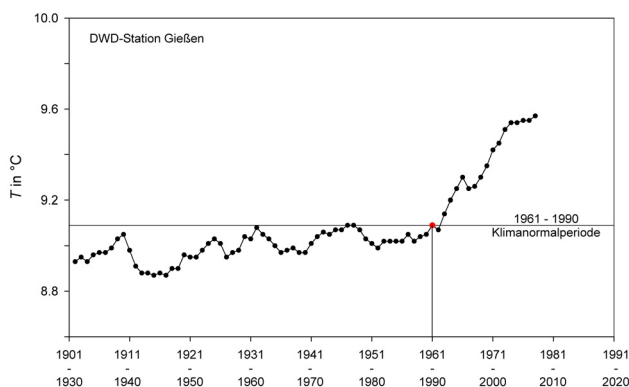


Klima-Biomonitoring: Klimawandel und Pflanzenphänologie in Hessen

Das Klima hat sich in den vergangenen Jahrzehnten verändert. Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, Weltklimarat) beschreibt in seinem vierten Sachstandsbericht zur Klimaänderung, dass die durchschnittliche globale Temperatur an der Erdoberfläche in den letzten 100 Jahren um 0,74 °C angestiegen ist (vgl. www.ipcc.ch). Elf der 12 Jahre im Zeitraum 1995 bis 2006 waren unter den 12 wärmsten Jahren seit 1850, dem Beginn der Aufzeichnung der globalen Oberflächentemperatur. Die beobachtete Temperaturänderung ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. Dazu gehören sowohl natürliche Ursachen wie der Vulkanismus oder die Änderung der solaren Strahlungsdichte als auch der Einfluss des Menschen. Die globale Temperaturerhöhung in den letzten 50 Jahren ist doppelt so hoch wie die der letzten 100 Jahre und überwiegend die Folge des Konzentrationsanstiegs anthropogen bedingter Treibhausgase. Der IPCC erwartet bis 2100 einen Anstieg der mittleren globalen Temperatur um 1,1 °C bis 6,4 °C.

Die globalen und in Deutschland beobachteten Trends in der Temperaturentwicklung werden regional durch die bereits seit mehr als 100 Jahren bestehenden Aufzeichnungen der Lufttemperaturen in Gießen widerspiegelt.



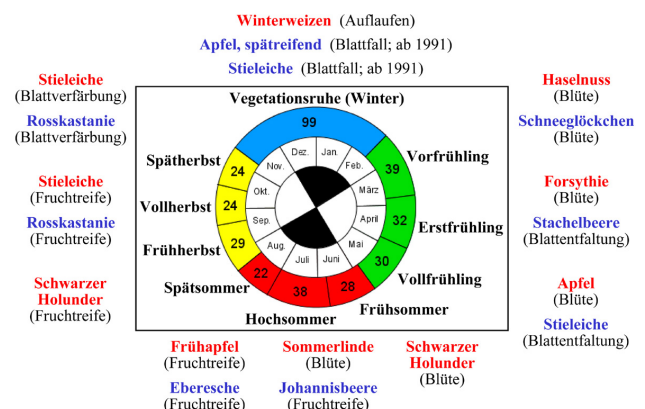
Gleitendes 30jähriges Mittel der Lufttemperatur (T_m) in Gießen

Die Temperatur ist ein wichtiger abiotischer Faktor in Ökosystemen. Eine starke Veränderung dieses

Umweltfaktors über einen langen Zeitraum, wie es der IPCC erwartet, kann zu erheblichen Beeinflussungen von biotischen aber auch abiotischen Komponenten in Ökosystemen führen.

Die Einflüsse der Erderwärmung auf Landökosysteme wurden bereits in zahlreichen Studien untersucht, wobei besonders Änderungen in der Tier- und Pflanzenphänologie in der nördlichen Hemisphäre als Reaktion auf die steigenden Temperaturen gut dokumentiert sind.

Die **Pflanzenphänologie** beschäftigt sich mit den im Jahresverlauf periodisch wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen wie Austrieb, Blattentfaltung, Blüte, Frucht-/Pflückreife, Laubverfärbung oder Blattfall. Sie werden als "phänologische Phasen" bezeichnet. Beginn und Dauer der jeweiligen phänologischen Jahreszeit wird über Zeigerpflanzen und Leitphasen definiert, deren Eintritt den Beginn der entsprechenden Jahreszeit kennzeichnet.



Phänologische Uhr mit Angabe der Zeigerpflanzen und Leitphasen zur Einteilung des Jahres in 10 physiologisch-biologisch begründete phänologische Jahreszeiten

Die klimatologischen Jahreszeiten sind im Zentrum der Uhr durch schwarze und weiße Sektoren dargestellt. Die Ziffern geben die Dauer der jeweiligen phänologischen Jahreszeit an. Mit rotem Schriftzug sind die bevorzugten Pflanzenarten hervorgehoben, mit blauem Schriftzug die Ersatzpflanzen.

Da in unseren Breiten die Pflanzenentwicklung maßgeblich durch den Temperaturverlauf bestimmt wird, sind phänologische Beobachtungen gute Indikatoren, um die Folgen des Klimawandels für die Biosphäre zu dokumentieren.

Phänologischer Garten Linden

Zur Abschätzung der langfristigen Auswirkungen des Klimawandels in Hessen wurde Anfang 2003 ein Phänologischer Garten auf dem Gelände der Umweltbeobachtungs- und Klimafolgenforschungsstation Linden (www.uni-giessen.de/cms/ukl) etabliert.



Phänologischer Garten mit Luftmesstation

Der Phänologische Garten Linden ist integraler Bestandteil des globalen Beobachtungsnetzes GPM (Global Phenological Monitoring), der Internationalen Phänologischen Gärten Europas (IPG) und des nationalen Beobachtungsnetzes, das vom Deutschen Wetterdienst verwaltet wird.

Eine detaillierte Stationsbeschreibung, eine Beobachteranleitung mit Bildern sowie Informationen zu den einzelnen Beobachtungsnetzen finden sich unter:

www.uni-giessen.de/cms/garten

Klimawandel voll im Gange: Auswertung hessischer phänologischer Zeitreihen von 1951 – 2007

Im Rahmen des vom Hessischen Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz aufgelegten Forschungsprojektes INKLIM 2012 (Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen 2012; www.hlug.de/klimawandel) wurden innerhalb des Bausteines II "Klimawandel und Klimafolgen in Hessen" die für Hessen vorliegenden phänologischen Zeitreihen im Hinblick auf regionale Klimaänderungen beurteilt. Darüber hinaus wurden zukünftige Verschiebungen phänologischer Phasen sowie sich daraus ergebende Konsequenzen abgeschätzt. Ausgewertet wurden die phänologischen Datensätze von 170 Beobachtungsstationen in Hessen aus den Jahren 1951-2007.



Lage der ausgewerteten Beobachtungsstationen

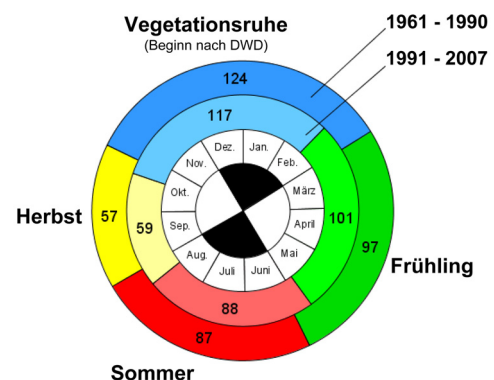
Eine ausführliche Dokumentation der Ergebnisse findet sich unter:

www.uni-giessen.de/cms/klimawandel

Auswertung der phänologischen Zeitreihen

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Pflanzen auf den Klimawandel in Hessen bereits reagiert haben. In der Pflanzenentwicklung konnten in den letzten 5 Dekaden, wie in der Tabelle auf Seite 3 dargestellt, zeitliche Verschiebungen beobachtet werden.

Der Eintritt der phänologischen Phasen hat sich in Hessen im Zeitraum 1991-2007 im Vergleich zur Klimanormalperiode (1961-1990) um bis zu 14 Tage verfrüht. Dies wird durch die Drehung des inneren Ringes (Eintrittsdaten 1991-2007) gegenüber dem äußeren Ring (Eintrittsdaten 1961-1990) in der phänologischen Uhr veranschaulicht.



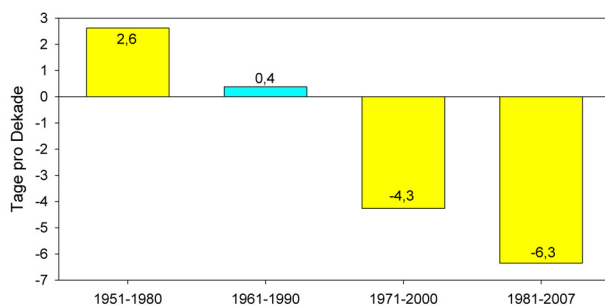
Vereinfachte doppelte phänologische Uhr mit beobachteten mittleren Eintrittsterminen für Hessen

Die Vegetationsperiode hat sich um 7 Tage verlängert.

Phänologische Jahreszeit	Zeigerpflanze und phänologische Phase	mittl. Eintrittsdatum der Phänophase (JTZ)			Trend (1961-2007)	
		1961 - 1990	1991 - 2007	Signifikanz	Tage/Dekade	Signifikanz
Vorfrühling	Haselnuss (Blüte)	60	46	**	-4,9	**
Erstfrühling	Forsythie (Blüte)	95	85	**	-3,5	**
Vollfrühling	Apfel (Blüte)	126	117	***	-2,8	***
Frühsommer	Schwarzer Holunder (Blüte)	157	147	***	-3,5	***
Hochsommer	Sommer-Linde (Blüte)	180	170	***	-3,2	***
Spätsommer	Frühapfel (Pflückreife)	222	215	***	-1,8	*
Frühherbst	Schwarzer Holunder (Fruchtreife)	244	235	***	-3,3	***
Vollherbst	Stieleiche (Fruchtreife)	269	264	***	-1,8	***
Spätherbst	Stieleiche (Blattverfärbung)	288	289	n.s.	0,5	n.s.
Vegetationsruhe	Winterweizen (Beginn des Auflaufens)	301	294	***	-2,6	***
JTZ = Jahrestagszahl n.s.: nicht signifikant *: signifikant; $0,05 \geq p > 0,01$ **: hoch signifikant; $0,01 \geq p > 0,001$ ***: höchst signifikant; $p \leq 0,001$						

Beginn der phänologischen Jahreszeiten für Hessen gemittelt für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2007, ihr Trend bezogen auf die Mittelwerte von 1961-2007 sowie die Signifikanz des Trends

Die Verfrühung der Entwicklungsphasen erfolgte jedoch nicht gleichmäßig. Wie beispielhaft am Eintritt der Apfelblüte in Hessen zu sehen, ist die Verfrühung bei Einbeziehung der 1990er Jahre besonders deutlich.



Trends im Beginn der Apfelblüte in Hessen

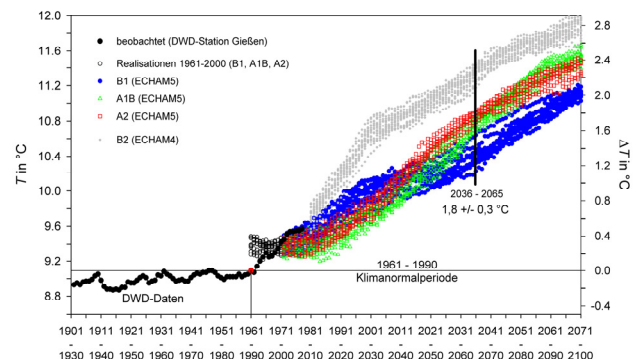
Die Frühjahrsphasen zeigten insgesamt den stärksten Trend in der Verfrühung ihres Eintrittes. Sie reagierten sehr deutlich auf die höheren Temperaturen in den Wintermonaten. Der frühere Beginn der Phänophasen wurde im Jahresverlauf kleiner und hat sich im Herbst in manchen Regionen Hessens sogar verzögert. Die klimatischen Veränderungen haben regional unterschiedliche Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung und damit auch auf die Dauer der Vegetationsperiode.

Prognose für die Mitte des Jahrhunderts

Um mögliche zukünftige Verschiebungen in der Pflanzenentwicklung für die Mitte dieses Jahrhunderts und die sich daraus ergebenden Konsequenzen abschätzen zu können, wurden regionalisierte Daten der Lufttemperatur auf der Grundlage meh-

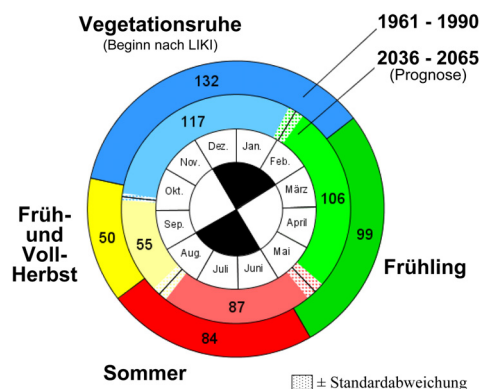
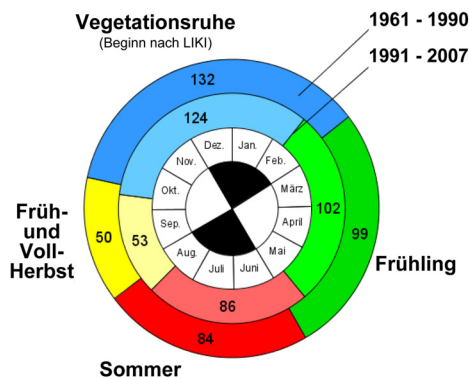
rerer Szenarien der globalen Modelle ECHAM4 und ECHAM5 herangezogen.

Die Erhöhung der Temperatur wird sich auf dieser Datengrundlage in Zukunft weiter fortsetzen. Bis Mitte des Jahrhunderts (2036-2065) wird für Mittelhessen (Gießen) ein Anstieg der Lufttemperatur um $1,8 \pm 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bezogen auf die Klimanormalperiode prognostiziert.



Gleitende 30jährige Mittel der Lufttemperatur (T) in Gießen auf der Grundlage beobachteter (schwarz markiert) und prognostizierter Daten

Folglich setzen sich auch die beobachteten Veränderungen in der Pflanzenentwicklung in Zukunft fort. Wie in den Abbildungen auf Seite 4 oben dargestellt, konnte beispielhaft für das Marburg-Gießener-Lahntal (Naturraum 348) mit Hilfe von Phänophasen-Modellen und der prognostizierten Temperaturentwicklung für Gießen aufgezeigt werden, dass die phänologischen Jahreszeiten, welche sich in den letzten 2 Dekaden um bis zu 13 Tage verfrüht haben, bis Mitte dieses Jahrhunderts noch einmal um bis zu 8 Tage früher eintreten werden.



Vereinfachte doppelte phänologische Uhr mit beobachteten und prognostizierten mittleren Eintrittsterminen für das Marburg-Gießener-Lahntal

Auch der Trend zur Verlängerung der Vegetationsperiode, hauptsächlich auf dem früheren Vegetationsbeginn basierend, wird sich weiter verstärken.

Ebenso hat sich im Marburg-Gießener-Lahntal der Blühbeginn verschiedener Obstgehölze und Beerensträucher im Zeitraum 1991-2007 gegenüber 1961-1990 um 6 bis 9 Tage verfrüht und wird sich bis Mitte dieses Jahrhunderts noch einmal um 8 bis 11 Tage verfrühen.

Beurteilungs- zeitraum	Apfel	Birne	Süß- kirsche	Sauer- kirsche	Rote Johannis- beere	Stachel- beere
mittlerer Beginn der Blüte (Tag im Jahr)						
1961 – 1990	123	117	113	118	109	106
1991 – 2007	115	110	105	111	100	100
2036 – 2065 ¹⁾	107 ± 6	101 ± 7	96 ± 7	102 ± 6	92 ± 7	89 ± 6

¹⁾ Mittelwert der ECHAM5-Szenarien A1B, A2 und B1 sowie des ECHAM-4 Szenarios B2

Blühbeginn verschiedener Obstgehölze und Beerensträucher im Marburg-Gießener-Lahntal

Der frühere Beginn der Vegetationsperiode und damit zeitigere Austrieb der Pflanzen birgt jedoch Gefahren für den Obstbau, da Frost während der Blüte zu völligen Ertragsausfällen führen kann.

Die Anzahl der Spätfröste ($T_{\min} < 0^\circ\text{C}$) wird in Zukunft, wie beispielhaft für Mittelhessen gezeigt, abnehmen, jedoch hauptsächlich in den ersten 2-3 Monaten des Jahres.

Die Abschätzung des Auftretens von Spätfrösten zur Zeit des Blühbeginns (+10 Tage) von ausgewählten Obstgehölzen (Apfel, Birne, Süß- und Sauerkirsche) und Beerensträuchern (Rote Johannisbeere, Stachelbeere) im Zeitraum 2036-2065 zeigt, dass im Mittel je nach Obst 2 bis 5 Jahre pro Dekade mit Spätfrösten auftreten könnten.

Folglich bleibt trotz Klimaerwärmung die Gefährdung im Obstbau durch Spätfröste bestehen.

Beurteilungs- zeitraum	Apfel	Birne	Süß- kirsche	Sauer- kirsche	Rote Johannis- beere	Stachel- beere
Jahre mit Spätfrösten zur Zeit der Blüte pro Dekade						
1961 – 1990	0,7	2,3	4,0	1,7	5,0	5,0
1991 – 2007	1,2	2,4	5,9	2,9	6,5	6,5
2036 – 2065 ¹⁾	2,2 ± 0,7	3,3 ± 0,9	3,7 ± 1,0	3,3 ± 0,9	3,6 ± 1,0	4,5 ± 1,0

¹⁾ Mittelwert der ECHAM5-Szenarien A1B, A2 und B1 sowie des ECHAM-4 Szenarios B2

Gefahr von Spätfrösten ($T_{\min} < 0^\circ\text{C}$) bei verschiedenen Obstgehölzen und Beerensträuchern im Zeitraum zwischen Blühbeginn und 10 Tagen danach im Marburg-Gießener-Lahntal

Schlussfolgerungen

- Das Klima in Hessen hat sich in den letzten Dekaden nachweislich verändert.
- Die Vegetation hat auf den Klimawandel auch in Hessen bereits reagiert.
- Verschiebungen in der Pflanzenentwicklung sind besonders deutlich ab Beginn der 1990er Jahre.
- Der Eintritt der phänologischen Jahreszeiten hat sich im Zeitraum 1991-2007 im Vergleich zu 1961-1990 um bis zu 14 Tage verfrüht; die Vegetationsperiode hat sich um 7 Tage verlängert.
- Die beobachteten Veränderungen in der Pflanzenentwicklung setzen sich in Zukunft fort.
- Trotz Klimaerwärmung bleibt die Gefahr durch Spätfröste bestehen.

Impressum

Bearbeiter: A. Streitfert, PD Dr. L. Grünhage (Uni Gießen)
G. Dörger, Prof. Dr. K. Hanewald,
Dr. H. Wolf (HLUG)

Stand: November 2008

Herausgeber:

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Postfach 3209, 65022 Wiesbaden

Telefon: 0611/6939-0

Telefax: 0611/6939-555

Vertrieb: Telefon: 0611/6939-111

Telefax: 0611/6939-113

E-Mail: vertrieb@hlug.de