalen Klimawandel zu machen
- die möglichen Auswirkungen auf die Kulturlandschaft zu dokumentieren und
- die Abhängigkeit der Eintrittszeitpunkte pflanzenphänologischer Phasen von einzelnen Klimaelementen zu analysieren.

Das Untersuchungsgebiet: Lage, Geomorphologie, Boden, Klima, Vegetation

Die phänologischen Beobachtungen sowie die Messungen und Beobachtungen meteorologischer Parameter erfolgten auf dem Gelände und in der nahen Umgebung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein bei Irnding im Mittleren Steirischen Ennstal (Abbildung 1). Die Pflanzenstandorte und die nahe gelegene Wetterstation befinden sich auf einer Eisrandterrasse in 702 m Seehöhe. Die geographischen Koordinaten lauten $47^{\circ}36.752' N$ und $14^{\circ}30.874' E$. Die Bodentypen reichen von flachgründige Ranker bis tiefgründige Braunerden aus fluvioglazialen Sedimenten. Die Bodenart ist meist lehmiger Sand und der Wasserhaushalt ist überwiegend frisch (gut mit Wasser versorgt). Die Juli-Temperatur beträgt im langjährigen Mittel $16,4^{\circ}C$, die Jänner-Temperatur $-3,5^{\circ}C$ und die Jahresmitteltemperatur $6,9^{\circ}C$. Der Jahres-Niederschlag macht im Durchschnitt 1033 mm aus (PILGER, 2005). Die Niederschläge sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt. In der Vegetationsperiode (April bis September) fallen etwa 63 % des Jahres-Niederschlags. Der Juli ist im langjährigen Mittel

der niederschlagreichste Monat gefolgt vom August; im Februar fallen die geringsten Niederschlagsmengen. Für das Niederschlagsgeschehen haben im Untersuchungsgebiet die West-, Nordwest- und Nord-Strömungen (Tiefdrucksysteme vom Atlantik und der Nordsee) die größte Bedeutung (WAKONIGG, 1978). Die Schneedeckenperiode beträgt im langjährigen Mittel 101 Tage im Jahr und die frostfreie Zeit erstreckt sich über 173 Tage (PILGER, 2005). Das Untersuchungsgebiet weist ein winterkaltes, sommerkühles, relativ niederschlag- und schneereiches, kontinental beeinflusstes Talbeckenklima auf (PILGER, 2005). Für die Vegetation sind vor allem die Temperatur und die Länge der Vegetationsperiode die begrenzenden klimatischen Faktoren. Im Untersuchungsgebiet kommen daher auch mehrere Kühlezeiger wie beispielsweise Schlangen-Knöterich (*Persicaria bistorta*) oder Faden-Simse (*Juncus filiformis*) am Talboden vor. Nur an südexponierten, besonders wärmebegünstigten Standorten können sich trockenheitstragende und wärmebedürftige Gefäßpflanzenarten halten; "echte" Trockenheits- und Wärmezeiger fehlen klimabedingt im Untersuchungsgebiet weitgehend. Der Fichten-Tannenwald ist in der montanen Stufe die Kli-

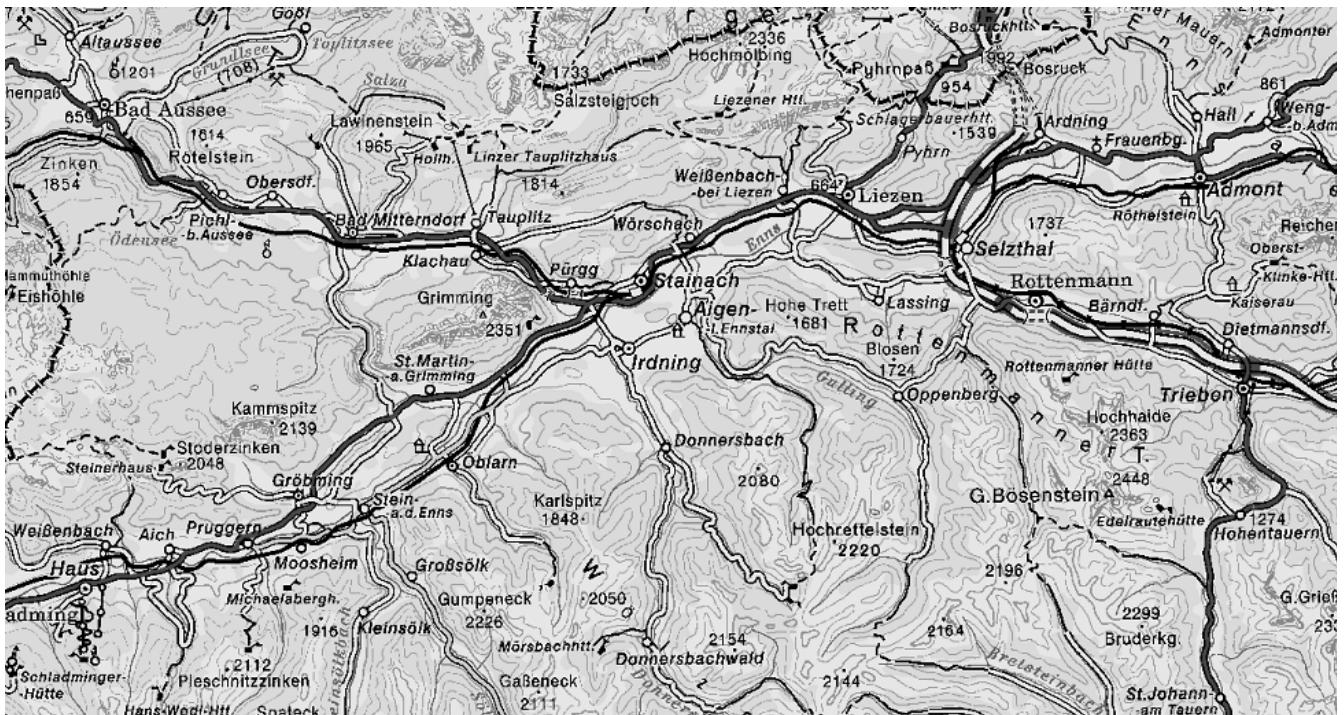


Abbildung 1: Geographische Lage der Wetterstation Irnding-Gumpenstein und der phänologischen Beobachtungsflächen

maxwaldgesellschaft (KILIAN et al., 1994). Das vorherrschende Klima begünstigt die Grünlandwirtschaft und die Viehzucht; der Ackerbau hat geringe volkswirtschaftliche Bedeutung.

Methoden

Alle phänologischen Beobachtungen wurden auf dem Gelände und in der nahen Umgebung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein entsprechend der Beobachtungsanleitung der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ANLEITUNG ZUR PHÄNOLOGISCHEN BEOBACHTUNG IN ÖSTERREICH, 2000) durchgeführt. Für diese Untersuchung wurden in erster Linie früh austreibende bzw. früh blühende, typische, im Untersuchungsgebiet weit verbreitete, wildwachsende Gefäßpflanzenarten, Ziersträucher, Zier- und Obstbäume ausgewählt, an denen markante pflanzenphänologische Entwicklungsphasen vom gleichen Beobachter am gleichen Standort seit über zehn Jahre datiert wurden. Damit werden subjektive Beobachtungsfehler auf ein Minimum reduziert und Fehlinterpretationen ausgelöst durch Standortwechsel vermieden. Unberücksichtigt blieben in dieser Arbeit landwirtschaftliche Nutzpflanzen, da bei dieser Pflanzengruppe Sortenunterschiede, an-

thropogene Kulturmaßnahmen und Wetterprognosen den Eintrittstermin pflanzenphänologischer Phasen maßgeblich beeinflussen, weshalb ein Rückschluss auf eventuelle Klimaänderungen problematisch ist. Die Nomenklatur der Gefäßpflanzenarten richtet sich nach ADLER et al. (1994). Die meteorologischen Parameter wurden an der Wetterstation Irndning-Gumpenstein, die sich auf dem Gelände der HBLFA Raumberg-Gumpenstein befindet, gemessen und entsprechend der ANLEITUNG FÜR DIE KLIMABEOBACHTUNGEN AN TEILAUTOMATISCHEN WETTER- UND KLIMASTATIONEN (2005) erhoben. Die Auswertung der phänologischen Beobachtungen und der meteorologischen Daten erfolgte mittels Beschreibender Statistik. Ausgewertet wurden nur jene Pflanzenarten, wo eine vollständige Zeitreihe (1994-2005) vorliegt. Um die Eintrittszeitpunkte pflanzenphänologischer Phasen im Zeitraum 1994 bis 2005 in ihrer Abhängigkeit vom Klima beurteilen zu können, wurden wesentliche meteorologische Parameter ab 1992 einer Zeitreihenanalyse unterzogen. Für die Vegetation, die Dauer und Eintrittszeitpunkte pflanzenphänologischer Phasen ist die Witterung insbesondere während der Vegetationsperiode entscheidend (LARCHER, 1994). Als Vegetationspe-

riode wurde in dieser Arbeit der Zeitraum 1. April bis 30. September willkürlich festgelegt.

Ergebnisse

Klima

Auf Grund der Zeitreihenanalysen (Abbildungen 2, 3) wird ersichtlich, dass im Untersuchungsgebiet während der letzten 12 Jahre die Lufttemperatur nur in der Vegetationsperiode (1.4. bis 30.9.) im Vergleich zum langjährigen Mittel (1953-2004) tendenziell leicht angestiegen ist. Die vergangenen 12 Jahre waren in den Monaten April bis August im Durchschnitt wärmer und im September kühler als das langjährige Monatsmittel der Lufttemperatur. Besonders deutlich war die Temperaturerhöhung in den Monaten Mai und August (Abbildung 4). Die Niederschlagssummen haben während der letzten 12 Jahre sowohl in der Vegetationsperiode als auch während des Jahres im Vergleich zum langjährigen Mittel (1953-2004) tendenziell leicht zugenommen (Abbildungen 2,3). Die vergangenen 12 Jahre waren während der Vegetationsperiode vor allem in den Monaten Juni und September im Durchschnitt niederschlagreicher als das langjährige Monatsmittel (Abbildung 4).

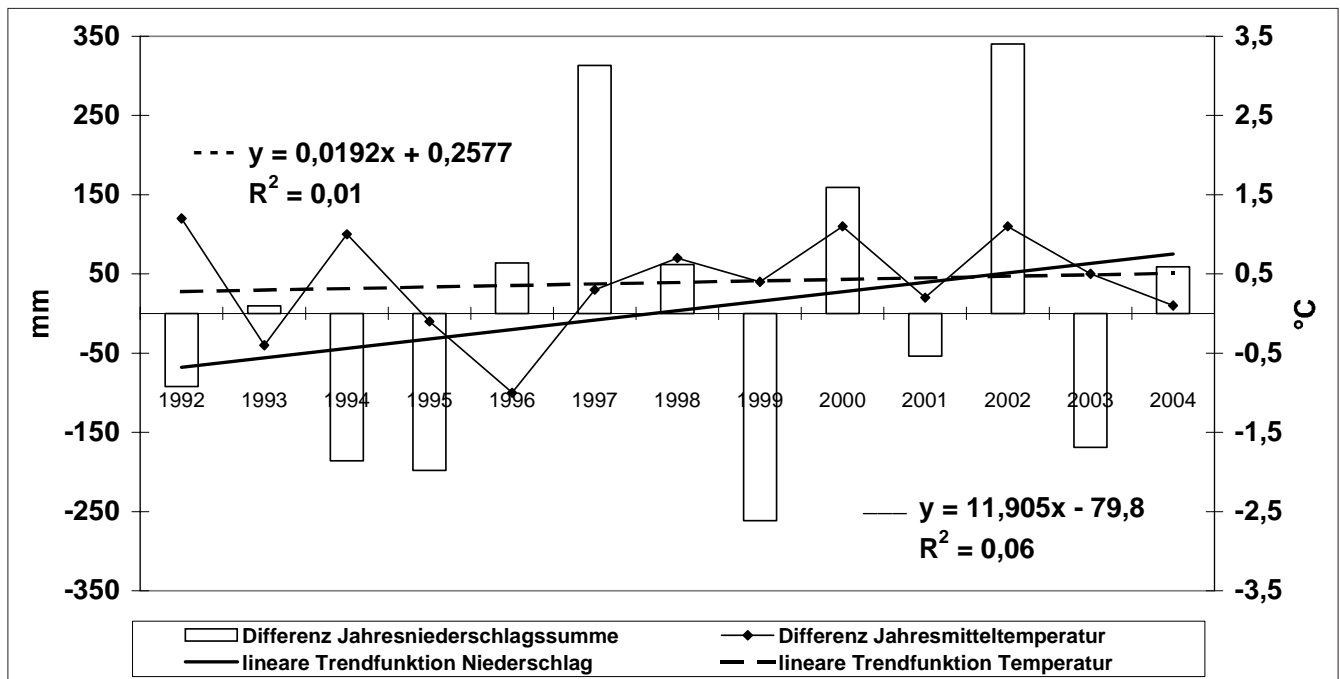


Abbildung 2: Abweichung der Jahresmitteltemperatur (°C) und der Jahresniederschlagssumme (mm) (1992-2004) vom langjährigen Mittel (1953-2004) (6,9 °C bzw. 1031 mm)

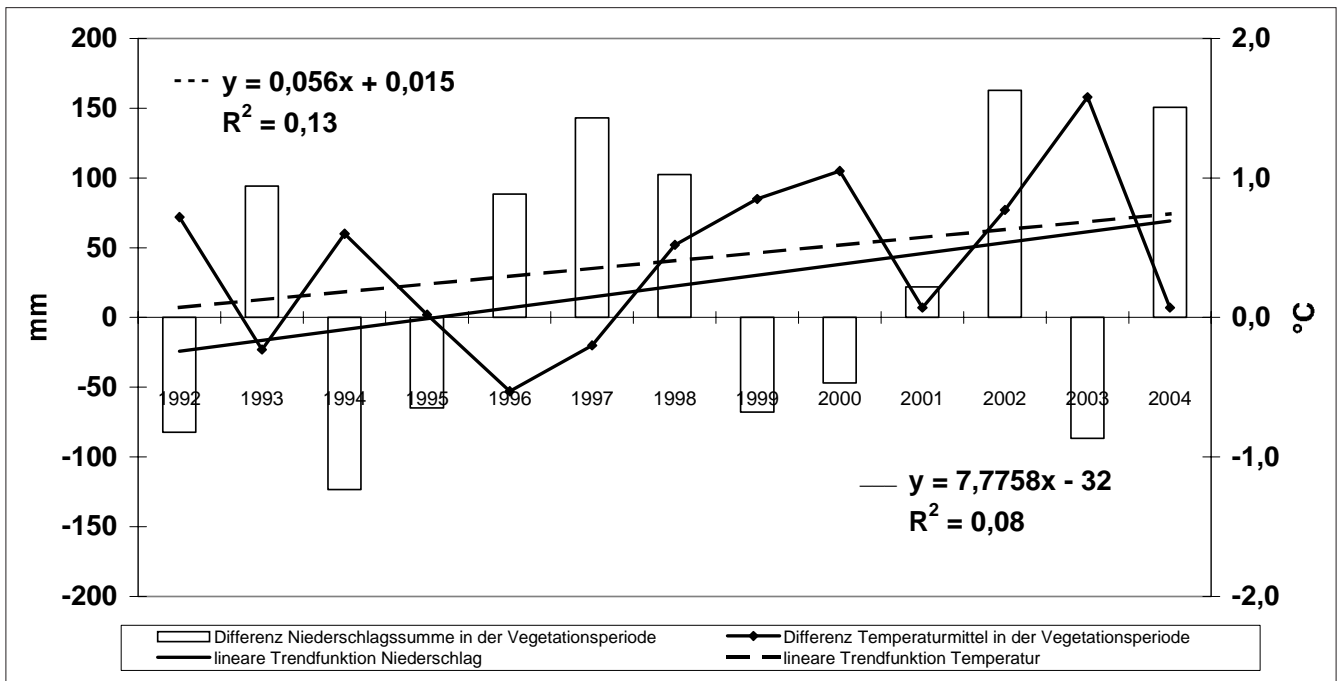


Abbildung 3: Abweichung des Temperaturmittels (°C) und der Niederschlagssummen (mm) (1992-2004) in der Vegetationsperiode (1.4.-30.9.) vom langjährigen Mittel (1953-2004) (13,1 °C bzw. 647 mm)

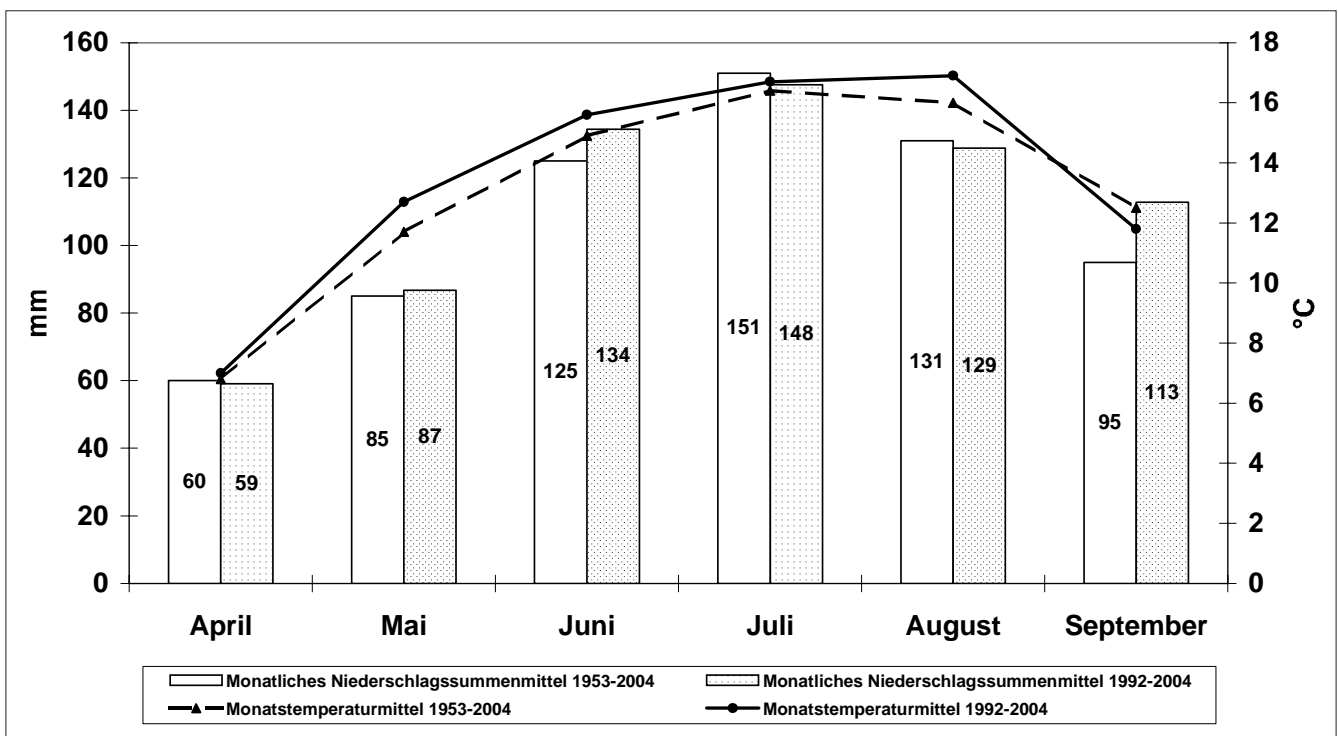


Abbildung 4: Langjähriges Monatsmittel der Temperatur (°C) und der mittleren monatlichen Niederschlagssumme (mm) in der Vegetationsperiode (1.4.-30.9.)

In den *Abbildungen 5-20* sind die Zeitreihe und Trendfunktion wesentlicher meteorologischer Parameter graphisch dargestellt. Die jährliche Variabilität der einzelnen Klimaelemente war in den vergangenen 12 Jahren relativ hoch. Ein ansteigender Trend konnte im Zeitraum 1992 bis 2004 am ehesten bei der Luft-

temperatur, Wärmesumme und Globalstrahlung während der Vegetationsperiode sowie bei der Sonnenscheindauer, Zahl der Sommertage und bei den Starkwindereignissen festgestellt werden (*Abbildungen 5, 6, 14, 15, 16, 20*). Ein abnehmender Trend war im Zeitraum 1992 bis 2004 am ehesten bei der Zahl der

Tage mit Schneebedeckung zu beobachten (*Abbildung 11*). Die Bodentemperatur zeigte in den vergangenen 12 Jahren in den Tiefenstufen 2 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm und 100 cm sowohl in der Vegetationsperiode als auch während des Jahres keinen eindeutigen Trend (keine Abbildung). Das Fehlen

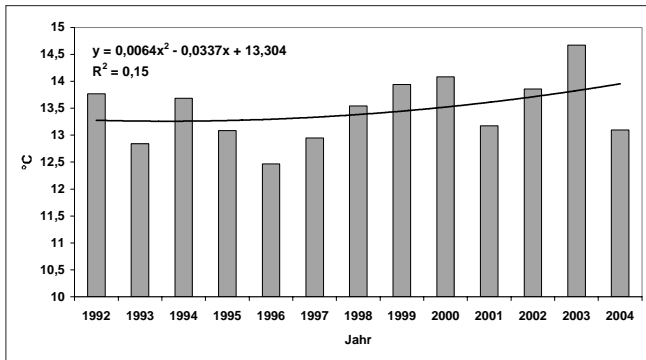


Abbildung 5: Mittelwerte der Lufttemperatur (°C) während der Vegetationsperiode (1.4.-30.9.)

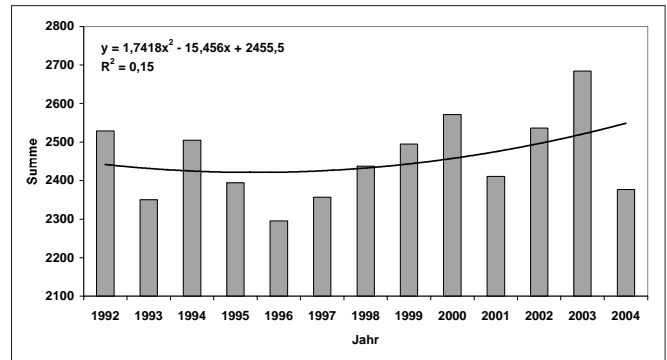


Abbildung 6: Wärmesummen in der Vegetationsperiode (1.4.-30.9.) (Summe positiver Tagesmitteltemperaturen)

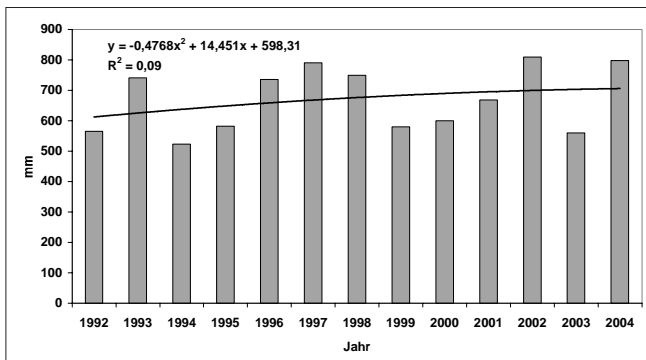


Abbildung 7: Niederschlagssummen (mm) in der Vegetationsperiode (1.4.-30.9.)

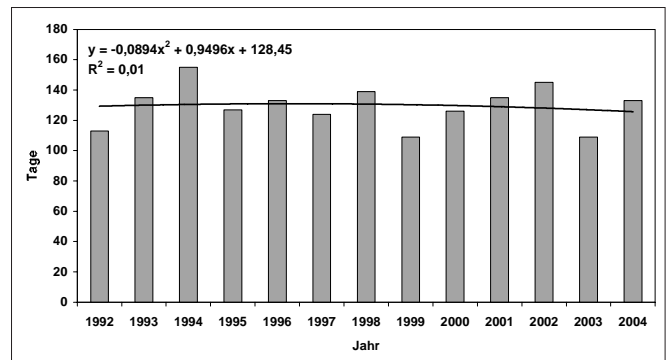


Abbildung 8: Zahl der Tage mit Regen

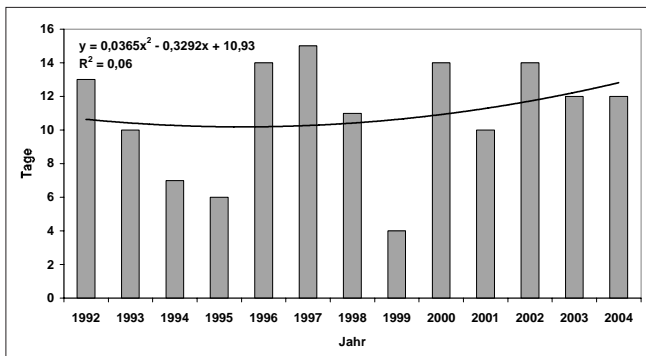


Abbildung 9: Zahl der Tage mit über 20 mm Niederschlag

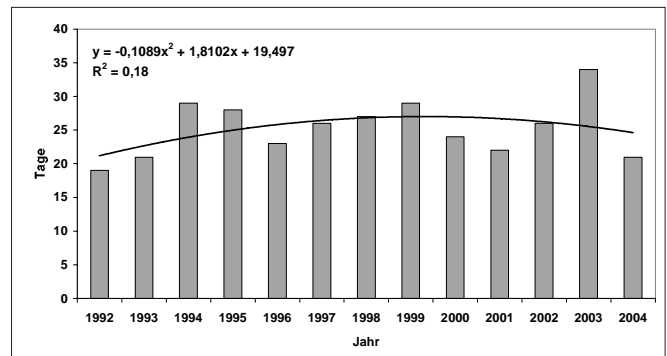


Abbildung 10: Zahl der Tage mit Gewitter (langjähriges Mittel: 24)

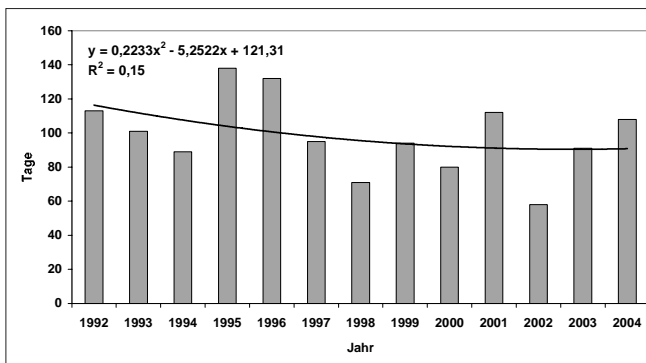


Abbildung 11: Zahl der Tage mit Schneebedeckung (langjähriges Mittel: 101)

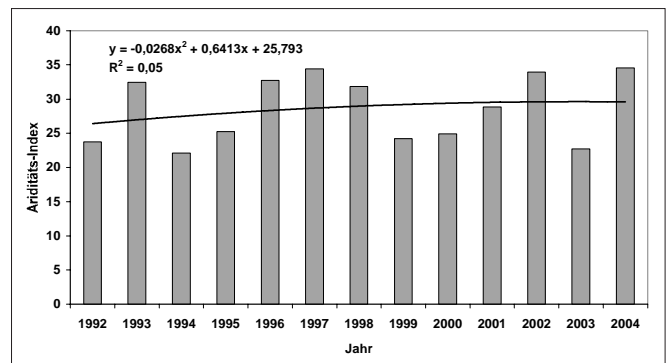


Abbildung 12: De Martonne's Ariditäts-Index während der Vegetationsperiode (1.4.-30.9.)

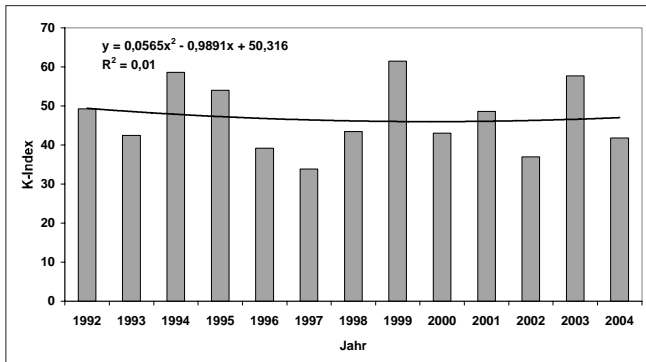


Abbildung 13: K-Index nach HARLFINGER (2004)

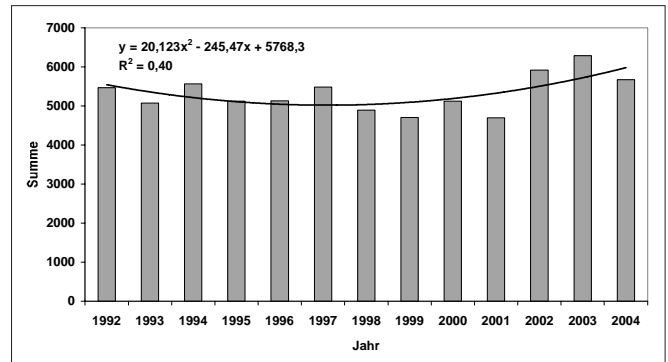


Abbildung 14: Summen der Globalstrahlung (J cm⁻²) in der Vegetationsperiode (1.4.-30.9.)

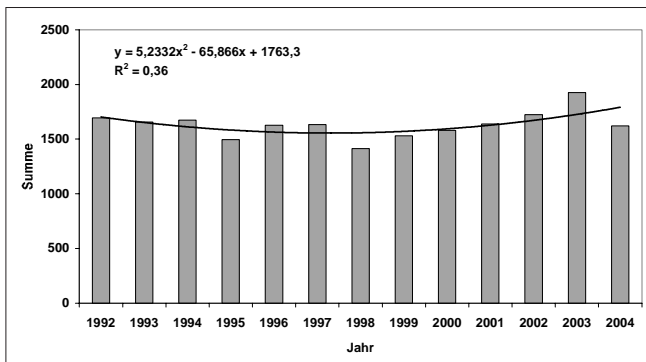


Abbildung 15: Jahressummen der Sonnenscheindauer (Stunden)

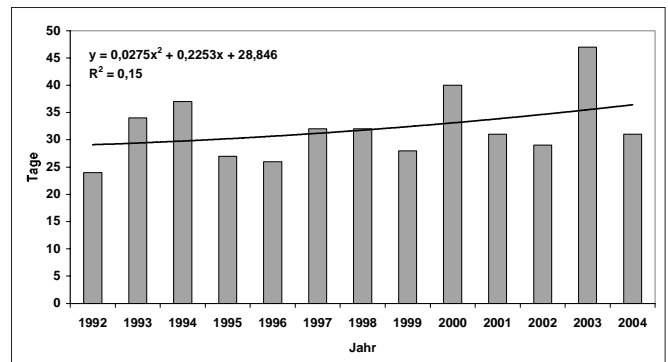


Abbildung 16: Zahl der Sommertage (Temperaturmaximum >= 25 °C) (langjähriges Mittel: 45)

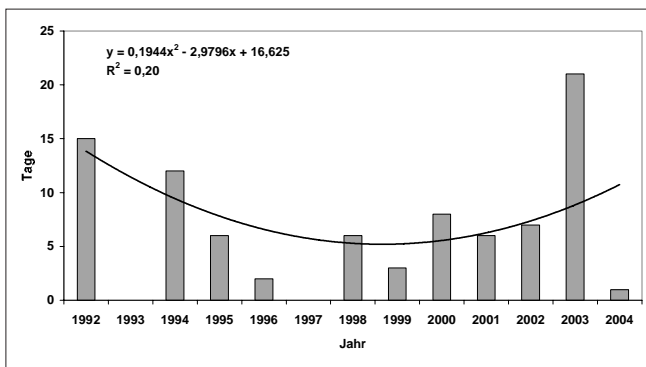


Abbildung 17: Zahl der Tropentage (Temperaturmaximum >= 30 °C) (langjähriges Mittel: 6)

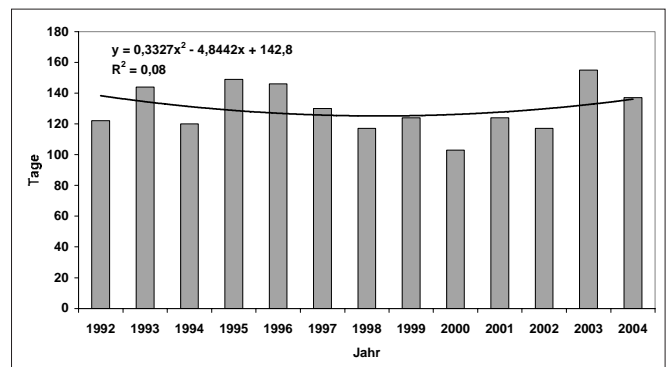


Abbildung 18: Zahl der Frosttage (Temperaturminimum unter 0 °C) (langjähriges Mittel: 136)

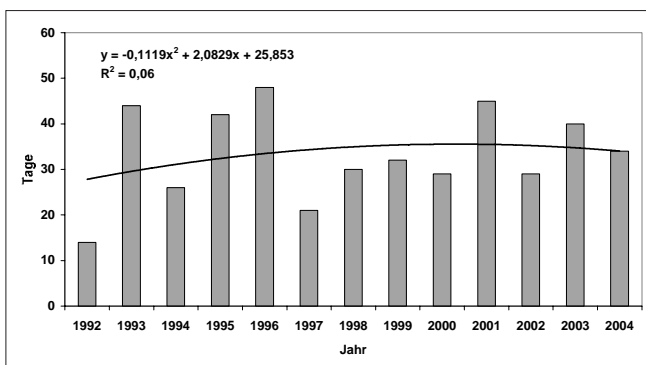


Abbildung 19: Zahl der Eistage (Temperaturmaximum unter 0 °C) (langjähriges Mittel: 29)

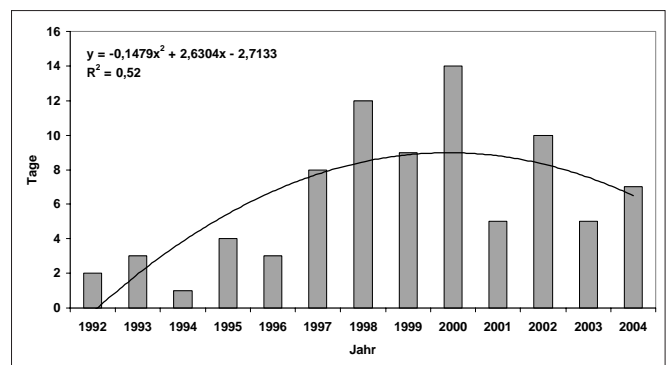


Abbildung 20: Zahl der Tage mit Windstärke 8 Beaufort und mehr (langjähriges Mittel: 3)

eines klaren Trends war auch bei den Eintrittsterminen des ersten und letzten Frosttages festzustellen (keine Abbildung).

Im Beobachtungszeitraum 1992 bis 2004 waren die Jahre 1996 und 2003 aus klimatischer Sicht am extremsten. Die Lufttemperatur, die Wärmesumme und die Summe der Globalstrahlung in der Vegetationsperiode sowie die Jahressumme der Sonnenscheindauer, die Zahl der Tage mit Gewitter, die Zahl der Sommer- und Tropentage waren 2003 mit Abstand am höchsten. Das Jahr 1996 hingegen verzeichnete die niedrigste Lufttemperatur und geringste Wärmesumme in der Vegetationsperiode sowie die meisten Eistage. Die Zahl der Tage mit Schneebedeckung war in den Jahren 1995 und 1996 mit Abstand am höchsten; in diesen beiden Jahren waren auch überdurchschnittlich viele Frost- und Eistage zu beobachten. Die Zahl der Tage mit Schneebedeckung war im Jahr 2002 bei weitem am niedrigsten. Relativ hohe Niederschlagsmengen während der Vegetationsperiode fielen in den Jahren 1997, 2002 und 2004. In diesen Jahren war der Witterungsverlauf in der Vegetationsperiode deutlich humider, ersichtlich am vergleichsweise höheren De Martonne's Ariditäts-Index (Quotient aus Niederschlagssumme in mm und Durchschnittstemperatur in °C plus 10). Dem K-Index (HARLFINGER, 2004) zufolge wiesen die Jahre 1997 und 2002 den höchsten Humiditäts-Grad auf. In den Jahren 1996 und 1997 waren überdurchschnittlich viele Starkniederschlagsereignisse zu verzeichnen.

Pflanzenphänologie

In den *Abbildungen 21 bis 38* sind die Zeitreihe und Trendfunktion wichtiger pflanzenphänologischer Phasen (insbesondere Frühlingsphasen wie Blattentfaltung und Blühbeginn) von ausgewählten Pflanzenarten für den Zeitraum 1994 bis 2005 graphisch dargestellt. Die Zeitreihen sind nicht nach phänologischen Jahreszeiten geordnet, sondern nach Pflanzengruppen zusammengestellt beginnend mit Kräutern gefolgt von Sträuchern und Bäumen. Bei den meisten untersuchten Gefäßpflanzenarten weist die Trendlinie im Beobachtungszeitraum

1994 bis 2005 einen leicht U-förmigen Verlauf auf. Bis zum Jahr 2002 bzw. 2003 ist sehr häufig eine kontinuierliche Verfrühung der Eintrittstermine pflanzenphänologischer Phasen zu beobachten. In den nachfolgenden kühleren, niederschlag-, schnee- und wolkenreicheren Jahren 2004 und 2005 ist meist eine deutliche Verspätung der pflanzenphänologischen Entwicklung festzustellen.

Diskussion

Vergleicht man die Zeitreihen der pflanzenphänologischen Phasen mit jenen der Klimaelemente, so findet man die beste Übereinstimmung mit der Lufttemperatur, Wärmesumme und Globalstrahlung in der Vegetationsperiode, sowie mit der Sonnenscheindauer und Zahl der Tage mit Schneebedeckung. Klimatische Faktoren, insbesondere Lufttemperatur, Strahlung, Sonnenschein- und Schneedeckendauer spielen im Untersuchungsgebiet offensichtlich eine überragende Rolle bei der pflanzenphänologischen Entwicklung vor allem im Frühling, denn Bodentyp, Bodenart und Relief haben sich im Beobachtungszeitraum nicht verändert.

Fast alle physiologischen und biochemischen Vorgänge in der Pflanze werden von der Temperatur beeinflusst. Eine Temperaturerhöhung beschleunigt daher die phänologischen Abläufe und das Pflanzenwachstum solange keine Stresssituationen auftreten (LARCHER, 1994). Hohe Temperaturen bewirken in der Regel eine Verfrühung der phänologischen Phaseintritte, niedrige Temperaturen hingegen eine Verspätung (SEYFERT, 1960). Der Zeitpunkt des Eintritts verschiedener pflanzenphänologischer Phasen ist neben der Lufttemperatur in starkem Maße auch von der Sonnenscheindauer und von der Strahlung abhängig. Längere Sonnenscheindauer, stärkere Strahlungsintensitäten und höhere Lufttemperaturen bewirken generell einen früheren Eintritt pflanzenphänologischer Phasen (SCHNELLE, 1955).

Die Lufttemperatur und die Schneedeckendauer sind im Untersuchungsgebiet die primär limitierenden klimatischen Faktoren. Kühle, schnee- und wolkenreiche Jahre weisen daher eine verspätete pflanzenphänologische Frühjahrsent-

wicklung auf; warme, schneearme und strahlungsreiche Jahre hingegen sind durch einen früheren Vegetationsbeginn gekennzeichnet.

Die jährlichen Schwankungen der Eintrittszeitpunkte pflanzenphänologischer Phasen werden im Untersuchungsgebiet großteils durch das lokale Klima gesteuert. Die Lufttemperatur alleine bestimmt aber nicht die pflanzenphänologische Entwicklung. Jede Pflanze reagiert im Wachstum stets auf die Gesamtheit der verschiedenen Witterungselemente, so dass die Eintrittszeitpunkte pflanzenphänologischer Phasen ein Ausdruck der Gesamtwirkung des Klimas sind (KOCH und SCHEIFINGER, 2002, 2004), wobei allerdings Lufttemperatur, Strahlung, Sonnenschein- und Schneedeckendauer offensichtlich besondere Bedeutung haben. Außerdem reagieren die Pflanzenarten sehr unterschiedlich auf geänderte Witterungsverhältnisse; die Zugehörigkeit zu verschiedenen Florenelementen und die Heimat spielen ebenfalls eine sehr große Rolle (ROSENKRANZ, 1951). Daher konnte im Untersuchungsgebiet keine generelle Verfrühung pflanzenphänologischer Phasen im Zeitraum 1994 bis 2005 festgestellt werden, obwohl die Lufttemperatur während der Vegetationsperiode im Vergleich zum langjährigen Mittel (1953-2004) tendenziell leicht zunimmt.

Auswirkungen auf die Kulturlandschaft

Im Untersuchungsgebiet konnte während der letzten 12 Jahre tendenziell ein leichter Anstieg der Lufttemperatur in der Vegetationsperiode sowie eine geringfügige tendenzielle Zunahme der Niederschlagssummen sowohl in der Vegetationsperiode als auch während des Jahres im Vergleich zum langjährigen Mittel (1953-2004) festgestellt werden. Nachdem im Untersuchungsgebiet die Lufttemperatur der primär wachstums-limitierende Faktor ist, hat eine leichte Temperaturerhöhung während der Vegetationsperiode eher einen positiven Effekt, zumindest für die Vegetation, zumal auch die Niederschlagsmengen tendenziell leicht zunehmen. Es könnte sich die floristische Zusammensetzung der Vegetation langfristig ändern. Wärmebedürftige Pflanzenarten, wie beispielsweise

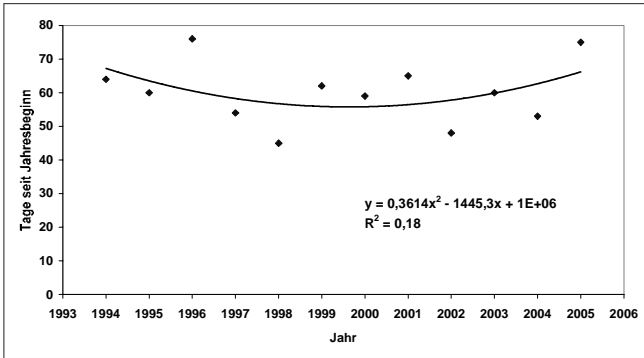


Abbildung 21: Blühbeginn Schneeglöckchen (*Galanthus nivalis*)

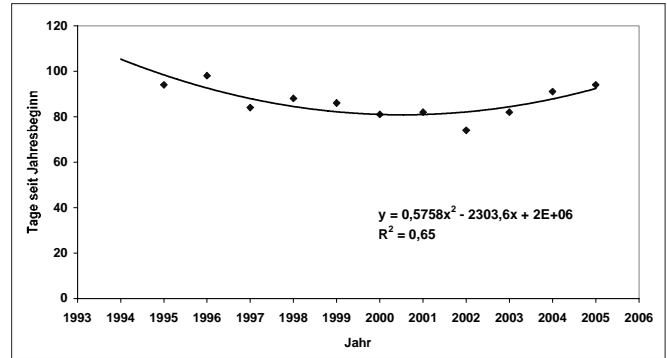


Abbildung 22: Blühbeginn Busch-Windröschen (*Anemone nemorosa*)

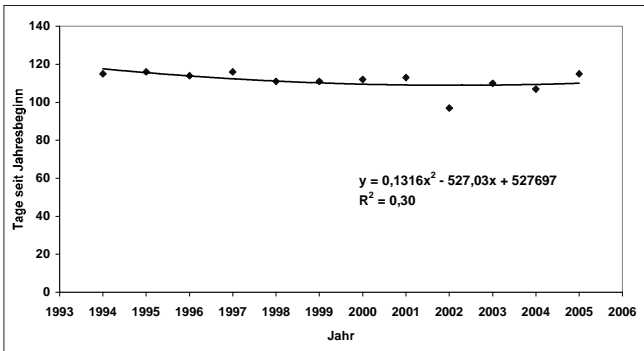


Abbildung 23: Blühbeginn Gewöhnlicher Löwenzahn (*Taraxacum officinale agg.*)

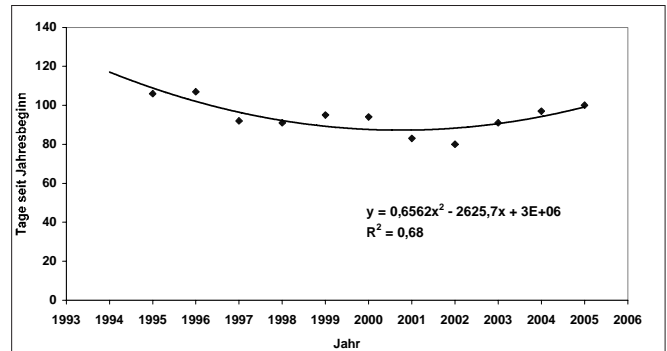


Abbildung 24: Ergrünen des Dauergrünlandes

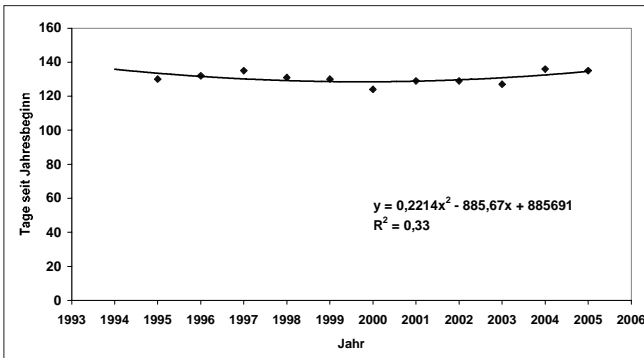


Abbildung 25: Blühbeginn Flieder (*Syringa vulgaris*)

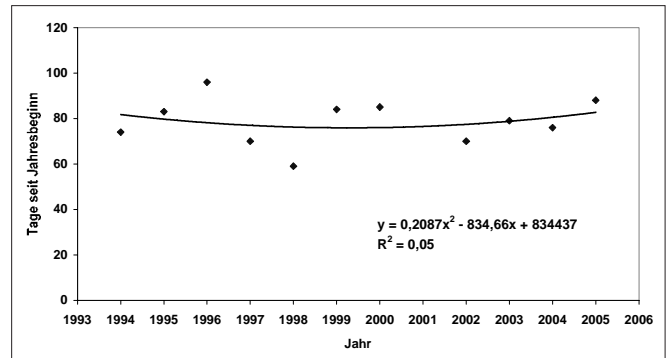


Abbildung 26: Blühbeginn Sal-Weide (*Salix caprea*)

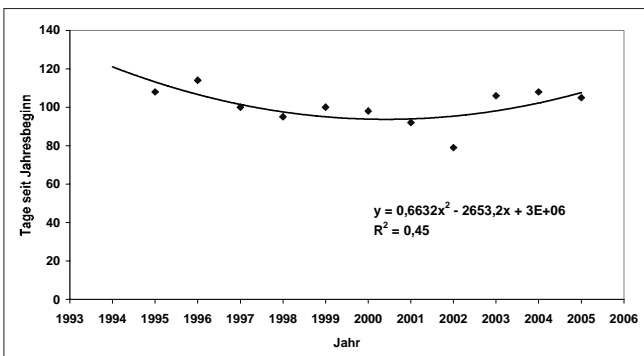


Abbildung 27: Blühbeginn Forsythie (*Forsythia x intermedia*)

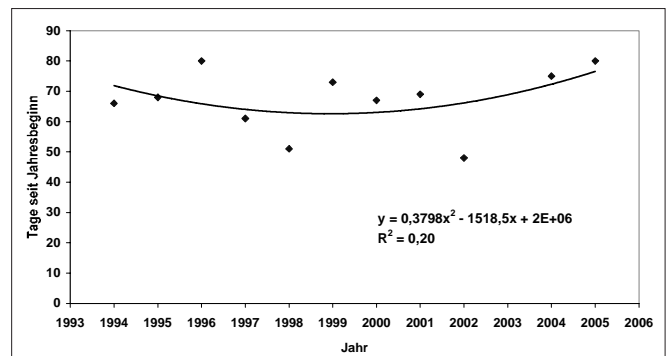


Abbildung 28: Blühbeginn Gewöhnliche Hasel (*Corylus avellana*)

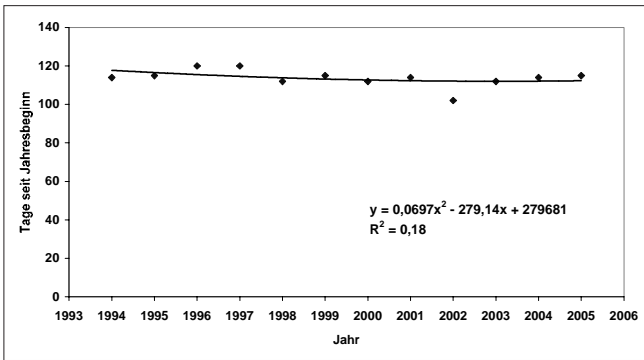


Abbildung 29: Blühbeginn Vogel-Kirsche (*Prunus avium ssp. avium*)

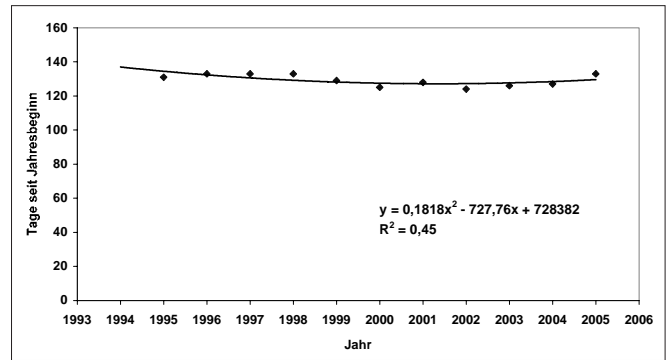


Abbildung 30: Blühende Vogel-Kirsche (*Prunus avium ssp. avium*)

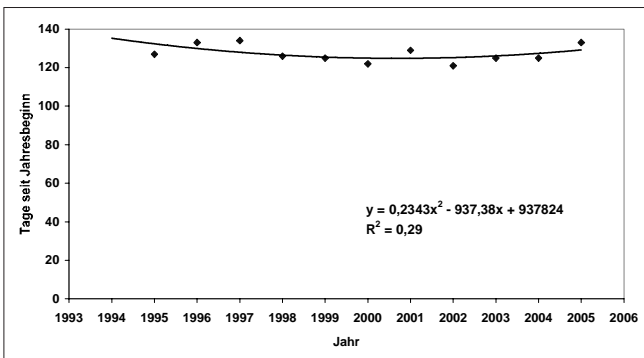


Abbildung 31: Blühbeginn Apfel (*Malus domestica*)

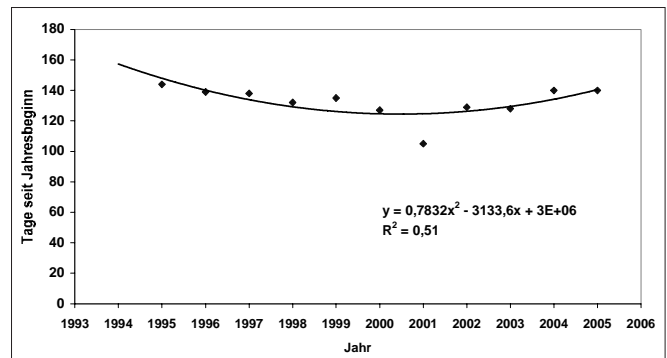


Abbildung 32: Blühbeginn Gewöhnliche Eberesche (*Sorbus aucuparia ssp. aucuparia*)

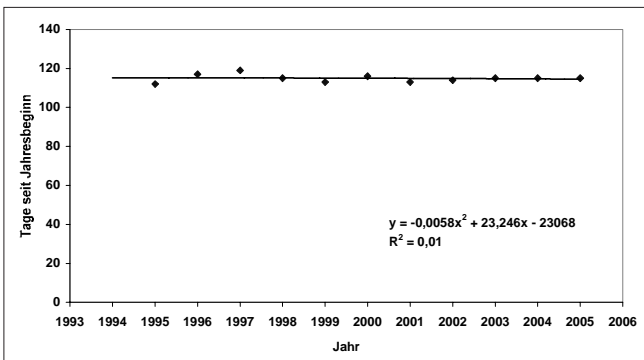


Abbildung 33: Blattentfaltung Roßkastanie (*Aesculus hippocastanum*)

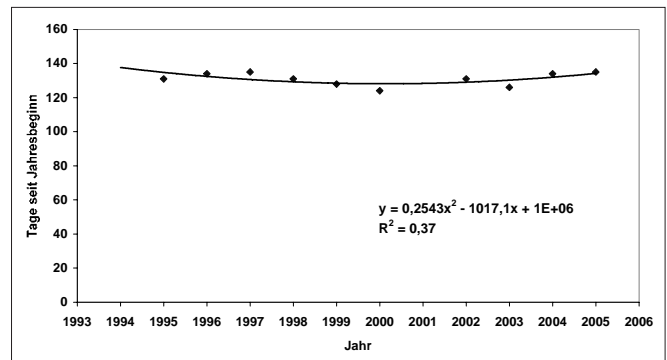


Abbildung 34: Blühbeginn Roßkastanie (*Aesculus hippocastanum*)

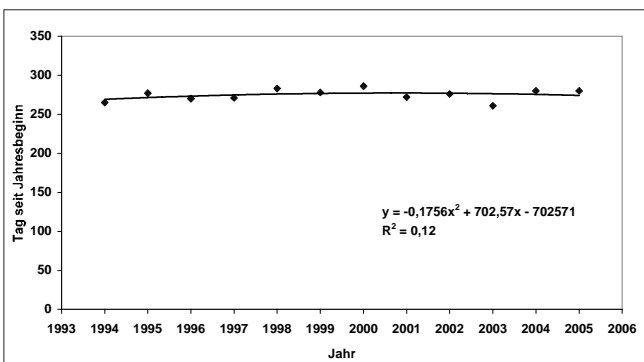


Abbildung 35: Fruchtreife Roßkastanie (*Aesculus hippocastanum*)

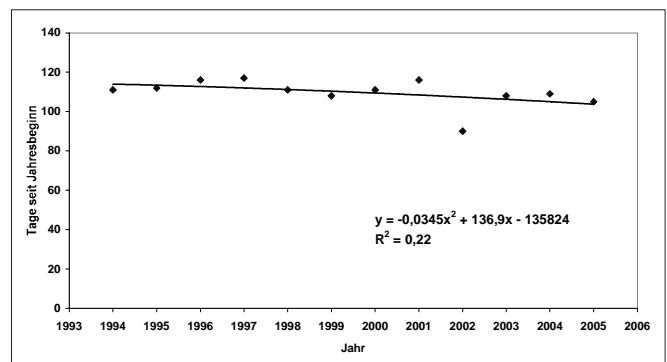
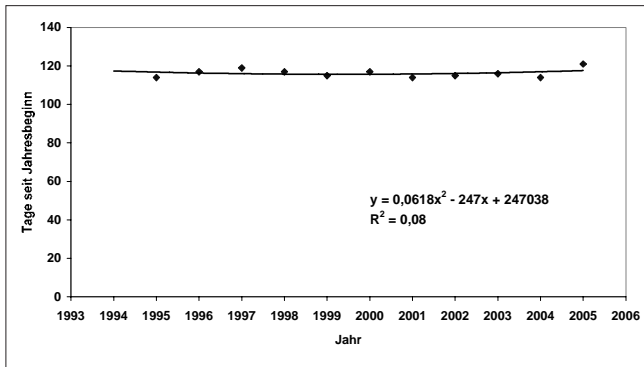
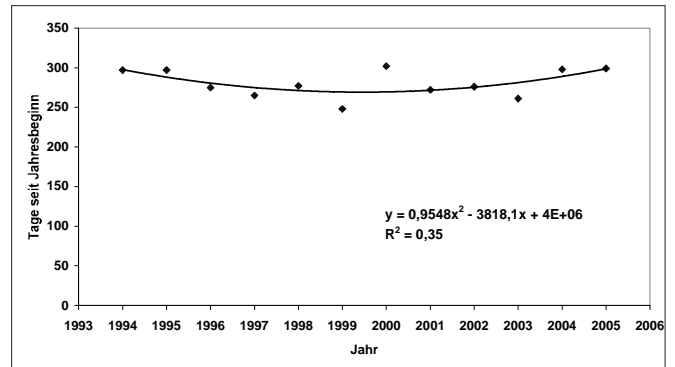


Abbildung 36: Blattentfaltung Europäische Lärche (*Larix decidua*)

Abbildung 37: Blattentfaltung Rotbuche (*Fagus sylvatica*)Abbildung 38: Blattverfärbung Rotbuche (*Fagus sylvatica*)

der Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*), bekommen bei sonst geeigneten Standortbedingungen einen Konkurrenzvorteil. Die Grünland-Erträge dürften wärmebedingt zunehmen und die Futterkonservierbarkeit (BUCHGRABER, mündlich) steigen. Auch die Höhenstufen der Vegetation und somit die Waldgrenze könnten sich langfristig nach oben verschieben. Sollte sich auch die Bodentemperatur allmählich erhöhen, ist mit einer verstärkten Stickstoff-Mobilisierung im Boden und mit einer erschwerten Humusbildung in Zukunft zu rechnen.

Literatur

- ADLER, W., K. OSWALD und R. FISCHER (1994): Exkursionsflora von Österreich. Ulmer Verlag, 1180 S.
- ALEXANDROV, V., J. EITZINGER, E. KLAGHOFER und M. OBERFORSTER, 2001: Auswirkungen einer Klimaänderung auf Agrarökosysteme in ausgewählten landwirtschaftlichen Produktionsgebieten in Österreich. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 27, 1-30.
- ANLEITUNG FÜR DIE KLIMABEOBACHTUNGEN AN TEILAUTOMATISCHEN WETTER- UND KLIMASTATIONEN (2005): Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 26 S.
- ANLEITUNG ZUR PHÄNOLOGISCHEN BEOBACHTUNG IN ÖSTERREICH, 2000: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Abteilung für Klimatologie, 31 S.
- HARLFINGER, O., 2004: Klimatische Bedingungen für die Pflanzenproduktion in Österreich. ALVA Tagungsbericht 2004, 29-33.
- KILIAN, W., F. MÜLLER und F. STARLINGER, 1994: Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. FBVA-Berichte 82, 60 S.
- KOCH, E. und H. SCHEIFINGER, 2002: Phänologie Österreichs. In: Harlfinger, O., E. Koch und H. Scheifinger (2002): Klimahandbuch der österreichischen Bodenschätzung. 2. Teil. Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, Heft 68, 157-242.
- KOCH, E. und H. SCHEIFINGER, 2004: Phänologie, ein Bio-Indikator für den Klimawandel. ALVA Tagungsbericht 2004, 12-14.
- KOCH, E. und H. SCHEIFINGER, 2005: Phänologie, ein Bio-Indikator für den Klimawandel. In diesem Band.
- KROMP-KOLB, H., 2003: Ursachen der globalen und regionalen Klimaänderungen und deren mögliche Auswirkungen auf die Landwirtschaft. 1. Klimaseminar zum Generalthema "Klimaforschung für die Grünlandwirtschaft", BAL Gumpenstein, 5-8.
- KROMP-KOLB, H., 2004: Die Landwirtschaft im globalen und regionalen Klimawandel. ALVA Tagungsbericht 2004, 8-11.
- KROMP-KOLB, H. und H. FORMAYER, 2005 a: Auswirkungen des globalen Klimawandels auf Wasserbedarf und -verfügbarkeit in der Pflanzenproduktion. Mitteilungen Gesellschaft Pflanzenbauwissenschaften 17, 7-12.
- KROMP-KOLB, H. und H. FORMAYER, 2005 b: Schwarzbuch Klimawandel. Ecowin Verlag, 222 S.
- LARCHER, W., 1994: Ökophysiologie der Pflanzen. Ulmer Verlag, 394 S.
- PILGER, H., 2005: Meteorologische Charakteristika der Station Gumpenstein und ihre Einbindung in größere Räume. In diesem Band.
- ROSENKRANZ, F., 1951: Grundzüge der Phänologie. Verlag Georg Fromme & Co, 69 S.
- SCHNELLE, F., 1955: Pflanzen-Phänologie. Akademische Verlagsgesellschaft, 299 S.
- SEYFERT, F., 1960: Phänologie. Ziemsen Verlag, 103 S.
- WAKONIGG, H., 1978: Witterung und Klima in der Steiermark. Verlag für die TU Graz, 400 S.