

Institut für Nutzpflanzenwissenschaften
und Ressourcenschutz
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau
Prof. Dr. W. Kühbauch

**Entwicklung eines Ertragsprognosemodells für Sommer-
gerste auf Landkreisebene basierend auf meteorologischen
und phänologischen Daten**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades
Doktor der Agrarwissenschaft (Dr. agr.)
der
Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt am 27.10.2006
von
Dipl.-Ing.agr. Klaus Hünting
aus Kleve

Referent: Prof. Dr. W. Kühbauch

Co-Referent: Prof. Dr. H. W. Scherer

Tag der mündlichen Prüfung: 10.08.2007
D 98

Erscheinungsjahr 2007

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn
http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online elektronisch publiziert

Kurzfassung

Entwicklung eines Ertragsprognosemodells für Sommergerste auf Landkreisebene basierend auf meteorologischen und phänologischen Daten

Für die Malzindustrie, die Sommergerste als Ausgangsmaterial für den Vermälzungsprozess nutzt, sind frühzeitige Informationen über die zu erwartenden Sommergerstenerträge von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung. Die frühe Information dient dazu, abschätzen zu können, ob das regionale Aufkommen bedarfsdeckend ist oder zusätzliche Einkäufe – z.T. mit erheblichen Kostenaufwand – getätigt werden müssen.

In der hier vorliegenden Arbeit wurden, basierend auf historischen Zeitreihen, mit Hilfe von multiplen Regressionen, unterschiedliche Prognosemodelle hergeleitet, mit denen die Ernteerträge von Sommergerste für sechs verschiedene Landkreise in zwei Regionen in Süd-West Deutschland vorhergesagt werden können. Im Modell wurden als Eingangsvariablen akkumulierte Wetterdaten aus unterschiedlichen Entwicklungsabschnitten der Sommergerste dem Ertrag gegenübergestellt. Die unterschiedlichen Prognoseansätze unterscheiden sich durch die Anzahl der verwendeten Eingangsvariablen (minimal 48 bis maximal 72 Variablen). Die genauesten Ergebnisse wurden mit dem Modellansatz erzielt, bei dem alle zur Verfügung stehenden Variablen verwendet wurden. Die dabei erzielten Resultate lagen, über alle Landkreise gesehen, bei etwas mehr als fünf Prozent Abweichung zwischen den prognostizierten und den realen Erträgen. Zu einer Landkreis abhängig z.T. sogar deutlichen Reduktion der Prognosegenauigkeiten kam es, wenn die Beobachtungsdauer verkürzt wurde oder wenn Einsparungen bei der Datenbeschaffung verwirklicht wurden.

Begleitende Pflanzenuntersuchungen, die zu einer Stabilisierung der Modelle hätten beitragen können, wie z.B. die Beziehung der C- und N- Gehalte in der gesamten Pflanzenmasse als auch in den einzelnen Organen der Sommergerste mit dem Ertrag und Proteingehalt des Erntegutes zeigten über die Untersuchungsregionen betrachtet keine gerichteten Zusammenhänge.

Abstract

Development of a yield prediction model for spring barley on district level based on meteorological and phenological data

For malting industry, demanding spring barley as main raw material for the malting process, it is of high importance to get early in season information about the expected grain yield in their supplying area. With those kind of information they were able to estimate whether the local production can satisfy their demand or if they have to buy further raw material from the market. This causes besides of the additional costs for the transport higher costs in case of high request on the market while limited availability.

The present work shows several yield prediction models for six local districts in two areas in south west Germany. These approaches use multiple regression models based on historical data to predict spring barley yield. Relations between accumulated meteorological data from the differing development stages of the spring barley crop and the grain yield were surveyed. The approaches differ in the number of meteorological variables being used in the prediction models. Best results showed those models where all variables were used. It showed that, averaged over all investigated districts, the predicted yields differed slightly more than five percent from the harvested yield. Prediction accuracy decreased, depending on the different districts more or less clear, when the number of the used variables were reduced. Reduction of variables was caused by a more early date of prediction or by not taking into account those parameters which cause more effort to get them organized.

Accompanying soil borne surveys in the local districts on the impact of carbon- and nitrogen content of the barley plant on yield and protein content showed, averaged over the investigated areas, no clear coherence which could be used to stabilize the prediction models.

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	3
2.1. Braugerste.....	3
2.1.1. Pflanzenbauliche Grundlagen	3
2.1.2. Qualitätsanforderungen.....	5
2.1.3. Umwelteinflüsse	6
2.1.4. Stoffverlagerungen innerhalb der Pflanzen während der phänologischen Entwicklung.....	9
2.2. Ertragsprognose.....	10
2.2.1. Beschreibung von Modellansätzen	10
3. Untersuchungsgebiete	13
3.1. Regionen.....	13
3.2. Beschreibung der Untersuchungsgebiete	14
3.2.1. Untersuchungsregion Rheinland-Pfalz.....	14
3.2.2. Untersuchungsgebiet Baden-Württemberg	15
4. Daten	16
4.1. Phänologische Daten	16
4.2. Agrarstatistische Daten	18
4.2.1. Trendkorrektur.....	18
4.3. Meteorologische Daten	20
4.4. Felddaten	21
4.4.1. Untersuchungen auf Schlagebene	22
5. Ertragsprognose von Sommergerstenerträgen basierend auf statistischen Berechnungen	27
5.1. Zusammenführung von meteorologischen und phänologischen Daten.....	27
5.1.1. Durchführung der Berechnungen	28
5.1.2. „präzise“ Berechnung.....	30
5.1.3. „frühzeitige“ Berechnung	34
5.1.4. „ökonomische“ Berechnung	38
5.2. Berechnung von Ertragsabweichungen	42
5.2.1. Abweichungen vom linearen Trend.....	42
5.2.2. Abweichungen vom logarithmischen Trend	46

5.3. Berechnung mit den am höchsten mit dem Ertrag korrelierten Einzelfaktoren	50
5.4. Häufigkeit der zur Ertragsprognose herangezogenen Faktorkombinationen.....	54
6. Einfluss verschiedener Felddaten auf Ertrag und Eiweißgehalt des Erntegutes der Musterflächen	57
6.1. Einfluss des N-Gehalts der oberen Blätter zur Blüte auf Ertrag und Eiweißgehalt des Erntegutes der Musterflächen	57
6.2. Korrelation zwischen dem N-Gehalt der Ähre incl. Körner zur Gelbreife und dem Eiweißgehalt des Erntegutes.....	58
6.3. Einfluss des Trockenmassenzuwachses zwischen Ährenschieben und Gelbreife auf den Ertrag bzw. den Eiweißgehalt des Erntegutes	58
6.4. Ertrag der Musterflächen und Eiweißgehalt des Erntegutes	60
7. Diskussion	61
7.1. Verbindung phänologischer und agrarmeteorologischer Daten	61
7.2. Ertragsprognose auf Basis meteorologischer Daten	62
7.3. Verbindung verschiedener Felddaten zu Ertrag und Eiweißgehalt des Erntegutes der Musterflächen	66
8. Zusammenfassung.....	68
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen:	72
Abbildungsverzeichnis:	74
Tabellenverzeichnis:	76
Literaturverzeichnis:	77
Anhang:.....	87

1. Einleitung

Derzeit liegt der jährliche Bedarf der deutschen Mälzereien an Braugerste bei etwa 2,5 Mio. Tonnen. In Deutschland wird in erster Linie Sommergerste als Braugerste angebaut. Das Braugerstenaufkommen des Inlands ist gekennzeichnet durch erhebliche Schwankungen. Kann in ertragreichen Jahren das inländische Aufkommen ausreichen, den Bedarf zu decken, müssen dagegen in Jahren mit geringerem Ertrag bis zu 1 Mio. t importiert werden. Somit kann es in Jahren mit geringen Sommergersternten zu Engpässen am Markt kommen, die zu einer Anhebung des Marktpreises und somit zu Mehrkosten bei den Mälzereien führen (SCHELLING, 2000). Die Mälzereien sichern sich einen Teil der benötigten Sommergerste mit frühen Kontrakten. Der restliche Bedarf muss am freien Markt eingekauft werden. Je früher Informationen über das Braugerstenaufkommen und die Braugerstenqualität vorliegen, umso leichter können die Mälzereien ihre Einkäufe planen und tätigen.

Die Erntemenge der Sommergerste, meist etwa 46 - 48 dt/ha, stellt jedoch nicht die alleinige Einflussgröße dar, die für die Mälzereien von Interesse ist. Qualitätsparameter, wie z.B. der Proteingehalt oder der Vollgerstenanteil sind für die Malzindustrie ebenso wichtige Kenngrößen, die von Jahr zu Jahr oder in unterschiedlichen Anbauregionen sehr unterschiedlich ausfallen können. Hierbei sollte der Proteingehalt zwischen 9,5 und 11,5 % liegen und der Vollgerstenanteil eine Siebsortierung von >2,5 mm für einen möglichst großen Anteil der Erntepartie aufweisen.

Von den zahlreichen in der Beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes (BSA, 2003) dargestellten Sorten befinden sich jedoch nur wenige im Anbau, wie z.B. Scarlett, Pasadena oder Barke. Für die Mälzereien ist es von größerer Bedeutung, sortenreine Partien mit einheitlichen Mälzeigenschaften zubekommen, als vielmehr Sortenmischungen. Auch wenn diese Mischungen den oben erwähnten Qualitätsansprüchen genügen würden, können sie hinsichtlich ihres Mälzungsverhaltens aufgrund ihrer Inhomogenität Probleme bereiten. Der Mälzungsprozess wäre somit nicht mehr gezielt steuerbar, wie es bei sortenreinen Partien möglich ist. (GUNKEL et al., 2002)

Der Braugerstenanbau ist aufgrund der besonderen Ansprüche an die Bodenverhältnisse und an das Wasserhaltevermögen der Böden regional begrenzt. Die Merk-

malsausprägungen in den jeweiligen Anbauregionen können hierbei jedoch deutlich variieren. Um diesen variierenden Merkmalsausprägungen Rechnung zu tragen, wurden in der vorliegenden Studie die untersuchten Regionen bis auf Landkreisebene aufgelöst. Einer feineren Auflösung bis auf Gemeindeebene steht die nicht sicher gegebene Verfügbarkeit der Daten entgegen.

Ziel dieser Arbeit ist es, Hektarerträge auf Landkreisebene mit Hilfe von meteorologischen, agrarstatistischen und phänologischen Daten möglichst genau abschätzen und prognostizieren zu können. Hierzu wurden Trainings - Datensätze der Jahre 1987 – 2002 verwendet. Exemplarisch wurden hierzu die Braugersten - Anbauregionen „Vorderpfalz im Süden von Rheinland-Pfalz und die Region zwischen Schwarzwald und Schwäbischer Alb in Baden-Württemberg“ ausgewählt. Schwerpunkt bei den Untersuchungen ist die Erstellung möglichst genauer Ertragsprognosen. Darüber hinaus wurden die Untersuchungen noch dahingehend spezifiziert, dass zum einen bereits möglichst früh während der Vegetationsperiode eine Ertragsschätzung mit akzeptabler Genauigkeit zur Verfügung stehen sollte, zum anderen Prognosen ohne solche Eingabeparameter versucht wurden, die entweder nur mit deutlich zeitlichem Verzug erhältlich sind oder relativ hohe Kosten verursachen.

2. Literaturübersicht

2.1. Braugerste

2.1.1. Pflanzenbauliche Grundlagen

Für den Anbau von Braugerste sind mindestens mittelgute durchlässige Böden notwendig (ULONSKA, 1982; WICKIE und PEIFER, 1987). Während bessere Böden wie Lehm- oder Lössböden durch ihr Wasserhaltevermögen Niederschläge ersetzen können, sind sehr tonige Böden in niederschlagsreichen Gegenden oder sehr leichte Böden in Niederschlagsmangelgebieten für den Braugerstenanbau nicht geeignet (ULONSKA, 1959). Böden mit hohem N-Nachlieferungsvermögen sind für den Anbau von Braugerste weniger geeignet, da es auf diesen Böden verstärkt zu einer Überschreitung des optimalen Rohproteingehaltes von Braugerste kommen kann (SEIFFERT, 1963). Die Böden sollten aufgrund des schwachen Wurzelsystems der Braugerste eine ausreichende Bodenstruktur aufweisen (WICKIE et al., 1986). Beste Braugerstenqualitäten wurden auf Kalkverwitterungsböden höherer Lagen gefunden (WICKIE und PEIFER, 1987), diese zeichnen sich durch ein gutes Wasserhaltevermögen kombiniert mit guter Bodendurchlüftung aus (SCHACHTSCHABEL et al., 1989) und erfüllen somit die Wachstumsbedingungen der Braugerste ideal.

Die pflanzenbaulichen Ansprüche und Maßnahmen beim Anbau von Braugerste werden in pflanzenbaulichen Lehrbüchern (z.B. GEISLER, 1983; OEHMICHEN, 1986; DIEPENBROCK et al., 1999) ausführlich beschrieben. Dabei werden auch die Unterschiede beim Anbau von Braugerste im Vergleich zum Anbau anderer Getreidearten oder den unterschiedlichen Nutzungsformen der Sommergerste (z.B. die Produktion von Futtergetreide) dargestellt.

Der Aussaatzeitpunkt unterliegt witterungsbedingt von Jahr zu Jahr erheblichen Schwankungen. In der Regel erfolgt die Aussaat in den Monaten März bis April, wenn weder Frost noch eine zu hohe Bodenfeuchte der Bearbeitung der Böden sowie der Aussaat im Wege stehen. Ein frühzeitiger Aussaatzeitpunkt hat neben positiven Effekten auf den Ertrag auch positive Wirkung auf die Qualität (ULONSKA,

1959). Ergänzend hierzu zeigten jedoch Untersuchung von KÜHN und STEGEMANN (1985), dass nicht allein ein früher Aussattermin, sondern auch die Bodenstruktur und die Qualität der Bodenbearbeitung größeren Einfluss auf Ertrag und Qualität der Braugerste haben. Da von der Malzindustrie große sortenreine Partien gefordert werden, befinden sich in Deutschland nur eine kleine Auswahl der in der beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes aufgeführten Sorten (BSA, 2003) im Anbau. So waren dieses in den Jahren 2001 und 2002 in erster Linie die Sorten Scarlett, Pasadena und Barke. Begründet wird diese Forderung durch Unterschiede im Keimungsverlauf, der Keimschnelligkeit und der Enzymaktivität bei den verschiedenen Braugerstensorten. Bei Mischungen mehrerer Sorten ist ein gleichmäßiger Mälzprozess nicht mehr gewährleistet (ULONSKA, 1959).

Die Vegetationsperiode der Sommergerste erstreckt sich über einem Zeitraum von etwa 5 Monaten. Die einzelnen phänologischen Stufen des Wachstum können dabei in die sogenannten BBCH-Stadien eingeteilt und somit eindeutig beschrieben werden (LANCASHIRE et al., 1991). Während des Übergangs von vegetativer zu generativer Entwicklung erfolgt innerhalb der Pflanze eine Umstellung, die neben dem Hormonhaushalt auch Assimilatströme und damit das pflanzeninterne Source-Sink-Verhältnis verändert (MARSCHNER, 1995; BULMAN und SMITH, 1994; SCHRÖDER, 1980). Im Abschnitt der Kornfüllung findet zwar der sichtbare Teil der Ertragsbildung statt, aber auch schon während der vegetativen Phase werden größere Mengen an Kohlenhydrat- und Proteinverbindungen gebildet. Im weiteren Verlauf der Abreife werden diese Verbindungen ins Korn verlagert und können somit den Ertrag beeinflussen, was mengenmäßig jedoch schwer nachzuzeichnen ist (GEBBING et al., 1995; SPIERZ, 1974).

Beim Anbau von Braugerste ist der Stickstoffdüngung besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Stickstoff ist als zentraler Baustein in den Chloroplasten zwingend für ausreichende Photosyntheseraten und damit für den Aufbau und Erhalt des gesamten Photosyntheseapparates und der Ertragsorgane verantwortlich (OEHMICHEN, 1989). Wenn jedoch gedüngter Stickstoff nicht vollständig ertragssteigernd wirkt, hat eine hohe und anhaltende Stickstoffversorgung negative Auswirkungen auf den Proteingehalt des Kornes und somit auf die Qualität der Braugerste (WICKE und FUCHS, 1982). Somit scheiden solche Kulturarten als Vorfrucht aus, die größere Mengen Stickstoff im Boden hinterlassen, wie etwa Leguminosen. Auch die Düngung mit organischen Düngern sollte sehr verhalten erfolgen, um die Gefahr einer unkon-

trollierten Stickstoff-Nachlieferung aus dem Boden zu minimieren. SCHELLING (2000) äußert jedoch, dass die Stickstoffdüngung und deren Wirkung nicht allein betrachtet werden sollte, sondern immer in Zusammenhang mit weiteren ertragsbeeinflussenden Größen, wie Ertragsniveau, pflanzenbaulichen Maßnahmen und Umweltfaktoren.

2.1.2. Qualitätsanforderungen

Braugerste unterliegt hohen Qualitätsanforderungen wie etwa bestimmten Rohproteingehalten, einer bestimmten Sortierung und dem Trockenmassegehalt. Den Untersuchungen von MÜLLER (2000) ist zu entnehmen, dass der Rohproteingehalt im Bereich zwischen 9 und 11,5 % liegen sollte. Die Sortierung sollte derart verteilt sein, dass 90 – 95 % der Sommergerste einen Durchmesser von größer 2,5 mm aufweist und der Trockenmassegehalt größer als 860 g / kg TM sei, damit Verderb während der Lagerung ausgeschlossen werden kann. Diese eben beschriebenen Qualitätsparameter bilden die Grundlage des Auszahlungspreises der Braugerste an die Landwirte (SCHELLING, 2000). Des Weiteren betrachten die Mälzereien noch das Tausend-Korn-Gewicht (TKG) und die Kornausbildung. Das TKG sollte sich in einer Größenordnung von etwa 40 – 45 g bewegen und für die optimale Kornausformung wird ein volles rundliches Korn mit geschlossener Bauchfurche gefordert. Hinsichtlich der Ausprägung der Spelzen sollten diese fein gekräuselt sein. Direkte Einflussgrößen auf den Vermälzungsprozess sind die Wasseraufnahmefähigkeit mit dem Richtwert: größer als 75 % in 72 Stunden, die Keimrate, die nach 2 Tagen 95 % betragen sollte und die Mindestanforderung für die Keimfähigkeit, die bei 98 % nach 5 Tagen liegt. Neben diesen labormäßig erfassten Parametern werden auch äußerliche Merkmale wie Farbe, Geruch, Aussehen oder sichtbare Anomalien betrachtet, die Hinweise auf den phytosanitären Zustand der Braugerste liefern (BAUMER et al., 1998). Mykotoxinbelastungen der Braugerste beeinträchtigen nicht nur die Stabilität des Bieres, Mykotoxine aus pilzlichem Befall wirken ferner in erheblichem Maße gesundheitsschädlich. RICHTER (2002) beobachtete Fruchtbarkeitsstörungen sowie Schädigung von Leber und Nieren bei Säugetieren aufgrund von Vergiftungen durch Mykotoxine. Fusarienbefall von Braugerste verursacht darüber hinaus das sogenannte „Gushing“, d.h. das intensive Überschäumen frisch geöffneter Flaschenbiere

(SCHWARZ et al., 1996; MUNAR et al., 1997). Des Weiteren reduziert der Fusarienbefall die Läutereigenschaften des Bieres während des Brauprozesses (SARLIN et al., 2005).

2.1.3. Umwelteinflüsse

Die Temperatur spielt bei der Pflanzenentwicklung eine zentrale Rolle. So berichtet WEISSTEINER (2003), dass akkumulierte Temperatursummen oberhalb einer Basistemperatur (Growing-Degree-Days (GDD)), von in diesem Fall 3° C, sehr eng ($R^2=0,93$) mit dem Eintritt in die unterschiedlichen phänologischen Wachstumsphasen von Braugerste korreliert sind. Neben der zum Wachstum notwendigen Mindesttemperatur können sich zu hohe Temperaturen negativ auf das Angebot an Assimilaten auswirken, da diese nicht nur die Seneszenz der Blätter beschleunigen, sondern, vor allem bei hohen Nachttemperaturen, auch zu erhöhter Respiration der Blätter, Halm und Ähre führen (SPIERTZ, 1974; CHOWDHURY und WARDLAW, 1978). Hitzestress kann je nach Zeitpunkt und Dauer in der Entwicklung zu einer Reduktion der Korngewichte um bis zu 35 % führen (SAVIN et al., 1997a; STONE und NICOLAS, 1995, 1994; MACNICOL et al., 1993). Besonders um den Zeitpunkt der Blüte kommt es durch zu hohe Temperaturen zu negativen Einflüssen auf Qualität und Ertrag von Gerste (CHMIELEWSKI, 1998; EAGLES et al., 1995; SAVIN und NICOLAS, 1996) und auch Weizen (WHEELER et al., 1996). Steigende Temperaturen während der Kornfüllungsphase bewirken steigende Rohproteingehalte in den Körnern (BHULLAR und JENNER, 1985; EAGLES et al., 1995; WALLWORK et al., 1995). Bedingt werden diese steigenden Rohproteingehalte durch ausbleibende Verdünnung des Kornstickstoffs, verstärkt durch verringerte Stärkeeinlagerung bei höheren Temperaturen. Der Rückgang der Stärkeeinlagerung ist enzymbedingt. Einzelne Enzyme reagieren bei der Stärkesynthese im Korn empfindlich auf steigende Temperaturen (WALLWORK et al., 1998). Der negative Einfluss der höheren Temperaturen macht sich ferner durch eine Verkürzung der Kornfüllungszeit bemerkbar, wengleich der temperaturbedingt heftigere Stoffwechsel kürzere Kornfüllungsperioden z.T. kompensieren kann (SAVIN et al., 1997a; SAVIN und NICOLAS, 1996; WARDLAW, 1992; NICOLAS et al., 1984; CHOWDHURY und WARDLAW, 1978; SOFIELD et al., 1974; SOFIELD et al., 1977). Der Begriff „Höhere Temperatur“ muss in diesem Zu-

sammenhang differenzierter betrachtet werden. So berichten SAVIN et al. (1997a) und WALLWORK et al. (1998), dass die Grenze zwischen „erhöhten Temperaturen“ und „Hitzestress“ bei etwa 32 – 35° C zu setzen ist. Jedoch kann bereits ab einer Erhöhung um 1° C über eine Tagesmitteltemperatur von 15° C ein Ertragsrückgang von 3 – 4 % festgestellt werden (WARDLAW et al., 1989). Sowohl die Zeitspanne der hohen Temperaturen als auch die Geschwindigkeit der Temperaturerhöhung beeinflussen die Ertragsbildung negativ (SAVIN et al., 1997b; WALLWORK et al., 1994). Dass die hier erwähnten Ergebnisse, die zum Teil aus Untersuchungen mit Weizen stammen auch auf Gerste übertragbar sind, bestätigen CHOWDHURY und WARDLAW (1978). Der Einfluss hoher Temperaturen in der Kornfüllungsphase auf Korngewicht und Qualität ist jedoch sortenabhängig. PASSARELLA et al. (2005) konnten in ihren Untersuchungen nachweisen, dass moderne, auf hohen Ertrag gezüchtete Sorten, sensitiver auf hohe Temperaturen in der Kornfüllungsphase reagieren, als ältere, weniger ertragsstarke Sorten.

Neben der Temperatur hat auch die zur Verfügung stehende Niederschlagsmenge einen erheblichen Einfluss auf den Ertrag. Trockenstress ab dem Beginn der generativen Entwicklung kann zu deutlichen Ertragsverlusten führen (DE RUITER und BROOKING, 1994; SAVIN und NICOLAS, 1996; NICOLAS et al., 1984). SAVIN und NICOLAS (1996) ermittelten in ihren Untersuchungen, dass Wassermangel nach der Blüte eine größere Wirkung auf den Ertrag hat, als hohe Temperaturen. Die Kombination beider Faktoren führt zu einer Addition der Effekte und einer Reduktion der Korngewichte bis zu 30 %. Der Wasserverbrauch der Pflanzen und damit verbunden das Ausmaß der Auswirkungen von Trockenstress, ist arten- und sortenspezifisch (EHLERS, 1997). Ertragseinbußen aufgrund von Trockenstress wurden von DOORENBOS und KASSAM (1979) anhand allgemeiner und pflanzenspezifischer Größen des Wasserhaushalts untersucht.

Wassermangel ist nicht nur in der generativen Phase der Pflanzenentwicklung ertragsmindernd, sondern hat auch in der Phase des vegetativen Wachstums, durch verminderte Biomasseakkumulation und einer geringeren Anzahl an Ertragsorganen je Flächeneinheit, einen erheblichen Einfluss auf die Ertragsbildung (MATSUDA und RAYAN, 1990; HSIAO, 1973; LAWLOR et al., 1981; MORGAN und RIGGS, 1981). In der Phase des generativen Wachstums hat Trockenstress negative Wirkungen auf das Tausend-Korn-Gewicht (MORGAN und RIGGS, 1981; SAVIN und NICOLAS, 1996). PAYNTER et al. (2004) konnten in ihren Untersuchungen nachweisen, dass

schon einzelne Niederschlagsereignisse während Trockenstresses in der Kornfüllungsphase zu einer Verbesserung in der Kornausbildung, der Korn- und der Mälzqualität führten. Nicht nur hohe Temperaturen, sondern auch Trockenstress verkürzt die Kornfüllungsphase, wie durch LAWLOR et al. (1981) und LONG et al. (1998) bestätigt werden konnte. Weniger eindeutig als die Effekte von Trockenstress auf den Ertrag sind die Effekte auf den Rohproteingehalt. Hier liegen widersprüchliche Ergebnisse von LAWLOR et al. (1981) und MORGAN und RIGGS (1981) vor. Ursache für die gegensätzliche Beschreibung der Beeinflussung des Rohproteingehaltes sind die Vielzahl von Faktoren wie, z.B. die Stickstoffernährung, der Bestandsaufbau, der Hormonhaushalt und die Assimilatflüsse in der Kornfüllungsphase (NIKOLAS et al., 1984; GONZALES PONCE et al., 1993; DE RUITER und BROOKING, 1994 und 1996; MARSCHNER 1995; FATHI et al., 1997; DALAL et al., 1997).

Nicht nur eine Unterversorgung mit Niederschlägen kann durch Trockenstress zu negativen Einflüssen auf Ertrag und Qualität führen, sondern auch Niederschläge, die zum falschen Zeitpunkt, in zu großen Mengen, der falschen Aggregatform (Hagel) oder in zu hoher Dichte fallen. Folgen dieser Niederschläge sind vermehrtes Auftreten von Lager, Aufplatzen der Körner, Auswuchs oder Pilzbefall (HERRMANN et al., 1998; BAUMER et al., 1998; OBERFORSTER und WERTEKER, 1998). Untersuchungen von DE RUITER und HASELMORE (1996) deuten darauf hin, dass auftreten von Lager zu erhöhten Rohproteingehalten im Korn und zu schlechteren Sortierungen führt.

Neben den Ausführungen zu Temperatur und Einflüssen der Wasserversorgung wird in der Literatur auch über die Wirkung von Luftfeuchtigkeit und Sonneneinstrahlung auf Ertrag- und Qualitätsbildung berichtet. Zum einen seien hier die Einflüsse der Luftfeuchtigkeit (CHMIELEWSKI 1998; EHLERS 1998; GONZALES PONCE et al., 1993; ASANA und WILLIAMS 1965) zu nennen. Zudem scheinen Pflanzenbestände auf eingeschränkte Einstrahlungsintensitäten in unterschiedlichen Entwicklungsabschnitten mit Veränderungen im Bestandsaufbau, geringeren Kornerträgen, ungünstigen Sortierungen und partiell mit erhöhten Proteingehalten (GRASHOFF und D'ANTUONO, 1997) zu reagieren. Des weiteren sind in der Literatur variierende Reaktionen auf verminderte Einstrahlung zu finden (SPIERTZ, 1974; SOFIELD et al., 1977; WARDLAW et al., 1989; CRANSTOUN, 1992). Da aber unter Feldbedingungen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Wachstumsfaktoren auftreten können, sind die Wirkungen der einzelnen Faktoren nur schwer von einander zu trennen

(DE RUITER und BROOKING, 1996; GONZALES PONCE et al., 1993; MORGAN und RIGGS, 1981; LAWLOR et al., 1981; NIKOLAS et al., 1984; HAUDE, 1949). NIKOLAS et al. (1984) und SAVIN und NICOLAS (1996) postulieren somit, dass das Zusammentreffen mehrerer Stressfaktoren eine deutlichere Ausprägung der Effekte als die Summe der einzelnen Faktoren bewirkt.

2.1.4. Stoffverlagerungen innerhalb der Pflanzen während der phänologischen Entwicklung

Während der Abreife findet eine Verlagerung von Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen von den vegetativen in die generativen Pflanzenteile statt. Untersuchungen von SPIERTZ und ELLEN (1978) an Winterweizen zeigten, dass 52 % des Stickstoffs (N) im reifen Korn bereits in vegetativen Organen vorzufinden waren. Weitere Quellen in der Literatur berichten von deutlich höheren Werten. AUSTIN et al. (1977) stellten für Winterweizen einen Wert von 85 % fest, GREGORY et al. (1981) konnten zwischen 50 - 75 % des N in den vegetativen Organen vorfinden. Während der Abreife findet eine Verlagerung remobilisierbarer Substanzen in die Speicherorgane statt (AUFHAMMER; 1998). DE RUITER et al. (1988) berechneten, dass bereits 73% des zur Abreife in der Sommergerstenpflanze (und damit zum größten Teil im Korn) vorhandenen Stickstoffs aus den Vorblütereserven stammen. Mit N - Anteilen von 75 – 81 % bestätigten CARRECK und CHRISTIAN (1991) die Werte in der gleichen Größenordnung auch für Winterbraugerste.

Die Proteintranslokation ist jedoch kein allein zu betrachtender Prozess, sondern ist eng mit dem Massentransport der kohlenstoffreichen Vorblüteassimilate verbunden (SIMPSON et al., 1983; NICOLAS et al., 1985; EVANS, 1983; BÄNZIGER et al. 1994). DE RUITER und BROOKING (1996) berichten über eine enge Korrelation zwischen Korngewicht und Korn-N-Gehalt bei Sommergerste. GEBBING et al. (1995) fanden bei Untersuchungen von Sommerweizen heraus, dass bei der Einlagerung von Reserveproteinen in das Korn je mg N das 1,7-fache an Kohlenstoff in das Kornprotein eingebaut wurde. Der im Korn zu findende Stickstoff stammt zu unterschiedlichen Anteilen (rund 40 % aus den Blättern; etwa 30 % aus dem Halm; der Rest aus weiteren Organen wie Spelzen und Wurzeln) aus verschiedenen Organen der Pflanzen

(KÜCKE, 1985). Eine Gewichtung einzelner Pflanzenabschnitte hinsichtlich ihrer Priorität als N-Quelle für das Kornprotein ist nach MÜLLER (2000) nur im begrenzten Maße möglich. In den zugrundeliegenden Untersuchungen wurden die Blattscheiden bei Separierung des Pflanzenmaterials sowohl zum Teil der Halmfraktion als auch den Blättern zugeordnet wurden. Die Verlagerung des in der Pflanze vorhandenen N in das Korn wird als Translokationseffizienz beschrieben (COX et al., 1985; FEIL, 1998) und unterliegt Schwankungen, die sowohl genetisch, als auch durch Umwelteinflüsse bedingt sind können (FEIL, 1998).

2.2. Ertragsprognose

2.2.1. Beschreibung von Modellansätzen

Modelle zur Ertragsprognose werden in der Literatur umfangreich beschrieben. Bemerkenswert ist, dass auch subjektive Abschätzungen durch Personen mit entsprechenden Fähigkeiten und Erfahrungen ein probates Mittel zur Ertragsprognose sind (SCHELLING, 2000). Die Möglichkeiten zur Ertragsprognose unterscheiden sich in ihren methodischen Ansätzen. Bei der Vielzahl der Prognosemodelle ist jedoch nicht immer eine eindeutige Einordnung in eine bestimmte Kategorie möglich, sondern es sind vielfach Mischformen verschiedener Prognoseverfahren zu finden (WEISSTEINER, 2003). Nachfolgend werden die wichtigsten Prognosemöglichkeiten vorgestellt.

Unter den Prognosemodellen finden unter anderem Modelle Verwendung, bei denen räumliche Informationen in einem Geoinformationssystem (GIS) zusammengetragen werden. Über diese raumbezogenen Modelle berichtet MANDEL (1998, 2000). Modelle, bei denen physiologische, chemische oder physikalische Vorgänge der Pflanzenentwicklung Verwendung finden, werden als Wachstumssimulationsmodelle bezeichnet. Zu diesen Modellen gehört das durch SUPIT et al. (1994) beschriebene WOFOST-Modell. Es findet im Rahmen des „Monitoring Agriculture with Remote Sensing“ (MARS) Programms der Europäischen Union Verwendung. Zum Teil benötigen derartige Systeme eine Vielzahl an Inputgrößen und arbeitsaufwändige Daten-

beschaffung. Dadurch können komplexe Systeme entstehen, die für den operationellen, flächendeckenden Einsatz nur bedingt einsatzfähig sind. Weitere Modelle, welche den Einfluss der Pflanzenentwicklung auf die Ertrags- und Qualitätsabschätzung von Brau- bzw. Sommergerste beschreiben, wurden von GOYNE et al. (1996) und DE RUITER (1993) vorgestellt. ENGEL und BALDIOLI (1993) berichten ausführlich über eine Vielzahl derartiger Modelle. Aufgrund nicht bestimmbarer, maßgeblicher Interaktionen zwischen Umweltfaktoren und Ertragsschwankungen kommen LANDAU et al. (1998) in England bei einer vergleichenden Untersuchung von drei Ertragsprognosemodellen basierend auf Wachstumssimulation zu dem Schluss, dass von einer operationellen Nutzung dieser Modelle Abstand zu nehmen sei.

Modelle, bei denen von Maximalerträgen bei Idealbedingungen ausgegangen wird, die sich beim Auftreten von entsprechenden Stresssituation reduzieren, bezeichnet man als „Yield reduction models“ (BETHEL und DOORN, 1998). Bei derartigen Modellen wird verstärkt die Auswirkung von Wasserstress betrachtet (DOORENBOS und KASSAM; 1979; REDDY, 1993). Das durch DOORENBOS und KASSAM (1979) beschriebene Modell wurde vielfach als Basis benutzt, auf dem weitere modifizierte Modelle aufgebaut wurden (RUDORFF und BATISTA, 1990; DEMIRCAN, 1995; REYNOLDS et al., 2000).

Modelle, bei denen anhand von Untersuchung langjähriger Daten statistische Gesetzmäßigkeiten zwischen den Messwerten von Umweltparametern und Erträgen oder Qualitäten erstellt werden, werden als empirisch-statistische Modelle bezeichnet, wobei der Umfang der betrachteten Parameter variieren kann (WEISSTEINER, 2003). Dieser Ansatz der Modellerstellung wurde häufig angewendet und wird in der Literatur von diversen Autoren beschrieben (CHMIELEWSKI, 1998; HANUS und AIMILLER, 1978; HANUS, 1969; HANUSS, 1973; WILLIAMS et al., 1975; SCHELLING et al., 2003).

In den Ausführungen von BAIER (1977) werden „Crop weather analysis Models“ vorgestellt, bei denen Pflanzenreaktionen in Abhängigkeit von Witterungsparametern für einzelne Entwicklungsabschnitte untersucht werden. Die auftretenden Zusammenhänge werden dabei auf statistischer Basis ermittelt. Der Gesamtertrag wird durch aufsummieren der Ergebnisse aus den einzelnen Entwicklungsabschnitten bestimmt. Vielfach werden die untersuchten Zeitabschnitte an die Pflanzenentwicklung angelehnt. In Ihrer Arbeit unterteilten LANDAU et al. (2000) die Wachstumsperiode von Winterweizen in fünf Phasen. Entsprechend ist bei dieser Kulturpflanze die Phase

des vegetativen Wachstums (Phase 1) länger als bei Sommerungen. Der anschließende Zeitraum der generativen Entwicklung wurde dann dreifach unterteilt. Zuerst eine Phase der frühen generativen Entwicklung (Phase 2), gefolgt vom Zeitraum der Blüte (Phase 3) und zuletzt die Zeitspanne der Kornfüllung (Phase 4). Der Abschnitt zwischen Kornfüllung und Ernte bildet den Abschluss des Betrachtungszeitraumes (Phase 5). Die Unterteilung der generativen Phase erfolgte nach Angaben der Autoren aufgrund der Tatsache, dass der Zeitpunkt der Blüte der wichtigste Zeitpunkt für eine Ertragsprognose basierend auf klimatischen Daten ist. Von den betrachteten Umweltfaktoren wurde der Sonneneinstrahlung zum Zeitpunkt der Blüte die intensivste Beachtung geschenkt, da Erträge am empfindlichsten auf Veränderung in der Strahlungsintensität zu diesem Zeitpunkt reagieren (MITCHELL et al., 1996; SAVIN und SLAFER, 1991). Des Weiteren wurde die Dauer der Kornfüllungsphase betrachtet, da auch hier ein erheblicher Einfluss auf die Ertragsbildung erwartet wurde (MOOT et al., 1996; SPIERTZ und VOS, 1985). Untersuchungen von CHMIELEWSKI (2003) zeigen, dass die genaue Beachtung der Phänologie absolut notwendig ist, um die Ertragsbildung von Getreide beschreiben zu können und diese daher in Ertragsprognosemodellen Verwendung finden müssen. Eine Verbesserung der Prognosegenauigkeit bei der Abschätzung von Weizenerträgen in Argentinien konnte durch die Orientierung an phänologischen Phasen im Gegensatz zur Betrachtung von festen Zeiteinheiten realisiert werden (SCIAN, 2004). CHMIELEWSKI und KÖHN (1999; 2000) berichten sowohl für Wintergetreide (Roggen) als auch für Sommerungen, dass in allen phänologischen Phasen der Ertrag von Witterungsgrößen mehr oder weniger stark beeinflusst wird.

Den empirisch-statistischen Modellen ist gemein, dass diese Modelle nicht übertragbar sind, sondern nur für den eng begrenzten geographischen Raum eine adäquate Prognosegenauigkeit liefern, aus denen die Ertrags- und Witterungsdaten zur Generierung der Modelle herangezogen wurden (CHMIELEWSKI und POTTS, 1995; LANDAU et al., 2000). KLOß (1987) ermittelte in ihren Untersuchungen, dass diese regionale Gültigkeit nicht nur für Prognose von Erträgen, sondern auch für die Abschätzung von Qualitäten gilt.

3. Untersuchungsgebiete

Die für diese Studie betrachteten Untersuchungsgebiete befinden sich in zwei Regionen in Deutschland. Das eine in der sogenannten „Vorderpfalz“ in Rheinland-Pfalz (RLP) und das andere im Übergangsbereich zwischen Schwarzwald und Schwäbischer Alb in Baden-Württemberg (BW) (siehe Abbildung 1).

3.1. Regionen

In der Region „Vorderpfalz“ (RLP) wurden die Landkreise „Germersheim“ (Germ) und „Südliche Weinstraße“ (Süw) untersucht. In der Region Schwarzwald / Schwäbische Alb waren es die vier Landkreise „Freudenstadt“ (Fds), „Rottweil“ (Rott), „Tuttlingen“ (Tutt) und der „Zollern-Alb-Kreis“ (Zak). Die Auswahl gerade dieser beiden Regionen erfolgte nach Absprache mit der am Projekt beteiligten Mälzerei. Diese beiden Regionen bilden für diese Mälzerei die Hauptbezugsquelle für benötigte Braugerste.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die im vorliegenden Projekt betrachteten Regionen und Landkreise. Verdeutlicht wird die geographische Lage der Gebiete in Abbildung 1

Tabelle 1: Übersicht über die betrachteten Regionen, Landkreise so wie die hierfür verwendeten Kennungen

Region	Region Kennung	Landkreise	Landkreis Kennung
Vorderpfalz	RLP	Germersheim Südliche Weinstraße	Germ Süw
Schwarzwald – Schwäbische Alb	BW	Freudenstadt Rottweil Tuttlingen Zollern-Alb-Kreis	Fds Rott Tutt Zak

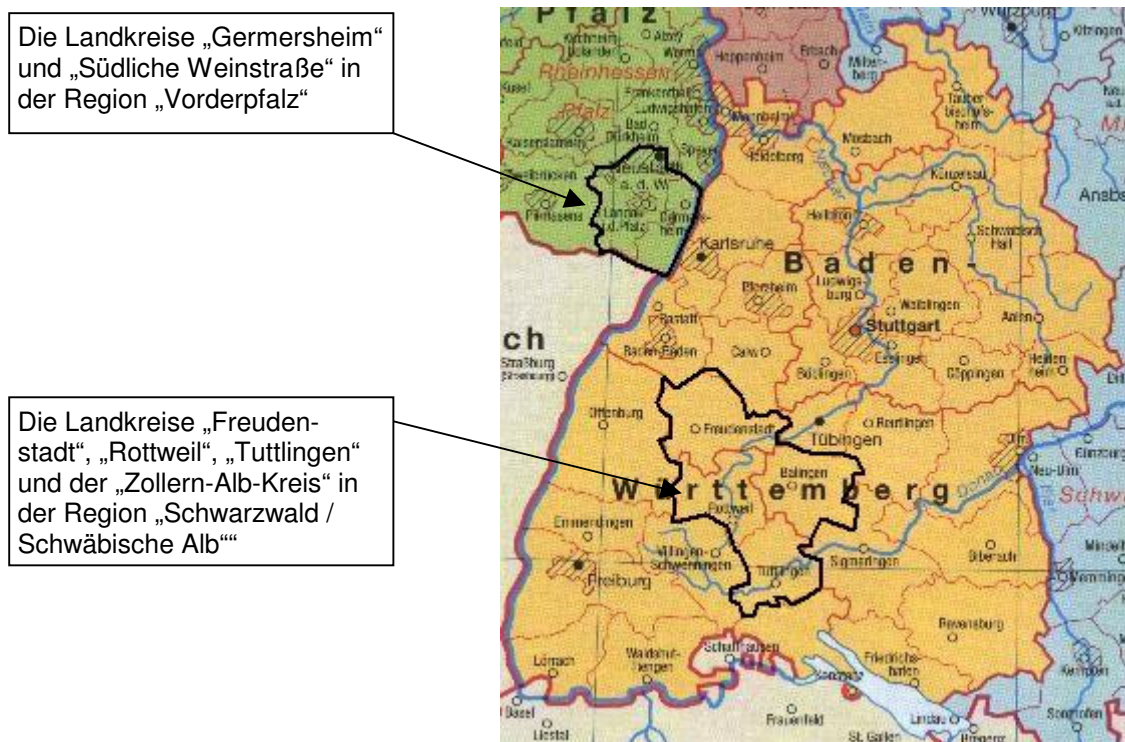


Abbildung 1: Übersicht über die geographische Lage der Untersuchungsgebiete

3.2. Beschreibung der Untersuchungsgebiete

3.2.1. Untersuchungsregion Rheinland-Pfalz

Die in dieser Studie betrachteten Landkreise im Bundesland „Rheinland-Pfalz“ liegen in der Vorderpfalz, im Naturraum Nördliches Oberrheintiefland. Der Landkreis Südliche Weinstraße ragt im Westen in den Naturraum „Haardtgebirge“ hinein, dadurch ist er im Gegensatz zum Landkreis Germersheim durch erheblich differierende naturräumliche Gegebenheiten, wie diesen Gebirgskamm, gekennzeichnet. Das Randgebiet des Haardtgebirges ist bestimmt durch kalkige und mergelige Auflagerungen, gebildet aus tertiären Schichten. Hangschutt, Schotter und Sande sowie Löß und Lößlehm bilden den Abschluss der Gesteinsserien. Großteile der Landkreise Südliche Weinstraße und Germersheim sind durch schwach reliefiertes Gelände mit einer durchschnittlichen Höhe von etwa 150 m über NN geprägt. Eine mehrere Meter mächtige zusammenhängende Lößdecke bedingt, dass dort ein nahezu einheitliches Bodenmuster vorzufinden ist (PEMÖLLER, 1969). Die der Untersuchungsregion naheliegende Klimastation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Karlsruhe gibt als

langjähriges Mittel (1961 – 1990) für die Temperatur 10,3 °C und für den Jahresniederschlag 770 mm an (DWD, 2003). In den beiden Landkreisen wird eine Fläche von etwa 40.000 ha landwirtschaftlich genutzt. 25.000 ha hiervon werden ackerbaulich bewirtschaftet, etwas mehr als 4.000 ha davon mit Sommergerste (STATISTISCHES LANDESAMT RLP, 1999).

3.2.2. Untersuchungsgebiet Baden-Württemberg

Hinsichtlich der naturräumlichen Zusammensetzung ist das Untersuchungsgebiet „Schwarzwald – Schwäbische Alb“ deutlich heterogener als die Region „Vorderpfalz“, da hier nicht nur zwei, sondern eine größere Anzahl sich unterscheidende Naturräume anzutreffen sind. Es umfasst die Naturräume „Obere Gäue“ im Westen und Norden, die „Mittlere Flächenalb“ im Osten, im Süden die „Baar“ und das „Obere Donautal“. Die mittleren Jahresniederschläge in dieser Untersuchungsregion schwanken zwischen 730 mm für Teile des Zollern-Alb-Kreis und bis über 900 mm im Kreis Rottweil. Das Untersuchungsgebiet „Schwarzwald – Schwäbische Alb“ liegt im Durchschnitt 660 m über NN. Die Variabilität der Naturräume innerhalb des Untersuchungsgebietes lässt sich ebenso in den Böden wiederfinden. So kann im Zollern-Alb-Kreis u.a. verkarsteter Massenkalk, tertiäre, ebene Schotterplatten, Lößlehm und schwerer Lettenkohlenboden vorgefunden werden. Die Ackerböden am Fuß des westlichen Albtraufs des Landkreis Tuttlingen sind geprägt durch tiefgründige Lehme des Unteren und Oberen Lias. Die ackerbaulich genutzten Böden der Hochflächen des Landkreis Rottweil sind dunkle und schwere Lettenkohlenböden. Im deutlich weniger reliefierten Landkreis Freudenstadt sind die ackerbaulich genutzten Flächen geprägt durch die mosaikförmige Abfolge von Lößinseln und lößfreien Lettenkohlenplatten (HUTTENLOCHER, 1959). Als langjähriges Mittel (1961 – 1990) für die in der Nähe liegende Messstation Stuttgart/Echterdingen gibt das DWD einen Wert von 8,6 °C an (DWD, 2003). Dieser Wert kann jedoch nur als Richtwert gesehen werden, da die Höhenlagen der ackerbaulich genutzten Flächen und damit auch die anzutreffenden Temperaturen im ganzen Untersuchungsgebiet stark variieren. In den vier Landkreisen wird eine Fläche von etwa 112.700 ha landwirtschaftlich genutzt, 51.500 hiervon ackerbaulich. Etwa 7.200 ha der ackerbaulich genutzten Fläche in diesem Untersuchungsgebiet werden mit Sommergerste bestellt (STATISTISCHES LANDESAMT BW, 1999).

4. Daten

4.1. Phänologische Daten

Vom Deutschen Wetterdienst (DWD) wurden Daten zur Phänologie von Sommergerste und Hafer bezogen. Die Beobachtung der phänologischen Entwicklung der Sommergerste wurde vom DWD bis einschließlich 1990 durchgeführt, nach 1990 wurden diese Beobachtungen eingestellt. Für den Zeitraum 1981 bis 1990 stehen im vorliegenden Projekt die Beobachtungstermine der folgenden phänologischen Stadien zur Verfügung. Vergleichend sind die Entwicklungsstadien nach der BBCH - Skala (LANCASHIRE et al., 1991) aufgeführt.

- Beginn der Aussaat (BBCH – Makrostadium 00)
- Beginn des Auflaufens (BBCH – Makrostadium 09)
- Beginn des Schossens (BBCH – Makrostadium 30)
- Beginn des Ährenschiebens (BBCH – Makrostadium 51)
- Beginn der Gelbreife (BBCH – Makrostadium 87) und der
- Beginn der Ernte (BBCH – Makrostadium 99)

Nach Einstellung der Berichterstattung der Sommergersten-Phänologie im Jahr 1990 wurde für das hier vorliegende Projekt für die Zeit von 1990 bis 2002 ersatzweise die phänologische Entwicklung von Hafer, die sehr eng mit der Sommergerstenentwicklung korreliert ($R^2 = 0,88$) (RÖMER, 1988; CHMIELEWSKI und KÖHN, 1999) herangezogen (siehe Abbildung 2).

Anhand der für beide Kulturen vorliegenden Beobachtungsdaten der Jahre 1981 - 1990 wurden für alle erfassten phänologischen Stadien Regressionsgleichungen für die betrachteten Landkreise erstellt. Mit Ihrer Hilfe sollte es möglich sein, anhand der nach 1990 gemeldeten Daten für Hafer, den Beginn der entsprechenden Phase für Sommergerste ableiten zu können.

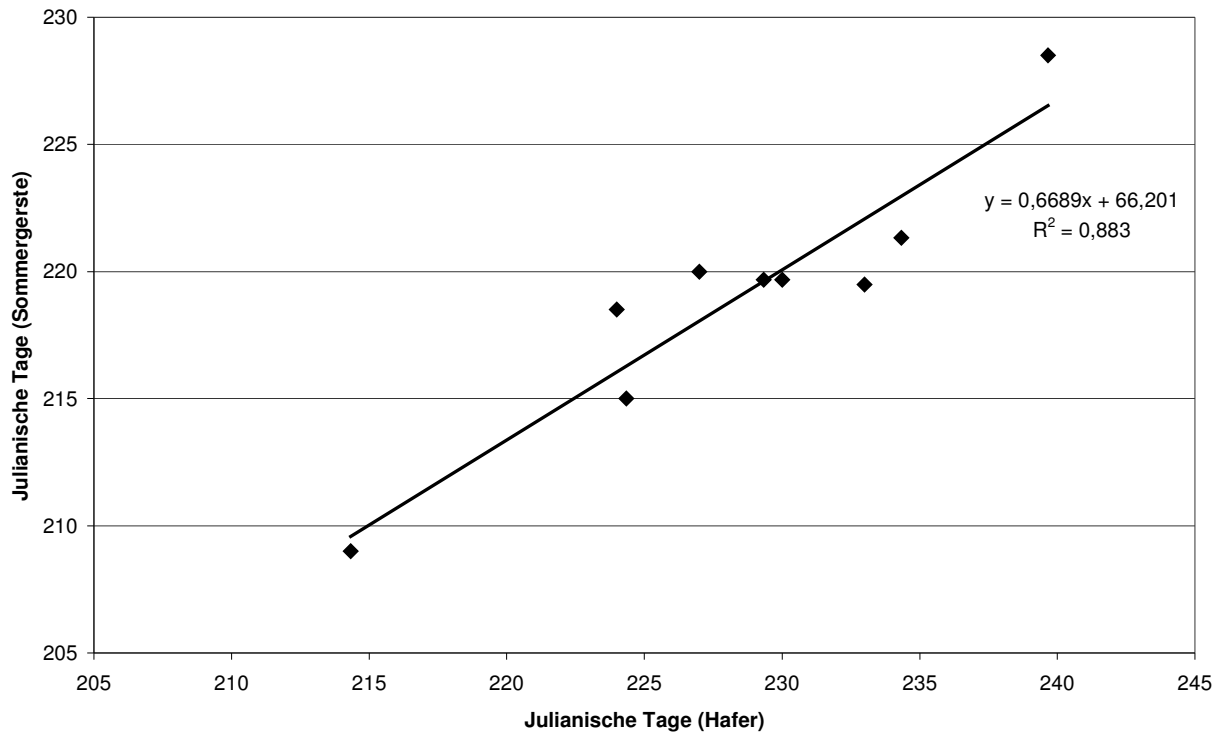


Abbildung 2: Regressionsgleichung zwischen Sommergerste und Hafer zum Phasenbeginn am Beispiel „Eintritt der Gelbreife“ im Landkreis Rottweil

Die Eintrittsdaten der phänologischen Phasen wurden dabei vom DWD in Jahrestagszahlen oder „Julianischen Tagen“ angegeben (1. Januar = 1; 31. Dezember (in Nicht-Schaltjahren) = 365). Die nachfolgende Tabelle 2 gibt einen Überblick über die phänologischen Meldestationen in den jeweiligen Landkreisen für die im Projekt betrachteten Regionen. Um nun von den einzelnen Meldern eines Landkreises berichteten Eintrittsdaten zu einem für den gesamten Landkreis gültigen Wert zu kommen, wurden die Daten zu einem über den Landkreis gemittelten Wert zusammengefasst.

Tabelle 2: Übersicht über die phänologischen Meldestationen deren Daten bei den Berechnungen Verwendung finden

Stationsname	Landkreis	Region
Freudenstadt-Ost	Freudenstadt	BW
Horb	Freudenstadt	BW
Lossburg	Freudenstadt	BW
Pfalzgrafenweiler	Freudenstadt	BW
Wittendorf	Freudenstadt	BW
Neukirch	Rottweil	BW
Rottweil	Rottweil	BW
Schramberg	Rottweil	BW
Sulz	Rottweil	BW
Huefingen	Tuttlingen	BW
Immendingen	Tuttlingen	BW
Spaichingen	Tuttlingen	BW
Tuttlingen	Tuttlingen	BW
Balingen	Zollern-Alb-Kreis	BW
Haigerloch	Zollern-Alb-Kreis	BW
Killer	Zollern-Alb-Kreis	BW
Lautlingen	Zollern-Alb-Kreis	BW
Rangendingen	Zollern-Alb-Kreis	BW
Sickingen	Zollern-Alb-Kreis	BW
Tieringen	Zollern-Alb-Kreis	BW
Veringenstadt	Zollern-Alb-Kreis	BW
Erlenbach	Germersheim	RLP
Harthausen	Germersheim	RLP
Kandel	Germersheim	RLP
Steinweiler	Germersheim	RLP
Weingarten	Germersheim	RLP
Annweiler	Südliche Weinstraße	RLP
Bad Bergzabern	Südliche Weinstraße	RLP
Dierbach	Südliche Weinstraße	RLP
Freimersheim	Südliche Weinstraße	RLP
Geinsheim	Südliche Weinstraße	RLP
Niederhochstadt	Südliche Weinstraße	RLP

4.2. Agrarstatistische Daten

Für die Jahre 1983 bis 2002 wurden die Ernteerträge (in dt/ha) der Sommergerste auf Landkreisebene bei den statistischen Landesämtern Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz erhoben.

4.2.1. Trendkorrektur

Um die Auswirkungen von sortenbedingten Unterschieden sowie den Einfluss des Technikfortschritts auf den Ertrag auszuschließen, wurden die Erträge trendkorrigiert. Damit werden die wetterbedingten Einflüsse auf die jährlichen Ertragsunterschiede

deutlicher hervorgehoben. Bei der Trendkorrektur wurde den ermittelten Erträgen der Jahre 1983 bis 2000 die entsprechende Jahreszahl gegenübergestellt und daraus eine Regressionsgleichung berechnet. Eine Übersicht über die ermittelten Regressionsgleichungen liefert die Anhang-Tabelle 4. Die ermittelten Erträge wurden dann mit den Werten verglichen, die für die entsprechenden Jahre mit Hilfe der Regressionsgleichung ermittelt wurden. Die Abweichungen zwischen diesen beiden Werten wurden dann prozentual ausgedrückt. Als Basiswert für die Erträge wurde der mit der Regression errechnete Wert des Jahres 1983 herangezogen. Dieser Wert wurde dann für die weiteren Jahre mit den berechneten prozentualen Werten multipliziert. In Abbildung 3 ist eine in dieser Form durchgeführte Trendkorrektur dargestellt.

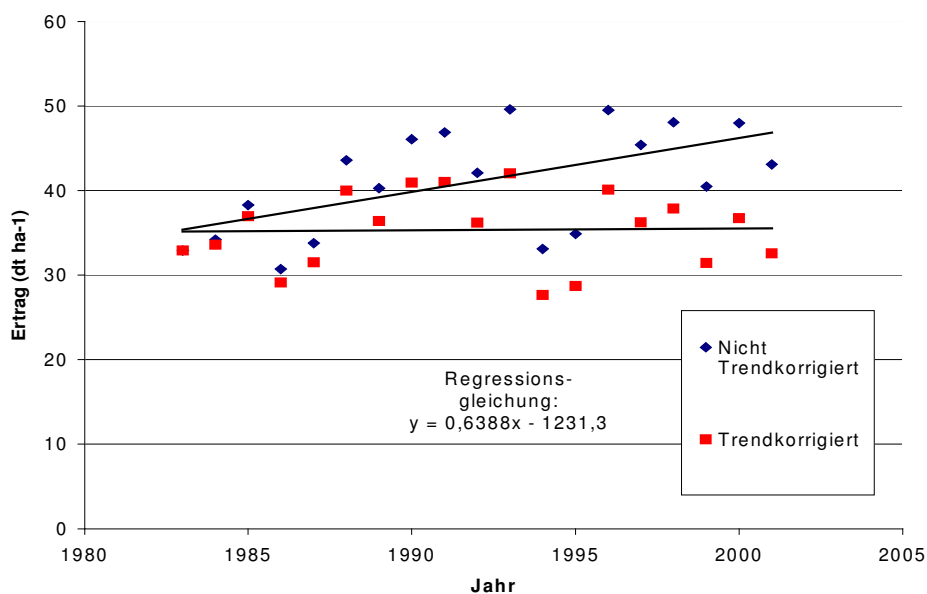


Abbildung 3: Trendkorrektur der Ernteerträge am Beispiel Zollern-Alb-Kreis

Im weiteren Verlauf dieser Studie wird mit diesen trendkorrigierten Erträgen gerechnet. Da der Markt jedoch reale Ertragswerte und nicht die für die Ertragsprognose notwendigen trendkorrigierten Erträge benötigt, lässt sich mit der nachfolgenden Formel die Trendkorrektur wieder herausrechnen:

Formel 1: Formel des Rückrechnens vom korrigierten auf den realen Ertrag

$$\text{Geschätzter Real - Ertrag (aktuelles Jahr)} = \text{geschätzter (trendkorrigierter) Ertrag (aktuelles Jahr)} * \left(2 * \left(\frac{\text{Ertrag Vorjahr}}{\text{trendkorrigierter Ertrag Vorjahr}} \right) - \left(\frac{\text{Ertrag Vor - Vorjahr}}{\text{trendkorrigierter Ertrag Vor - Vorjahr}} \right) \right)$$

4.3. Meteorologische Daten**Tabelle 3: Übersicht über die Klimastationen deren Daten bei den Berechnungen Verwendung gefunden haben**

Stationsname	Landkreis	Region
Enzklösterle	Freudenstadt	BW
Freudenstadt	Freudenstadt	BW
Waldachtal-Lützenhardt	Freudenstadt	BW
Oberndorf/Neckar-Aistig	Rottweil	BW
Wolfach	Rottweil	BW
Rottweil	Rottweil	BW
Klippeneck	Tuttlingen	BW
Neuhausen	Tuttlingen	BW
Sigmaringen-Laiz	Tuttlingen	BW
Tuttlingen	Tuttlingen	BW
Hechingen	Zollern-Alb-Kreis	BW
Messstetten	Zollern-Alb-Kreis	BW
Albstadt	Zollern-Alb-Kreis	BW
Rottenburg	Zollern-Alb-Kreis	BW
Sigmaringen-Laiz	Zollern-Alb-Kreis	BW
Karlsruhe	Germersheim	RLP
Waghäusel-Kirrlach	Germersheim	RLP
Bad Bergzabern	Südliche Weinstraße	RLP
Neustadt/Weinstr.	Südliche Weinstraße	RLP

Von den in Tabelle 3 angegebenen Klimastationen wurden für die Jahre 1987 bis 2002 vom Deutschen Wetterdienst (DWD) für die Untersuchungsgebiete (siehe: Kapitel 3: Untersuchungsgebiete) folgende Daten bezogen:

- tägliche Maximumtemperatur in 0,1 °C

- tägliche Minimumtemperatur in 0,1 °C
- Tagesmittel der Luftfeuchte in %
- tägliche Niederschlagshöhe in 1/10 mm

Vom „Geschäftsfeld Landwirtschaft“ des DWD wurden darüber hinaus für den gleichen Zeitraum für die Stationen der Untersuchungsgebiete folgende Daten erhoben:

- tägliche potentielle Evapotranspiration (ET_p) in 1/10 mm (berechnet nach HAUDE, 1955) bezogen.

Ergänzend zu den in Tabelle 3 aufgeführten Klimastationen, von denen keine Werte für die Globalstrahlung erfasst wurden, wurden für die Landkreise in Rheinland-Pfalz die Messwerte der Globalstrahlung der Station Mannheim herangezogen, für die Landkreise in Baden-Württemberg diejenigen der Stationen Stuttgart und Freiburg. Analog zur Mittelwertbildung bei den berichteten Eintrittsdaten der phänologischen Phasen, wurden auch alle für die jeweiligen Landkreise zur Verfügung stehenden Daten der Messstationen zu einem Mittelwert zusammengefasst.

4.4. Felddaten

Ergänzend zu den meteorologischen-, phänologischen- und agrarstatistischen Daten wurde in den Untersuchungsregionen mit ortsansässigen Landwirten zusammengearbeitet, die Braugerste an repräsentativen Standorten innerhalb der Untersuchungsregion anbauten. Im Jahr 2001 beteiligten sich zehn Landwirte. Sie stellten 17 Braugerstensschläge für die Beprobung zur Verfügung. In 2002 konnten neun Landwirte mit 17 Braugerstensschlägen für die Mithilfe gewonnen werden. Eine Übersicht über die Standorte innerhalb der Untersuchungsregionen, an denen Felddaten durch Beprobung erhoben wurden und über die Landwirte, die dankenswerterweise in diesem Projekt eine Zusammenarbeit ermöglichten, liefert Tabelle 4.

Tabelle 4: Übersicht über die am Projekt beteiligten Landwirte und die Standorte in den Untersuchungsregionen

Region	Landkreis	Landkreis Abkürzung	Name des Landwirts	Standort	Standort Abkürzung
RLP	Germersheim	Germ	Stegmüller	Ottersheim	Ott
RLP	Südliche Weinstraße	Süw	Knecht	Herxheim	Herx
RLP	Südliche Weinstraße	Süw	Hornberger	Insheim	Ins
RLP	Südliche Weinstraße	Süw	Paul	Steinfeld	Steinf
RLP	Südliche Weinstraße	Süw	Roth	Offenbach an der Queich	Off
BW	Freudenstadt	Fds	Schneiderhahn	Horb	Horb
BW	Zollern-Alb-Kreis	Zak	Schneider	Haigerloch	Haig
BW	Zollern-Alb-Kreis	Zak	Abt	Strassberg	Strass
BW	Rottweil	Rott	Heim	Epfendorf	Epf
BW	Tuttlingen	Tutt	Staudenmayer	Spaichingen	Spaich

4.4.1. Untersuchungen auf Schlagebene

Eine Beprobung des Pflanzenmaterials der Braugerstenschläge der Landwirte fand zu den folgenden vier Zeitpunkten der Vegetationsperiode statt:

- „vor der Blüte“ (< BBCH 49),
- „Blüte“ (\approx BBCH 65),
- „zwischen Blüte und Gelbreife“ (\approx BBCH 75)
- und zur „Gelbreife“ (\approx BBCH 87)

Dazu wurden an fünf gleichmäßig über den jeweiligen Schlag verteilten Probepunkten jeweils Beprobungen durchgeführt. Es wurde dabei je Punkt ein halber laufender Meter der Getreidepflanzen einer Reihe entnommen. Die Pflanzen wurden dabei mit einer Schere auf einer Stoppelhöhe von 2 - 3 cm abgeschnitten. Zu jedem Beprobungstermin wurde das Entwicklungsstadium nach der BBCH Skala (LANCASHIRE et al., 1991) (siehe Abbildung 4) bestimmt.

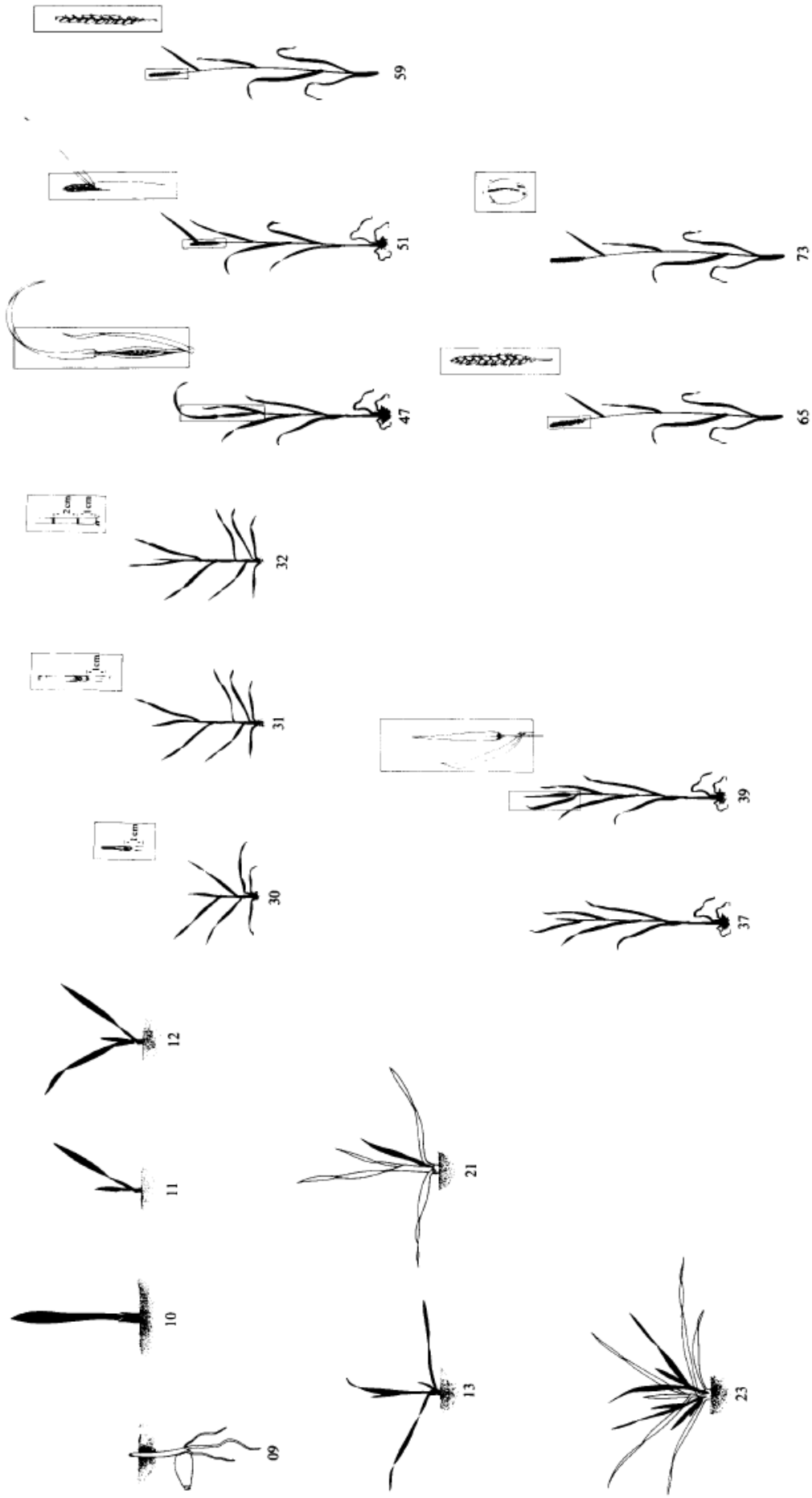


Abbildung 4: Die Entwicklungsstadien des Getreides nach der BBCH Skala

Zu den Terminen „vor der Blüte“ und „zwischen Blüte und Gelbreife“ wurde die geerntete Pflanzenmasse in die Fraktionen:

- Ähre (so vorhanden) und
 - Restpflanze
- zerteilt und von diesen Fraktionen die Frisch- und die Trockenmasse bestimmt.

An den Ernteterminen zur „Blüte“ und zur „Gelbreife“ erfolgte die Fraktionierung in:

- obere Blätter (Fahnenblatt und Fahnenblatt –1),
- untere Blätter (restliche Blätter),
- Halm und
- Ähre.

Von diesen Fraktionen erfolgte die Bestimmung der Frisch- und Trockenmasse, sowie des C- und N-Gehalts. Die Bestimmung des C- und des N-Gehalts erfolgte gaschromatographisch mit dem Auto-Analyser NA1500 der Firma Carlo-Erba im Labor des Instituts für Pflanzenbau der Universität Bonn. Zum Termin der Gelbreife wurde des weiteren an jedem Probepunkt die Pflanzenhöhe in cm in fünffacher Wiederholung sowie die Anzahl der Ähren je laufendem Meter in zweifacher Wiederholung erfasst.

Während der Ernte wurde von jedem Schlag eine Probe von 2 kg zurückgestellt. Diese Probe wurde durch die am Forschungsprojekt beteiligte Malzfabrik auf ihre Braugerstenqualität hin untersucht.

Untersuchungskriterien der Malzfabrik waren hierbei:

- Wassergehalt
- Eiweißgehalt
- Sortierung
- Keimrate
- Tausendkorngewicht

Im Vorfeld dieser Pflanzenbeprobungen wurde bereits schon zu Beginn der Bestockung (etwa BBCH 22) je Schlag an zehn Stellen die Anzahl der Pflanzen pro laufendem Meter ermittelt.

Zu diesen Daten aus der Flächenbeprobung wurden ergänzend mittels Fragebogen (siehe Abbildung 5) von den Landwirten die Eckdaten zur Kulturführung auf den jeweiligen Schlägen erhoben:

Fragebogen Teil I

	Schlag 1			Schlag 2		
Schlagbezeichnung						
Schlaggröße						
Höhenlage über NN (geschätzt)						
Bodentyp / Bodenart						
Nmin-Gehalt des Bodens vor der Sommergerste						
Vorfrucht						
Saattermin						
Saatstärke						
Reihenabstand						
Sorte						
Düngung	Art	Menge	Termin	Art	Menge	Termin
Grunddüngung						
1. N-Gabe						
2. N-Gabe						
evtl. weitere Düngung						

Fragebogen Teil II

	Schlag 1			Schlag 2		
Pflanzenschutz	Art	Menge	Termin	Art	Menge	Termin
1. Behandlung						
2. Behandlung						
3. Behandlung						
evtl. weitere Behandlung						
Erntedaten						
Erntetermin						
Erntemenge (dt/ha)						
Proteingehalt						
Vollgerstenanteil						
Feuchte-Gehalt						
Hekto-Liter Gewicht						

Abbildung 5: Fragebogen mit dem die Daten zur Kulturführung von den Landwirten erhoben wurden

5. Ertragsprognose von Sommergerstenerträgen basierend auf statistischen Berechnungen

5.1. Zusammenführung von meteorologischen und phänologischen Daten

Um den Einfluss einzelner phänologischer Abschnitte auf den Ertrag berücksichtigen zu können, wurde der Vegetationsverlauf der Sommergerste in Abschnitte unterteilt, deren Beginn und Dauer durch die Meldetermine der phänologischen Beobachtungen bestimmt sind. Die Gliederung der Abschnitte sind der nachfolgenden Tabelle 5 zu entnehmen. Da der für die Ertragsbildung wichtige Zeitpunkt der Blüte nicht von den phänologischen Meldern erfasst wird, wurde in den nachfolgenden Berechnungen die Phase der Kornfüllung um den Zeitraum zwischen dem berichteten Beginn des Ährenschiebens bis zur Gelbreife verlängert.

Tabelle 5: Übersicht über die Einteilung der phänologischen Abschnitte

Abschnitt 1:	- von Jahresbeginn bis einschließlich des Tages vor dem gemeldeten Beginn der Aussaat
Abschnitt 2:	- vom Tag der Aussaat bis einschließlich des Tages vor Beginn des Auflaufens
Abschnitt 3:	- vom Tag des Auflaufens bis einschließlich des Tages vor Beginn des Schossens
Abschnitt 4:	- vom Tag des Schossens bis einschließlich des Tages vor Beginn des Ährenschiebens
Abschnitt 5:	- vom Tag des Ährenschiebens bis einschließlich des Tages vor Beginn der Gelbreife
Abschnitt 6:	- vom Tag der Gelbreife bis einschließlich des Tages vor Beginn der Ernte

Für diese Zeiträume wurden für jeden Landkreis aus den erhobenen meteorologischen Messwerten die in Tabelle 6 dargestellten Werte berechnet.

Tabelle 6: Übersicht über die aus den Wetterparametern berechneten Werte

Parameter 1	- Summe der maximalen Temperatur
Parameter 2	- Summe der mittleren Temperatur
Parameter 3	- Summe des Niederschlages
Parameter 4	- Summe der potentiellen Evapotranspiration
Parameter 5	- Summe der mittleren relativen Luftfeuchte
Parameter 6	- Summe der Strahlung in Joule / cm ²
Parameter 7	- Mittelwert der mittleren relativen Luftfeuchte
Parameter 8	- Anzahl der Julianischen Tage
Parameter 9,	- Mittelwert des Niederschlages
Parameter 10	- Mittelwert der mittleren Temperatur
Parameter 11	- Mittelwert der Strahlung in Joule / cm ²
Parameter 12	- Mittelwert der maximalen Temperatur

Für jeden der sechs Abschnitte der Pflanzenentwicklung (Tabelle 5) wurden die 12 Wetterparameter (Tabelle 6) berechnet. So standen insgesamt 72 Faktorkombinationen (siehe Anhang-Tabelle 6) zur Verfügung. Anhand dieser Faktorkombinationen soll der Ertrag im folgenden Kapitel 5.1.1 abgeschätzt werden.

5.1.1. Durchführung der Berechnungen

Mit den historischen Daten der Jahre 1987 – 2000 wird das Prognosemodell trainiert und die gefundenen Zusammenhänge bzw. Formeln für die konkreten Ertragsjahre 2001 und 2002 angewendet. Mit dem Statistikprogramm SAS 8e werden den historischen Ertragsdaten Witterungsdaten in Form der Faktorkombinationen gegenübergestellt. Durch dieses Programm sollen diejenigen Faktorkombinationen ausgewählt werden, mit denen sich der Ertrag beschreiben lässt. Den trendkorrigierten Ernteerträgen der Jahre 1987 – 2000 ($n = 14$) werden, der Anzahl der Freiheitsgrade ($n - 2 = 12$) entsprechend, jeweils Blöcke von 12 der 72 Faktorkombinationen gegenübergestellt. Durch das Statistikprogramm werden die Faktorkombinationen bei einer bestimmten Irrtumswahrscheinlichkeit auf ihre Signifikanz zum Ertrag geprüft. Die nicht signifikanten Faktorkombinationen werden ausgeschlossen. Dieser Vorgang wird solange fortgesetzt, bis nur 12 oder weniger Faktorkombinationen verblieben sind, mit denen sich der Ertrag beschreiben lässt. Die den Ertrag beschreibende Formel setzt sich zusammen aus einem festen Wert, zu dem dann die mit Faktoren versehenen Faktorkombinationen addiert werden. Die Berechnungen wurden mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($p = 0,05$) durchgeführt. In Fällen, in denen bei

dieser Irrtumswahrscheinlichkeit mehr als 12 Faktorkombinationen verblieben, wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit herabgesetzt. Verblieben bei der Auswahl durch das Programm keine Faktorkombinationen, wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit erhöht. Aufgrund von nicht gemeldeten phänologischen Daten für das Jahr 2001 wurden für alle Untersuchungen im Landkreis „Südliche Weinstraße“ die Jahre 1987 – 1999 zur Modellbildung genutzt und für das Jahr 2000 der Ertrag prognostiziert. Für die Prognose des Ertrages des Jahres 2001 wurden die phänologischen Meldetermine des im gleichen Naturraum liegenden Nachbarkreises „Germersheim“ zur Hilfe genommen.

Für alle Untersuchungsgebiete ist nachfolgend beispielhaft die Gleichung für den Landkreis Tuttlingen aufgeführt, mit der der Sommergerstenertrag für die Jahre 2001 und 2002 abgeschätzt wurde.

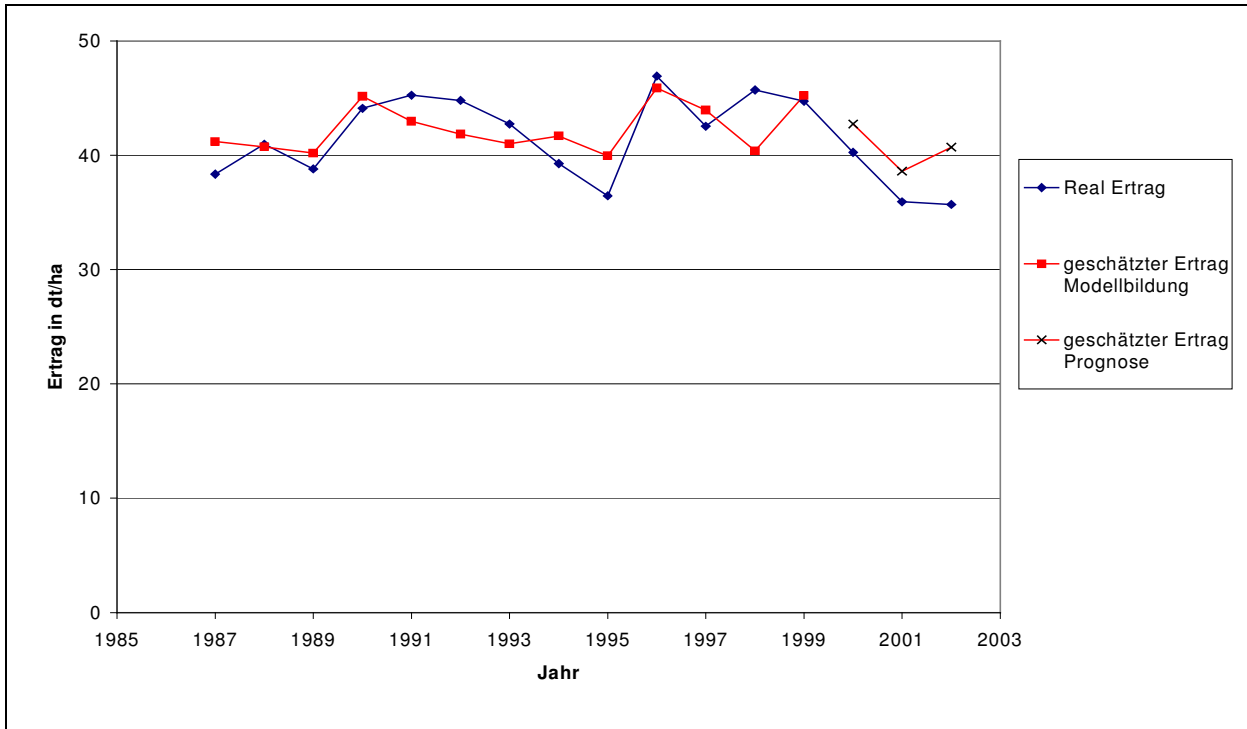
Formel 2: Beispiel für eine Formel zur Ertragsabschätzung

$$\begin{aligned} y \text{ (Ertrag)} = & \\ & 133,94938 \\ & + 0,00952 \times (\text{Summe der mittleren relativen Luftfeuchte (von 1-Aussaat)}) \\ & + (-0,92498 \times (\text{Anzahl der Julianischen Tage (von 1- Aussaat)})) \\ & + 0,01968 \times (\text{Summe der maximalen Temperatur (von Schossen – Ährenschieben)}) \\ & + (-0,0217 \times (\text{Summe der mittleren Temperatur (von Schossen – Ährenschieben)})) \\ & + (-0,26016 \times (\text{Mittelwert der mittleren Temperatur (von Ährenschieben bis Gelbreife)})) \\ & + 0,00787 \times (\text{Summe der maximalen Temperatur (von Gelbreife – Ernte)}) \\ & + (-0,02601 \times (\text{Summe der mittleren relativen Luftfeuchte (von Gelbreife – Ernte)})) \\ & + (-0,28041 \times (\text{Mittelwert der maximalen Temperatur (von Gelbreife – Ernte)})) \end{aligned}$$

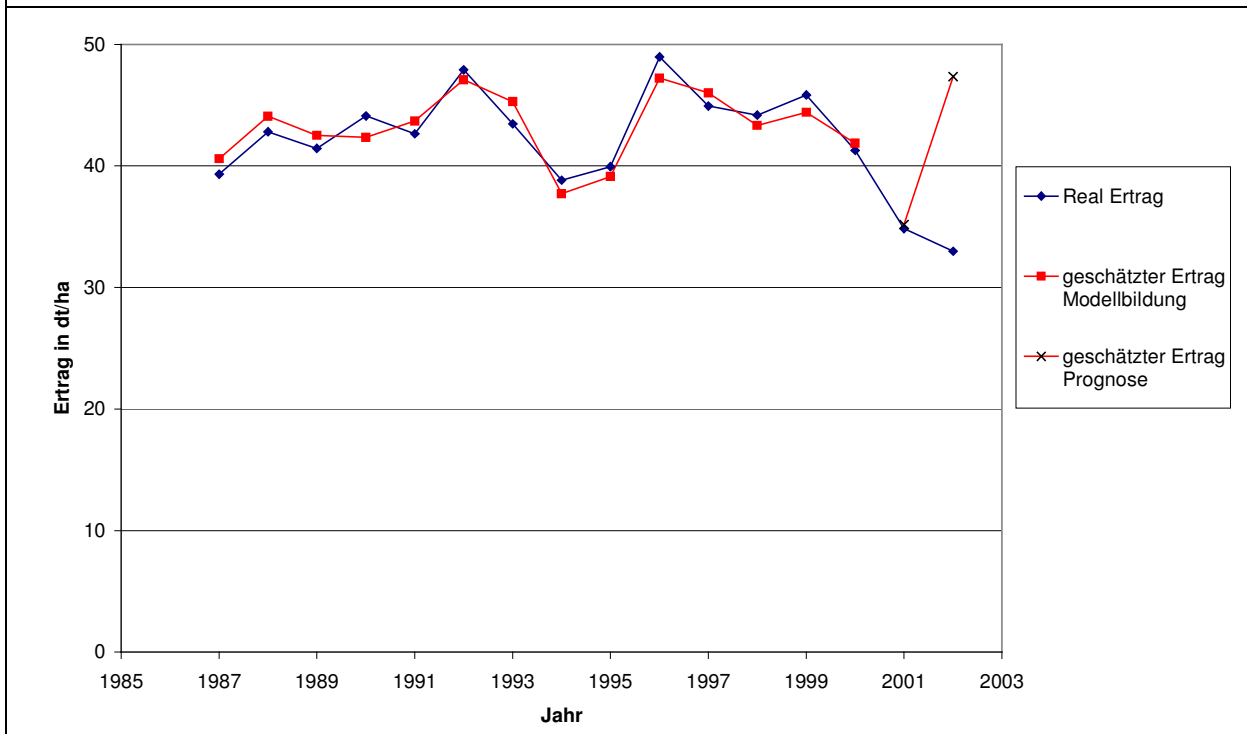
5.1.2. „präzise“ Berechnung

Bei den hier als „präzise“ bezeichneten Berechnungen galt es jene Faktorkombinationen zu ermitteln, anhand derer sich der Ertrag am exaktesten beschreiben lässt. Dabei wurden allen 72 möglichen Faktorkombinationen der Ertrag gegenübergestellt. Durch das Statistikprogramm wurden dann schrittweise die Faktorkombinationen herausgefiltert, die zur ertragsbeschreibenden Formel zusammengeführt wurden. Aufgrund der maximal möglichen Anzahl einbezogener Faktorkombinationen wurden bei diesen Berechnungen die „präzisesten“ Ergebnisse erwartet. In den folgenden Abbildungen 6 bis 8 sind für die einzelnen Landkreise jeweils der beobachtete Ertrag (= Real Ertrag) der Jahre 1987 – 2002, der geschätzte Ertrag für den Zeitraum der Modellbildung sowie der für die Jahre 2001 und 2002 geschätzte Ertrag vergleichend dargestellt.

Augenscheinlich ist in allen Landkreisen, dass sich für den Zeitraum der Modellbildung der Ertrag sehr genau durch die ermittelte Formel beschreiben lässt, in den Anwendungsjahren, die nicht in die Modellbildung eingeflossen sind, treten dann die in den Abbildungen ersichtlichen Abweichungen auf.

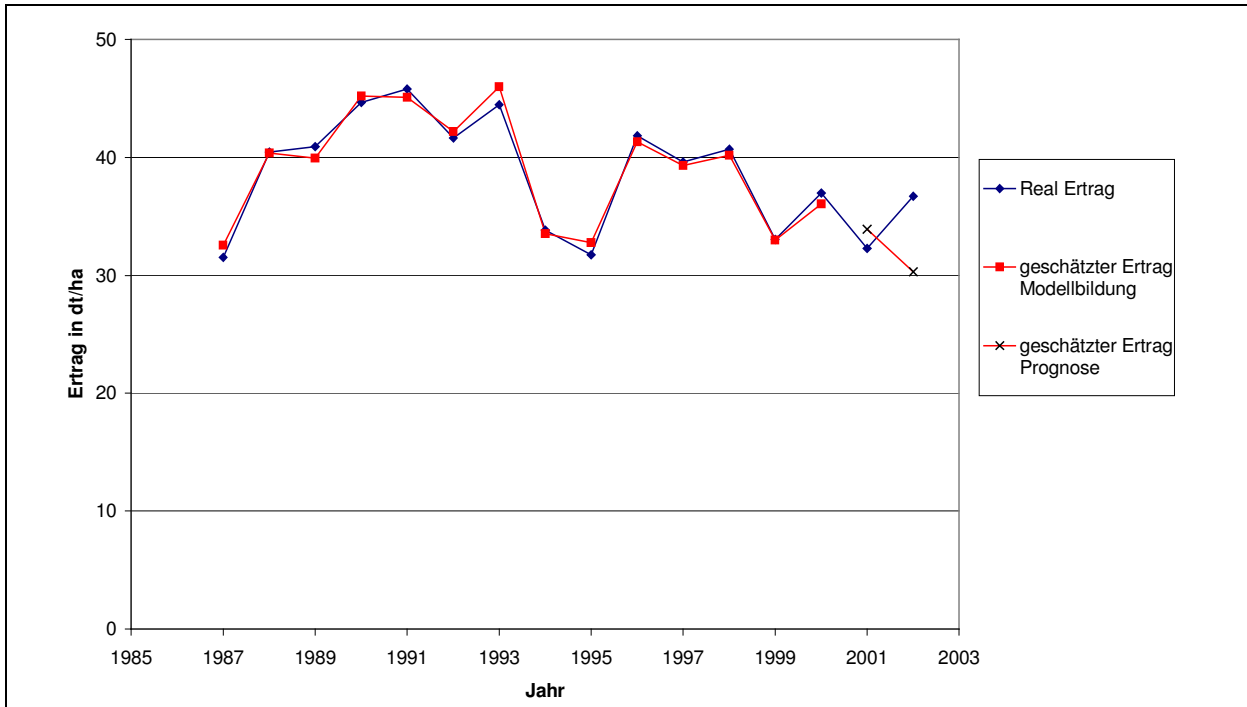


Landkreis Südliche Weinstraße

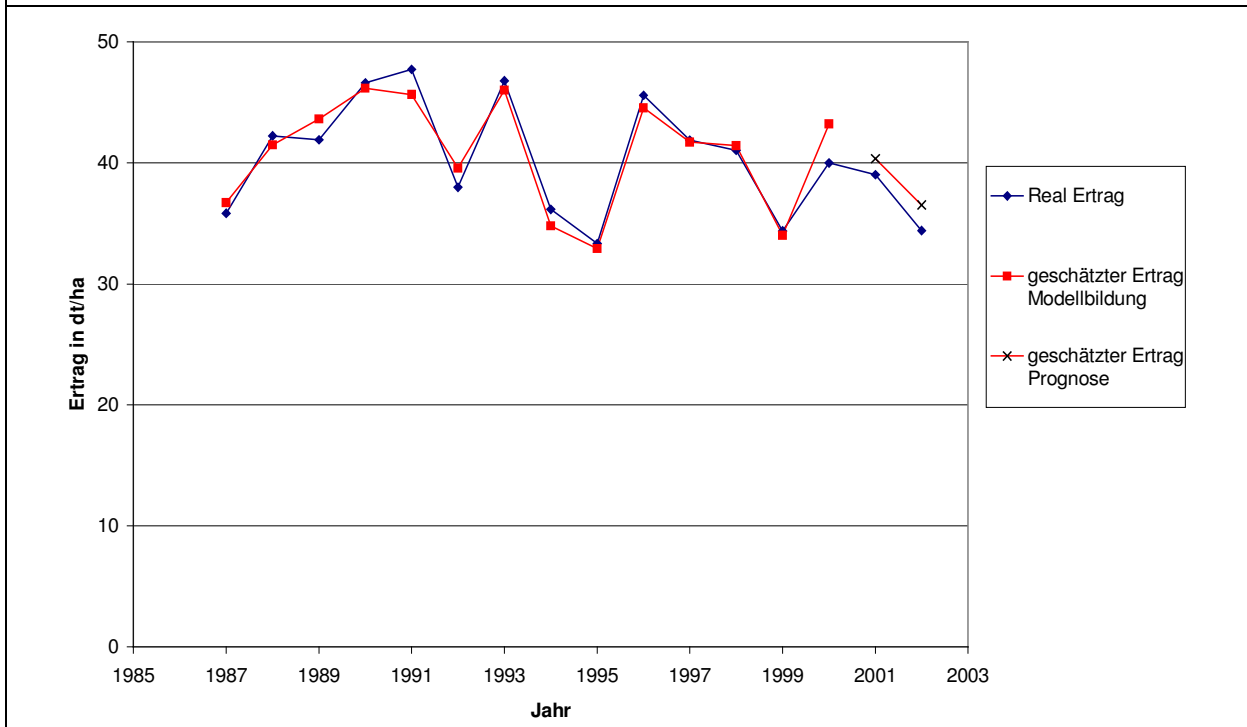


Landkreis Germersheim

Abbildung 6: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Südliche Weinstraße und Germersheim unter Verwendung aller Faktorkombinationen



Landkreis Tuttlingen



Landkreis Rottweil

Abbildung 7: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Tuttlingen und Rottweil unter Verwendung aller Faktorkombinationen

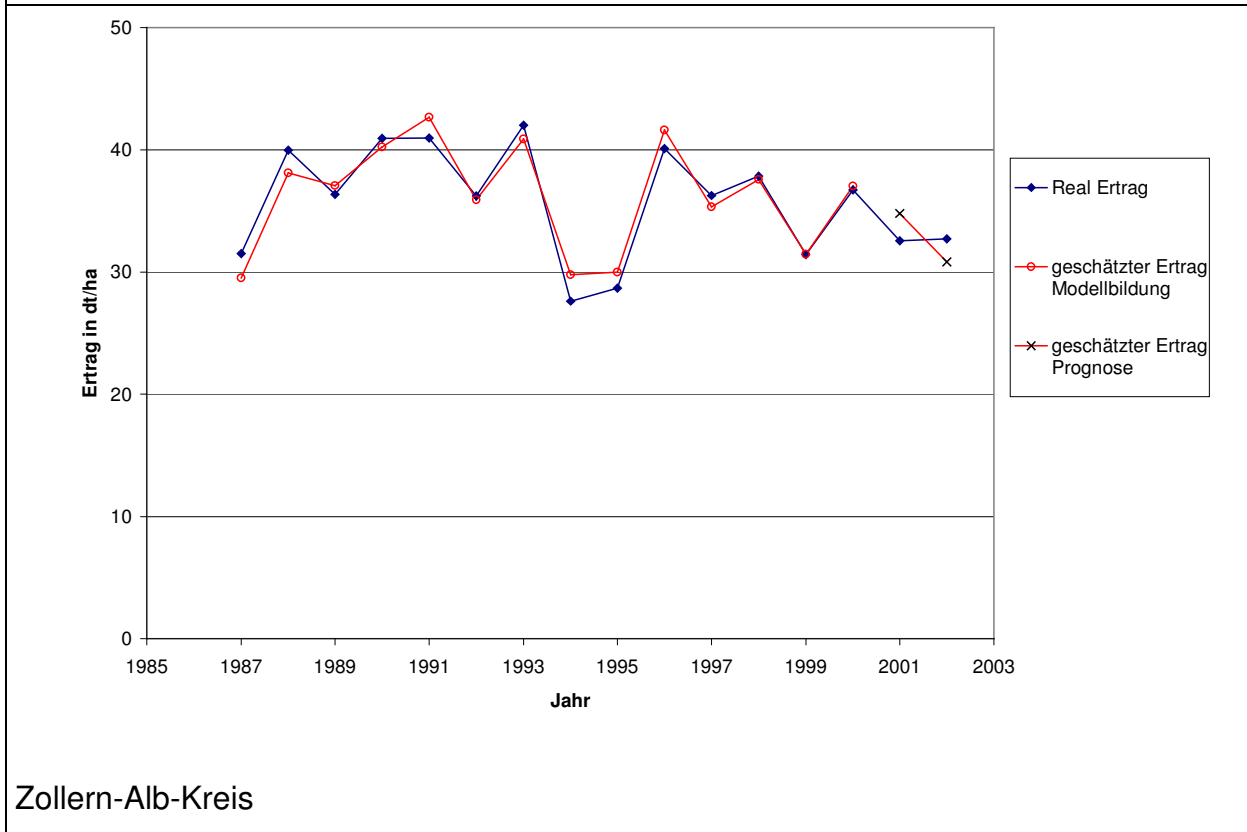
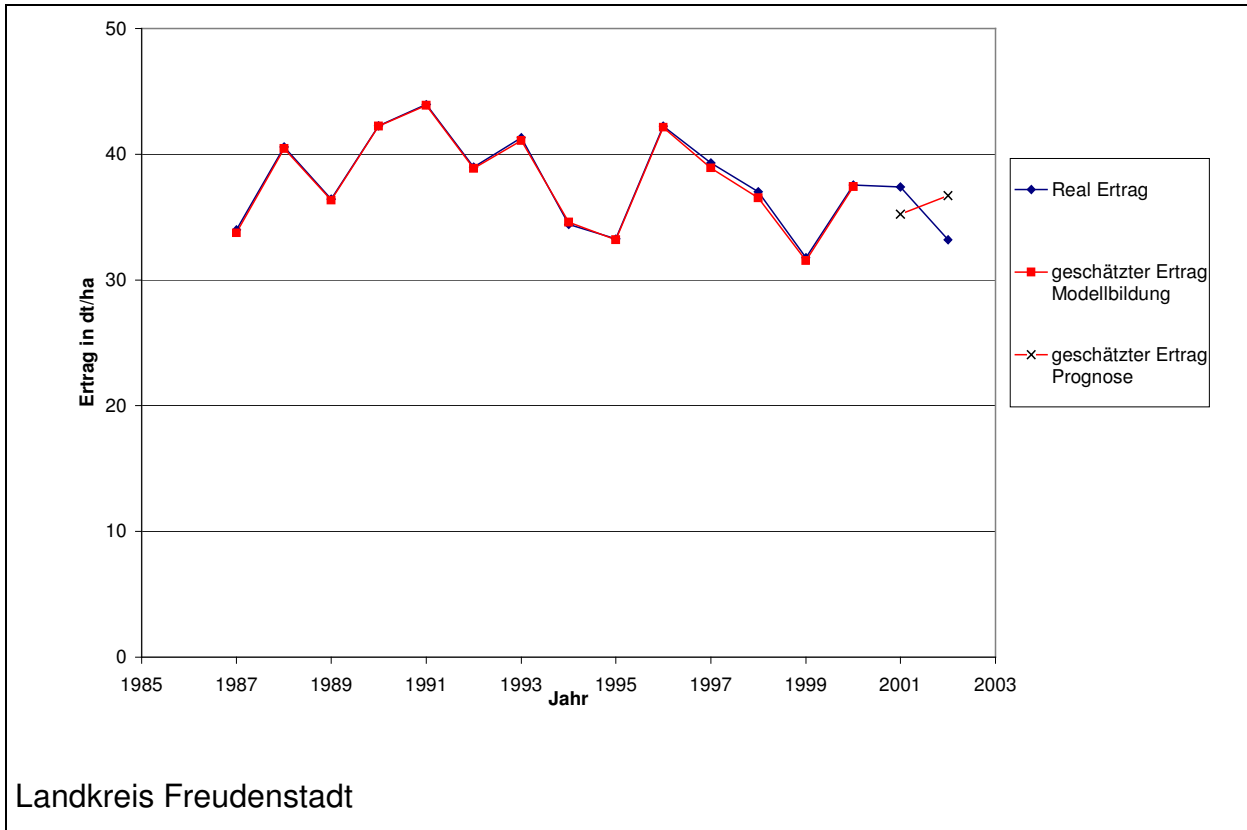
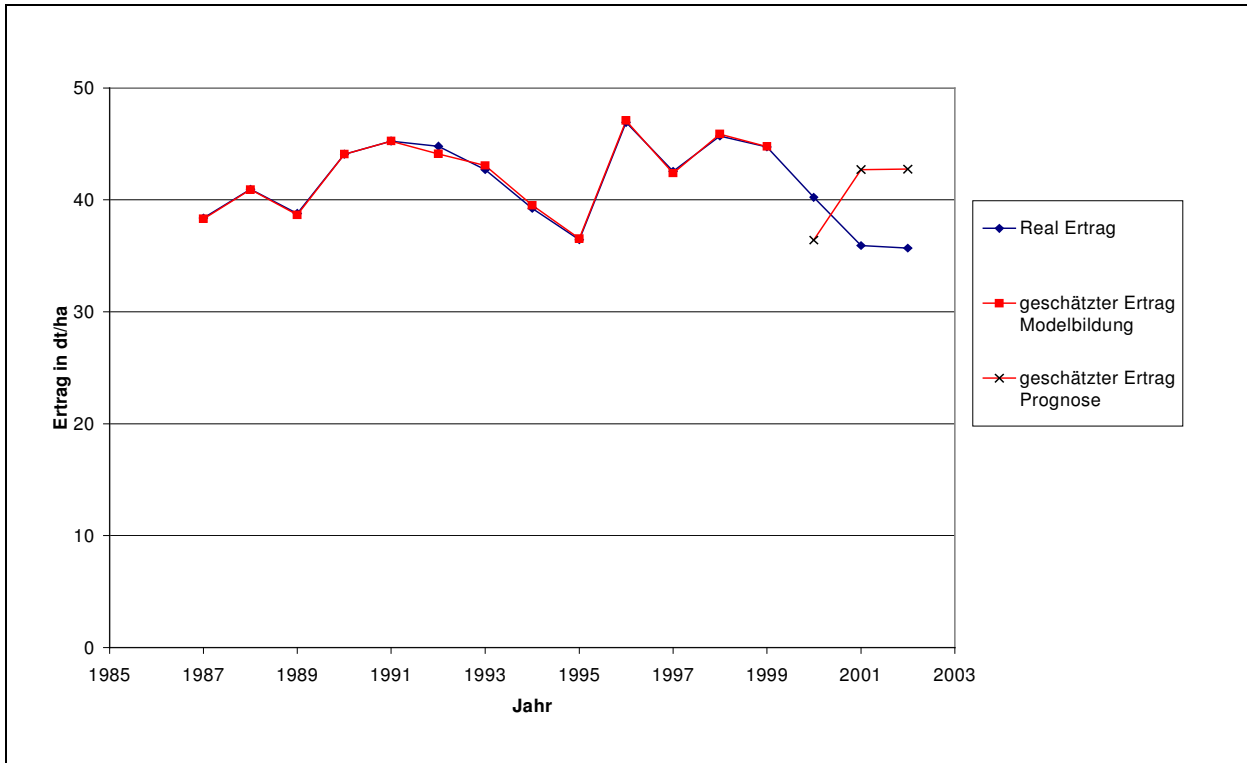


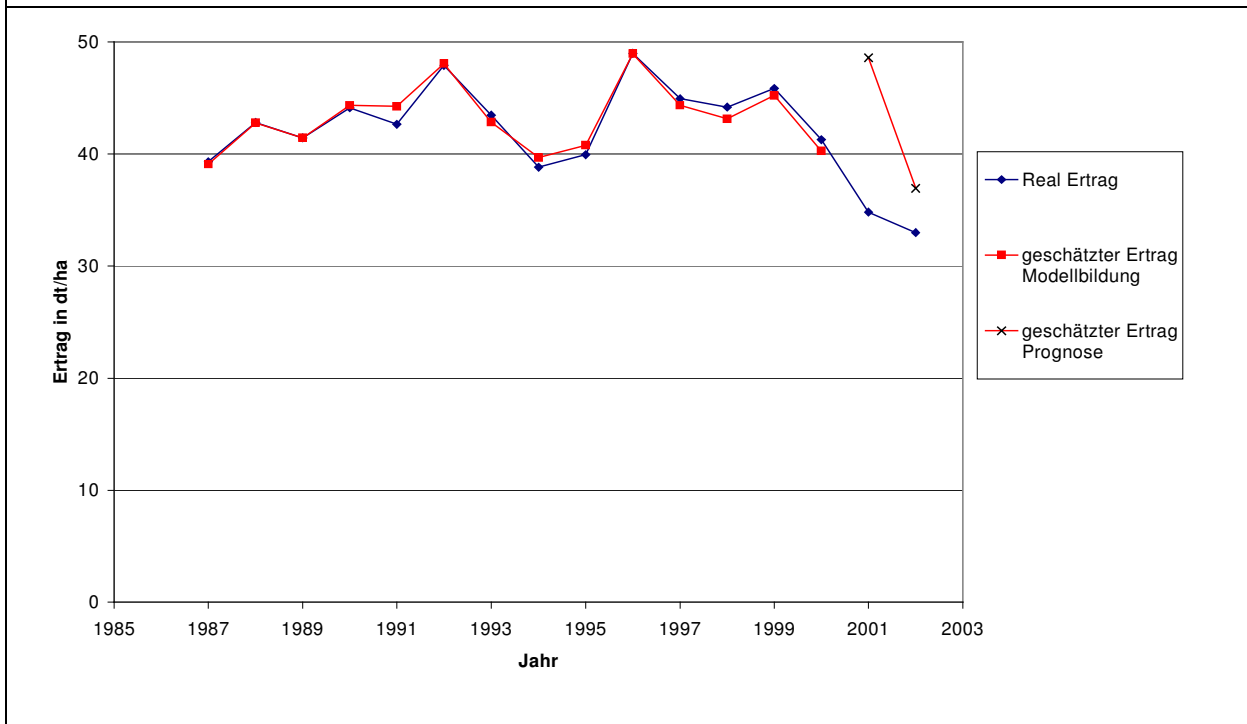
Abbildung 8: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge des Landkreises Freudenstadt und des Zollern-Alb-Kreis unter Verwendung aller Faktorkombinationen

5.1.3. „frühzeitige“ Berechnung

Bei der „frühzeitigen“ Berechnung wurden die Faktorkombinationen der späteren Abschnitte der Pflanzenentwicklung, Ährenschieben bis Gelbreife und Gelbreife bis Ernte nicht als Ausgangsgrößen zur der Berechnung der Prognoseformel berücksichtigt. Die Vorgehensweise bei diesen Berechnungen war analog zu der in Kap. 5.1.2, jedoch erfolgte die Bestimmung der ertragsbeschreibenden Formel lediglich anhand der Daten von Jahresbeginn bis zum Ährenschieben. Mit diesem Ansatz sollte geprüft werden, ob und in welchem Maße Abweichungen in der Prognosegenauigkeit mit frühzeitigen Prognosen verbunden sind. Die Abbildungen 9 bis 11 stellen nun die Erträge unter dem Gesichtspunkt „Frühzeitigkeit“ dar. Es sind ebenfalls, wie in den Abbildungen 6 bis 8, für die untersuchten Landkreise der beobachtete Ertrag der Jahre 1987 – 2002, der prognostizierte Ertrag für den Zeitraum der Modellbildung sowie der für die Jahre 2001 und 2002 geschätzte Ertrag dargestellt. Für die Landkreise „Freudenstadt“, „Rottweil“ und den „Zollern-Alb-Kreis“ sind die Ergebnisse und entsprechend die Abbildungen identisch mit denen der „präzisen“ Berechnung. Dieses liegt darin begründet, dass bereits bei den „präzisen“ Berechnungen nur Faktorkombinationen aus den Entwicklungsabschnitten bis zum Ährenschieben in der Formel zur Ertragsabschätzung verblieben waren.

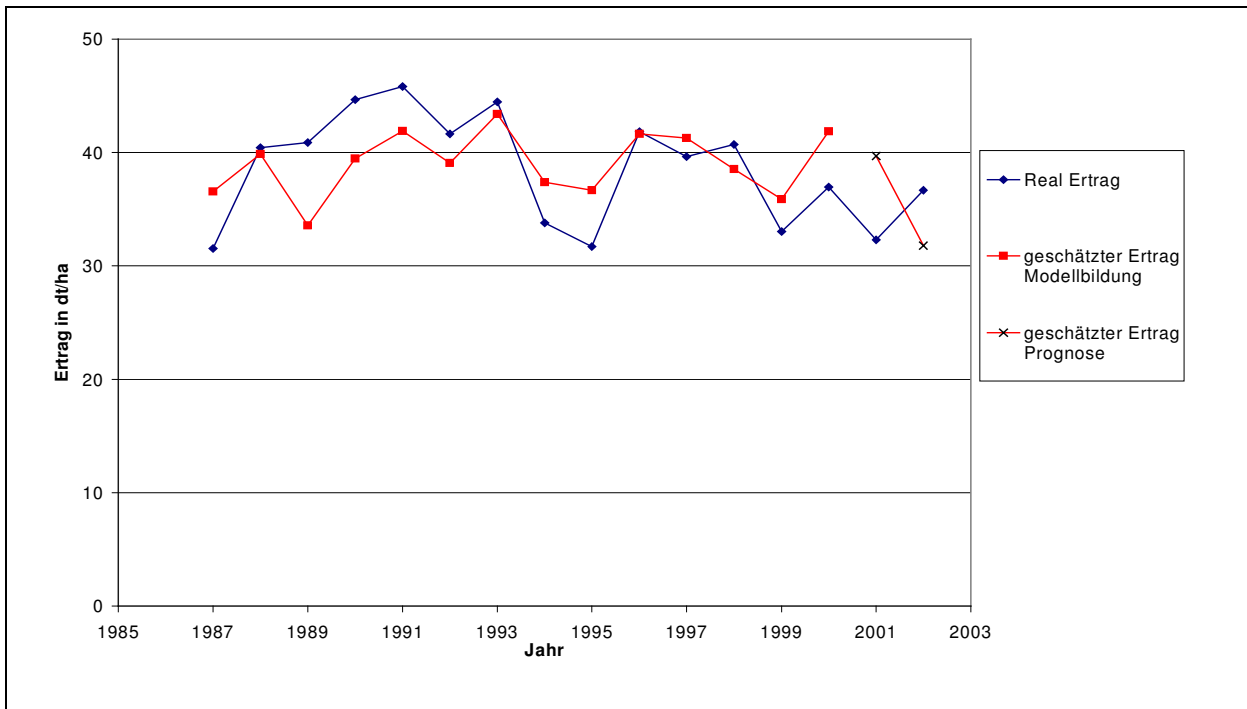


Landkreis Südliche Weinstraße

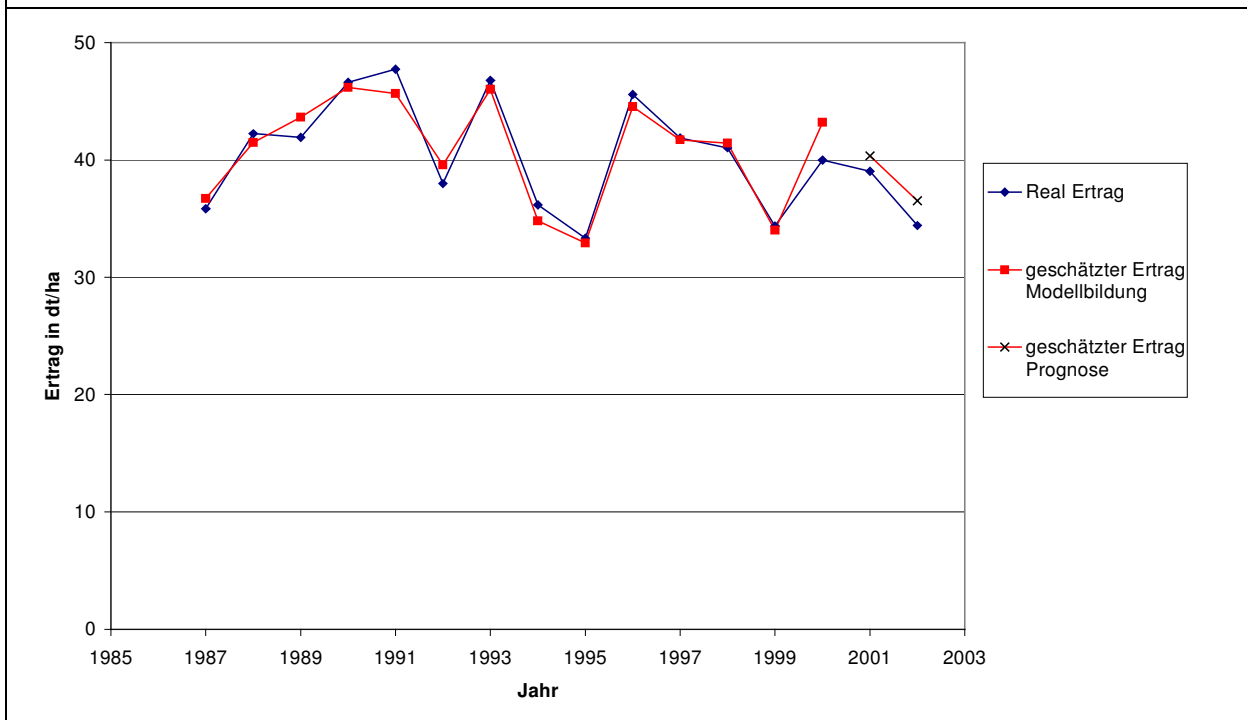


Landkreis Germersheim

Abbildung 9: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge in den Landkreisen Südliche Weinstraße und Germersheim unter Verwendung der Wetterparameter bis zum Ende des Schossens

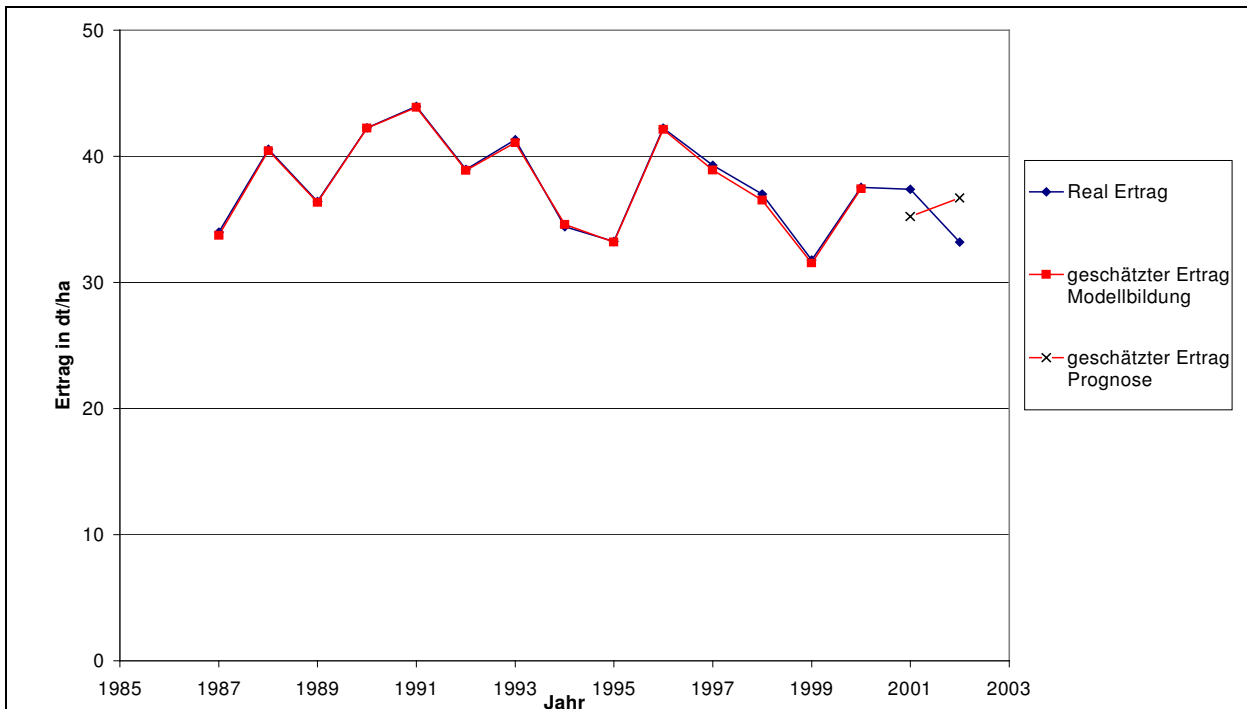


Landkreis Tuttlingen

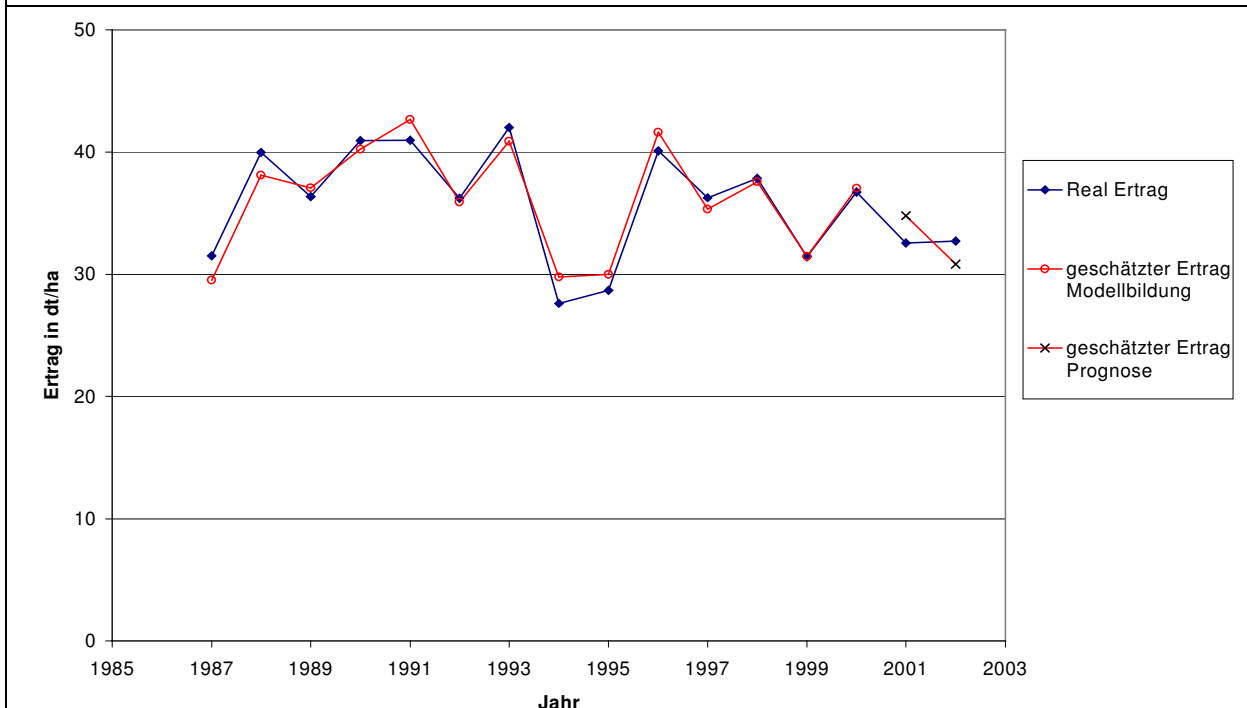


Landkreis Rottweil

Abbildung 10: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge in den Landkreisen Tuttlingen und Rottweil unter Verwendung der Wetterparameter bis zum Ende des Schossens



Landkreis Freudenstadt

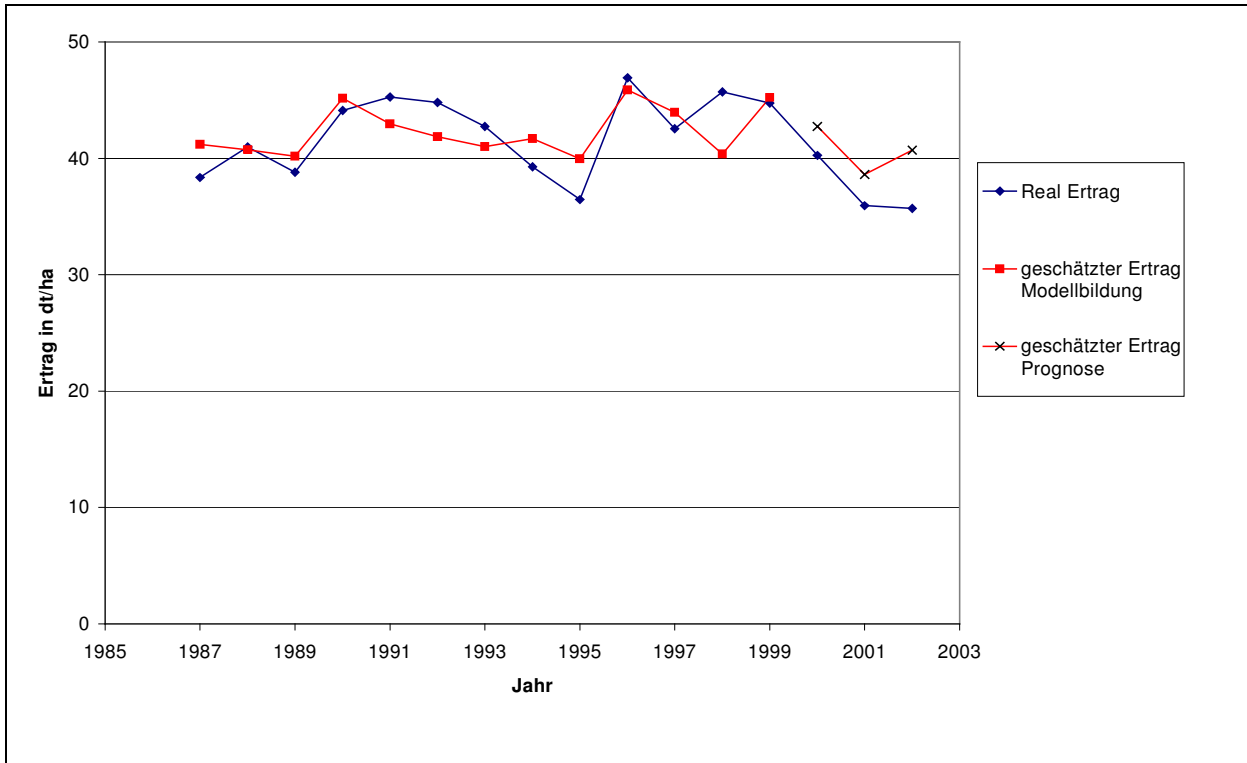


Zollern-Alb-Kreis

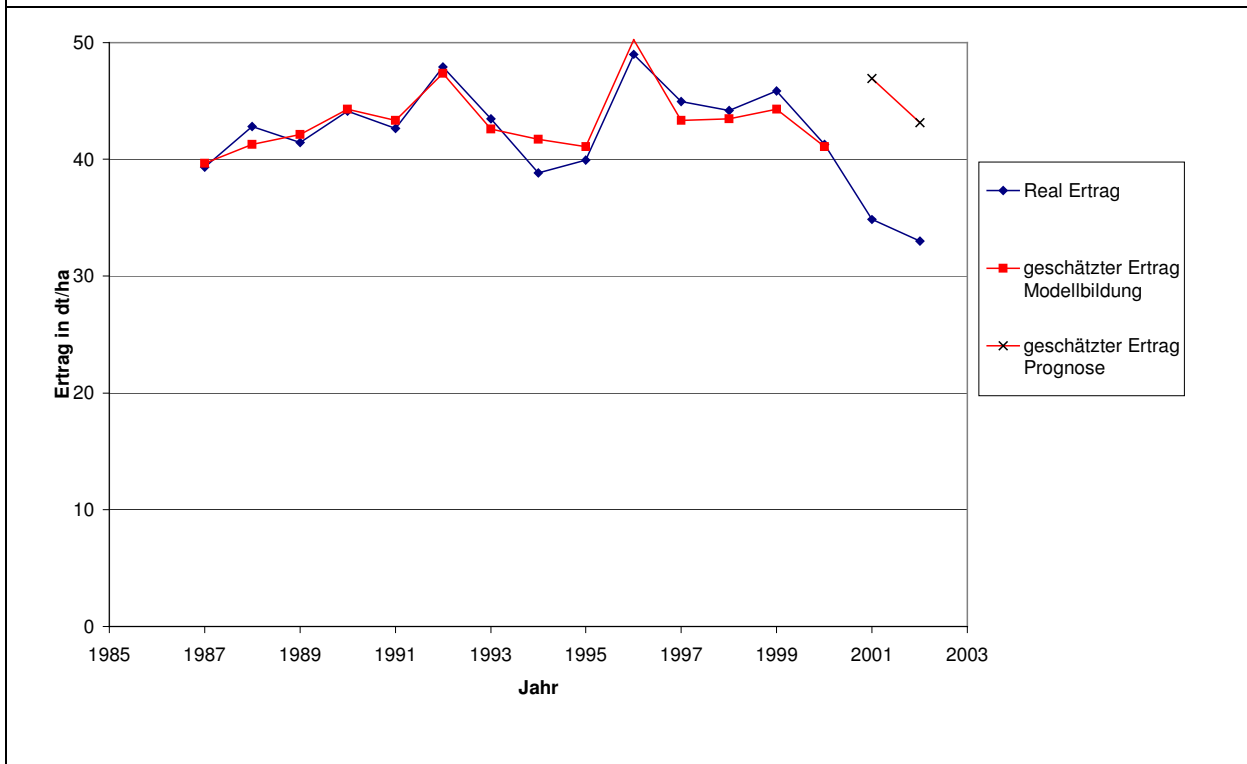
Abbildung 11: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge in den Landkreisen Freudenstadt und Zollern-Alb-Kreis unter Verwendung der Wetterparameter bis zum Ende des Schossens

5.1.4. „ökonomische“ Berechnung

Im folgenden wird der Ansatz beschrieben, der erlaubt, den Sommergerstenertrag ohne aufwändigere Klimadaten zu prognostizieren. Begründet liegt dieser Ansatz darin, dass verschiedene Daten bei der Beschaffung entweder zusätzliche Kosten verursachen oder nur mit deutlichem Zeitverlust bezogen werden können. Die verwendeten Wetterdaten wurden alle vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bezogen, jedoch zeigten sich Unterschiede in der Verfügbarkeit der Daten. Klimadaten, die aus der potentiellen Evapotranspiration oder aus der Globalstrahlung abgeleitet werden, hätten nicht termingenau oder nur mit höheren Kosten beschafft werden können. Auf diese Daten wurde in den nun folgend beschriebenen Berechnungen verzichtet. Es zeigt sich, dass in den Landkreisen „Freudenstadt“, „Germersheim“ und im „Zollern-Alb-Kreis“ die aufwändigeren Klimadaten zu einer präziseren Ertragsprognose benötigt wurden. Beim Verzicht auf diese erhöhte sich in diesen Landkreisen die Abweichung vom geschätzten Ertrag zum Real Ertrag von etwa 10 % auf 25 - 35 % (siehe Abbildungen 12 bis 14). In den anderen Landkreisen gab es keine Unterschiede zu den Ergebnissen der „präzisen“ Berechnung. Die Faktorkombinationen, basierend auf den aufwändiger zu beschaffenden Klimadaten fanden in diesen Landkreisen keinen Eingang in die zur Ertragsprognose benutzten Formel.

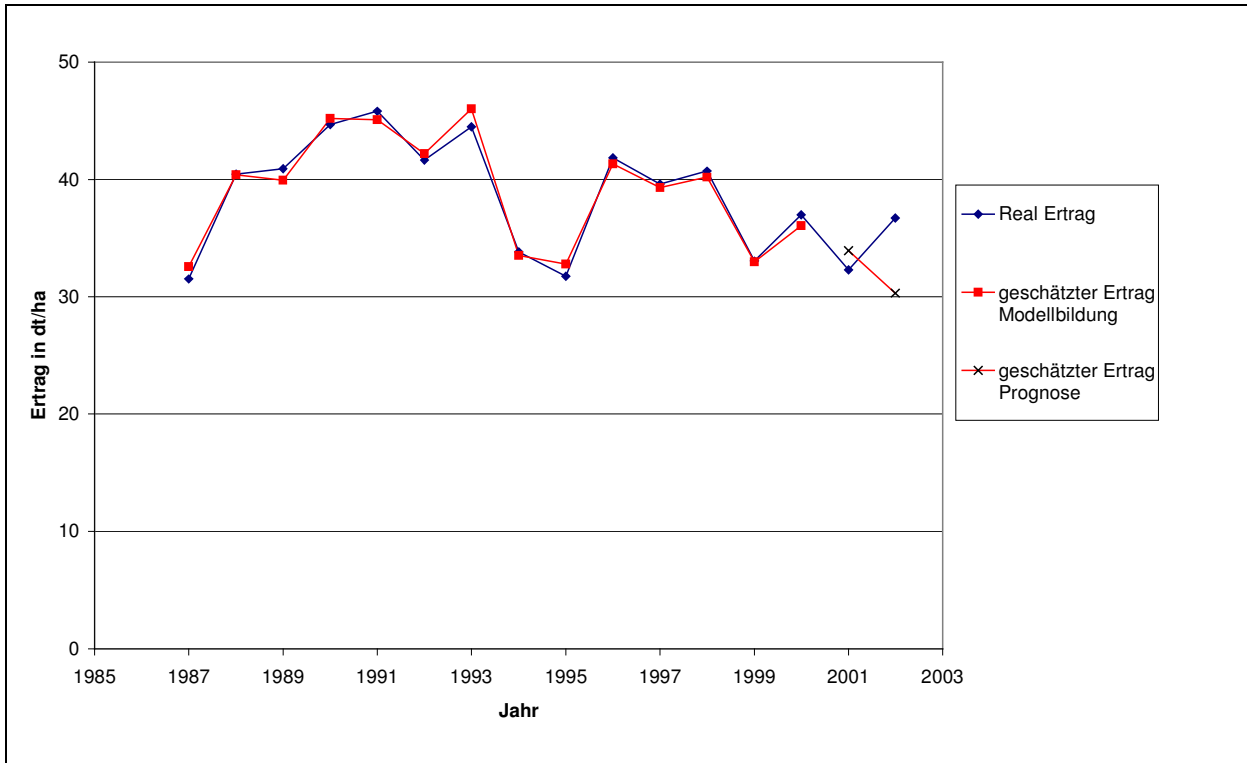


Landkreis Südliche Weinstraße

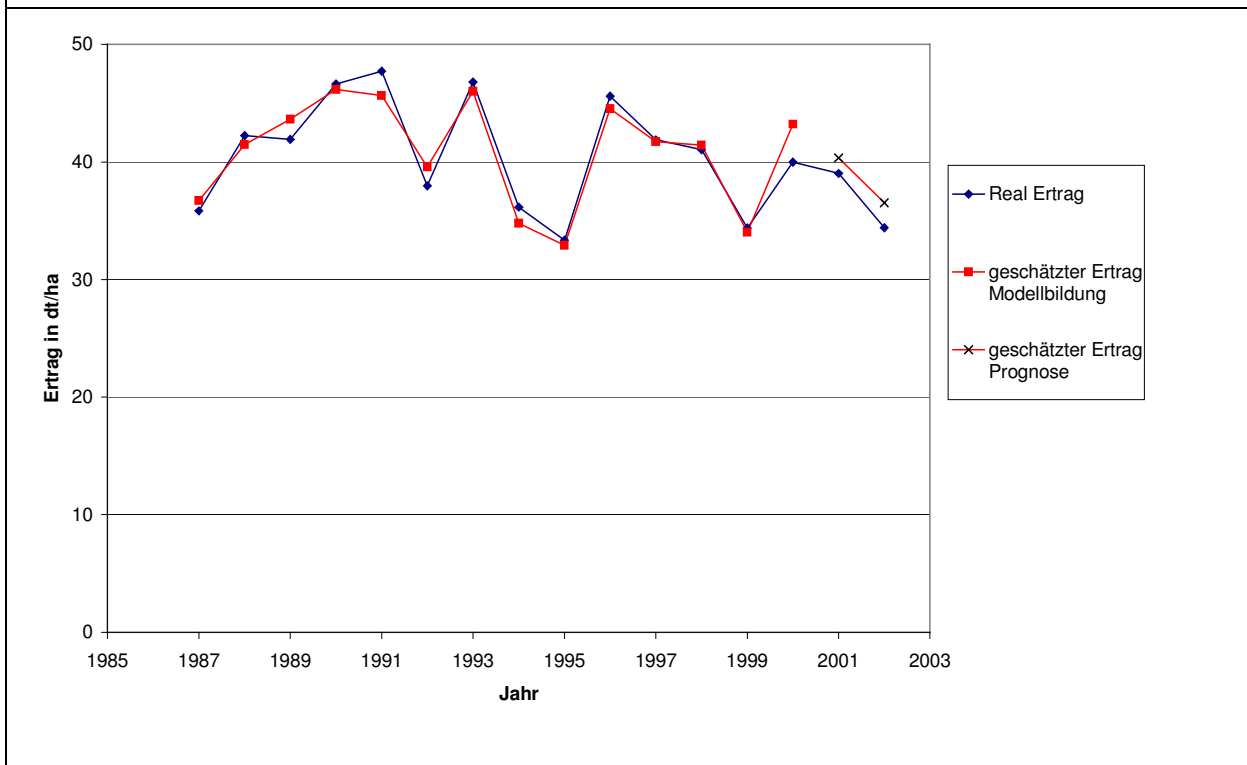


Landkreis Germersheim

Abbildung 12: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Südliche Weinstraße und Germersheim unter Verzicht der aufwändiger zu beschaffenden Klimafaktoren

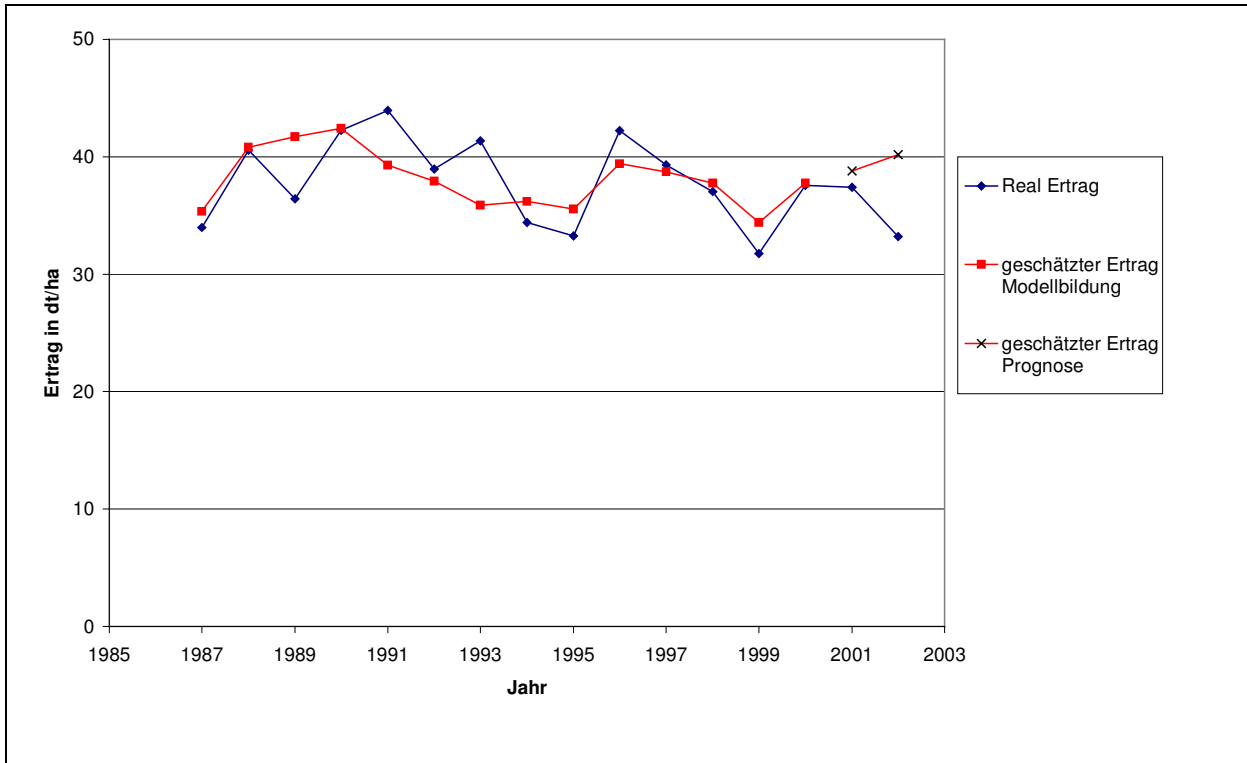


Landkreis Tuttlingen

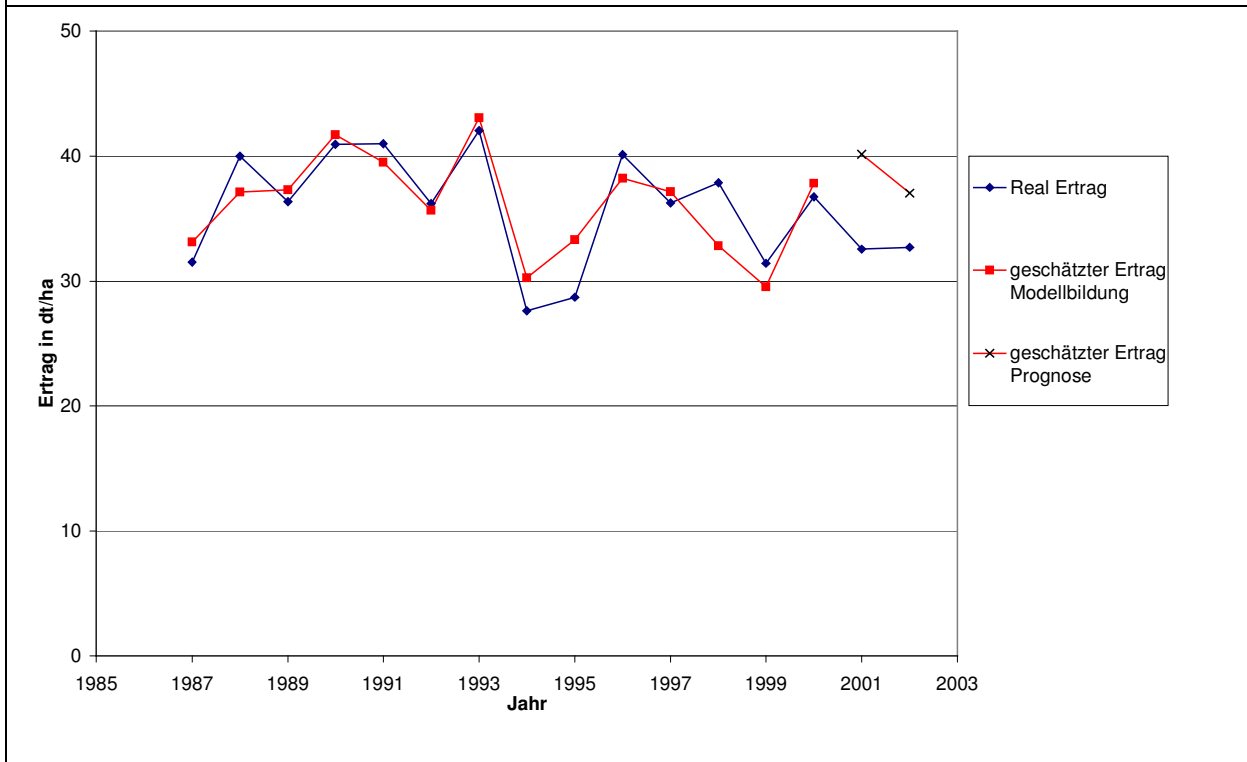


Landkreis Rottweil

Abbildung 13: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Tuttlingen und Rottweil unter Verzicht der aufwändiger zu beschaffenden Klimafaktoren



Landkreis Freudenstadt



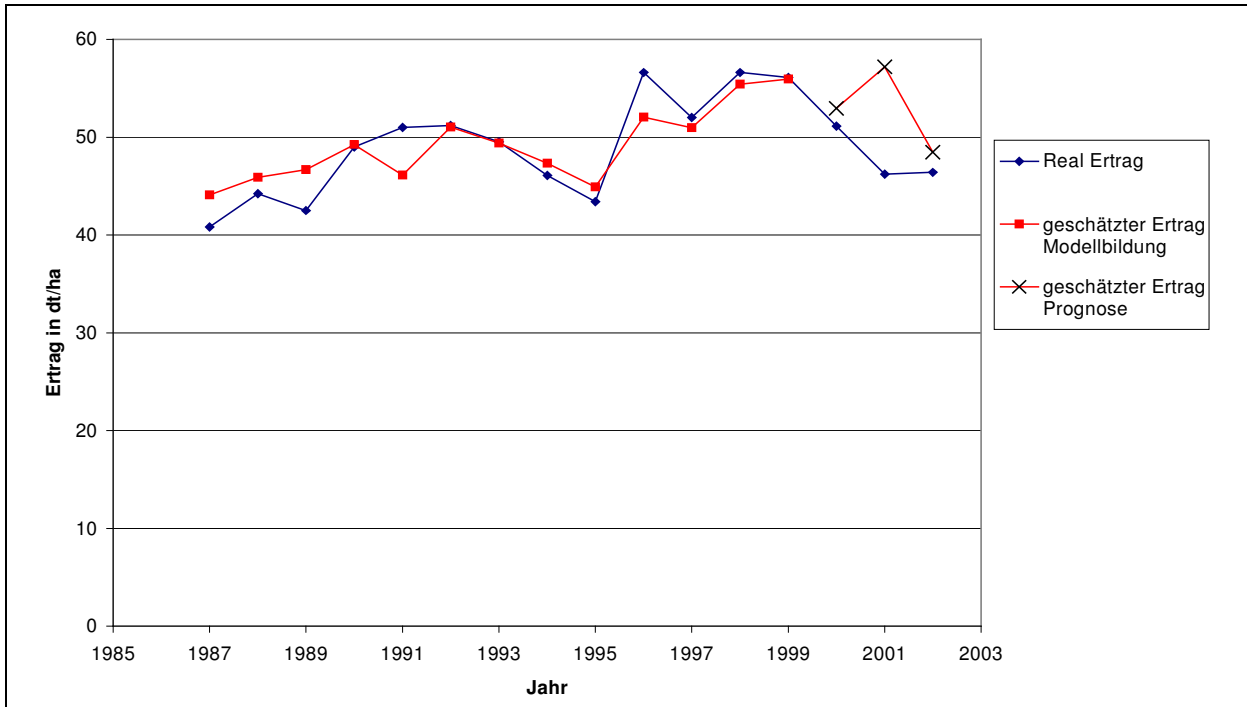
Zollern-Alb-Kreis

Abbildung 14: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Freudenstadt und Zollern-Alb-Kreis unter Verzicht der aufwändiger zu beschaffenden Klimafaktoren

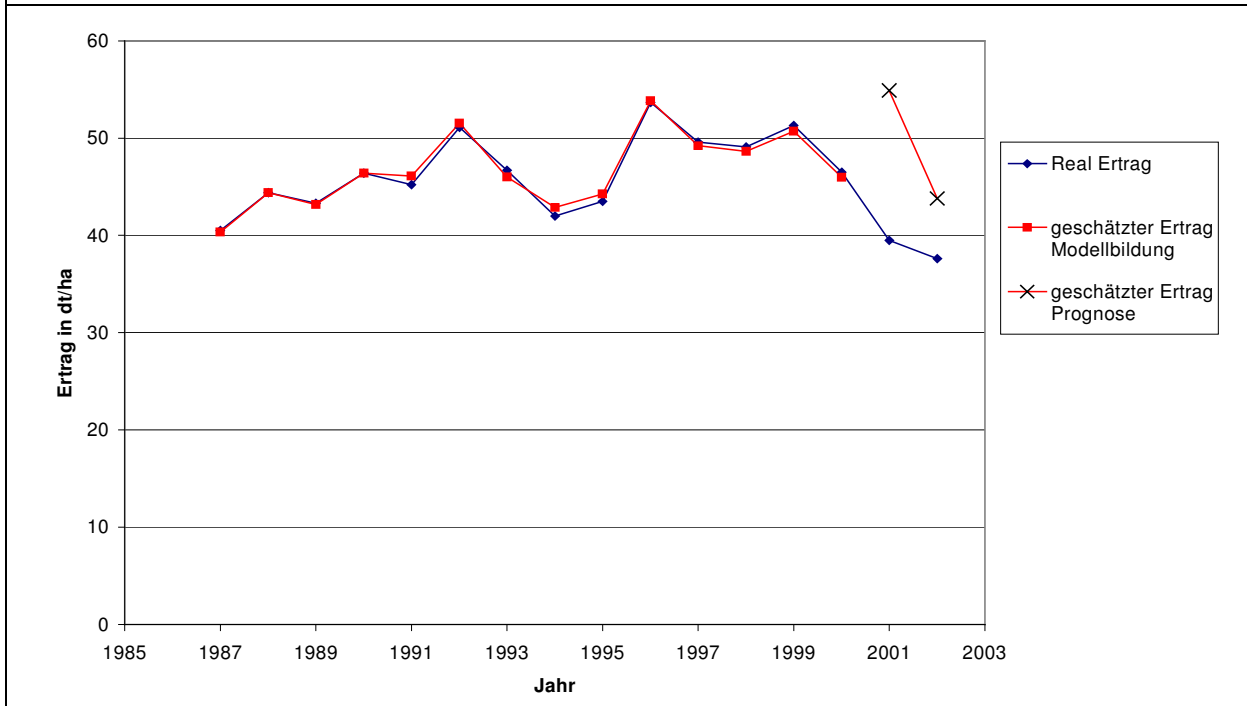
5.2. Berechnung von Ertragsabweichungen

5.2.1. Abweichungen vom linearen Trend

Diese im folgenden beschriebene Vorgehensweise unterscheidet sich von den vorherigen dadurch, dass die Ergebnisse der Ertragsprognose nicht nur aus einer durch die Faktorkombinationen hergeleiteten Formel bestehen, sondern aus zwei Bestandteilen zusammengesetzt sind. Zum einen ist das der im Kapitel 4.2.1 beschriebene Trendertrag, der für die einzelnen Landkreise mit den in der Anhang-Tabelle 4 zu findenden Regressionsgleichungen berechnet wird. Des weiteren werden für den Zeitraum der Modellbildung die Differenzen zwischen realem Ertrag und Trendertrag gebildet. Diesen Differenzen werden wiederum die 72 Faktorkombinationen gegenübergestellt. Durch das Statistikprogramm werden Faktorkombinationen ausgewählt und zu einer Formel zusammengestellt, mit der die Abweichung vom Trendertrag berechnet wird. Der prognostizierte Ertrag setzt sich somit aus dem Trendertrag und der berechneten Abweichung von selbigem zusammen. Da bei diesen Berechnungen keine trendkorrigierten Werte verwendet wurden, bedürfen die resultierenden Ergebnisse somit auch keiner Rückrechnung. Die Ergebnisse dieses Ansatzes zur Prognose des Ernteertrages sind graphisch in den folgenden Abbildungen 15 bis 17 dargestellt.

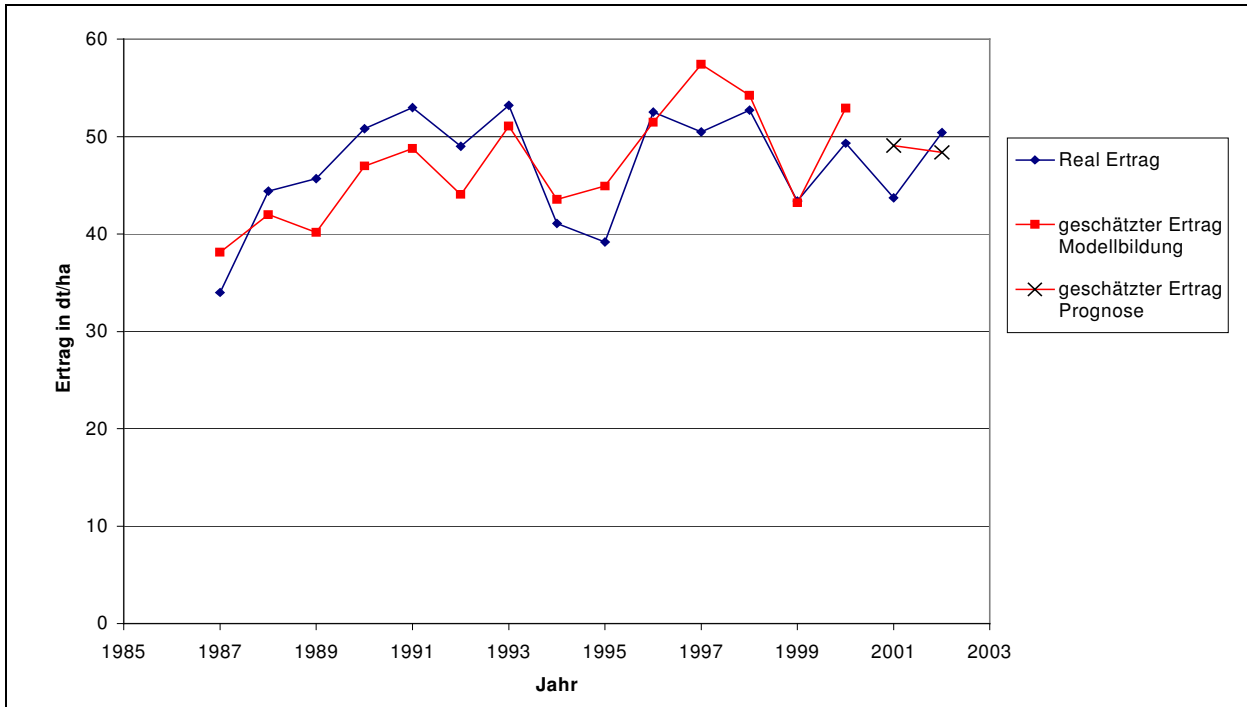


Landkreis Südliche Weinstraße

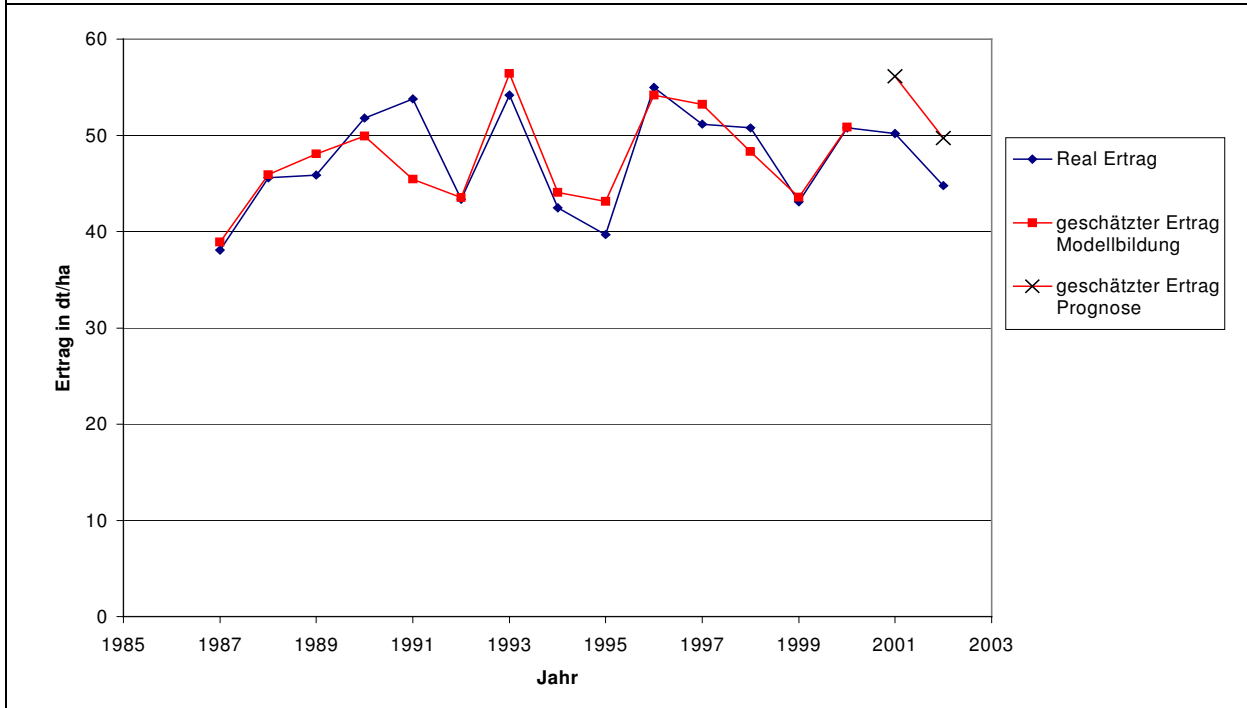


Landkreis Germersheim

Abbildung 15: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Südliche Weinstraße und Germersheim aus der Kombination von linearem Trendertrag und Ertragsabweichung

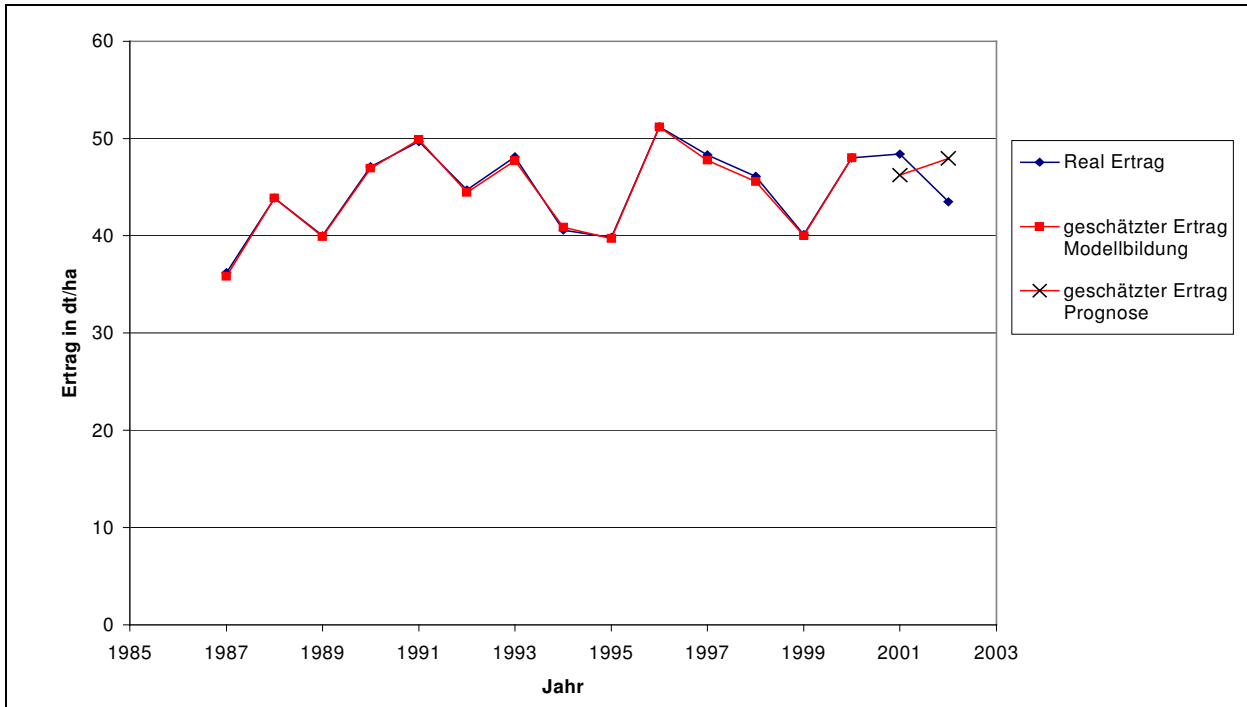


Landkreis Tuttlingen

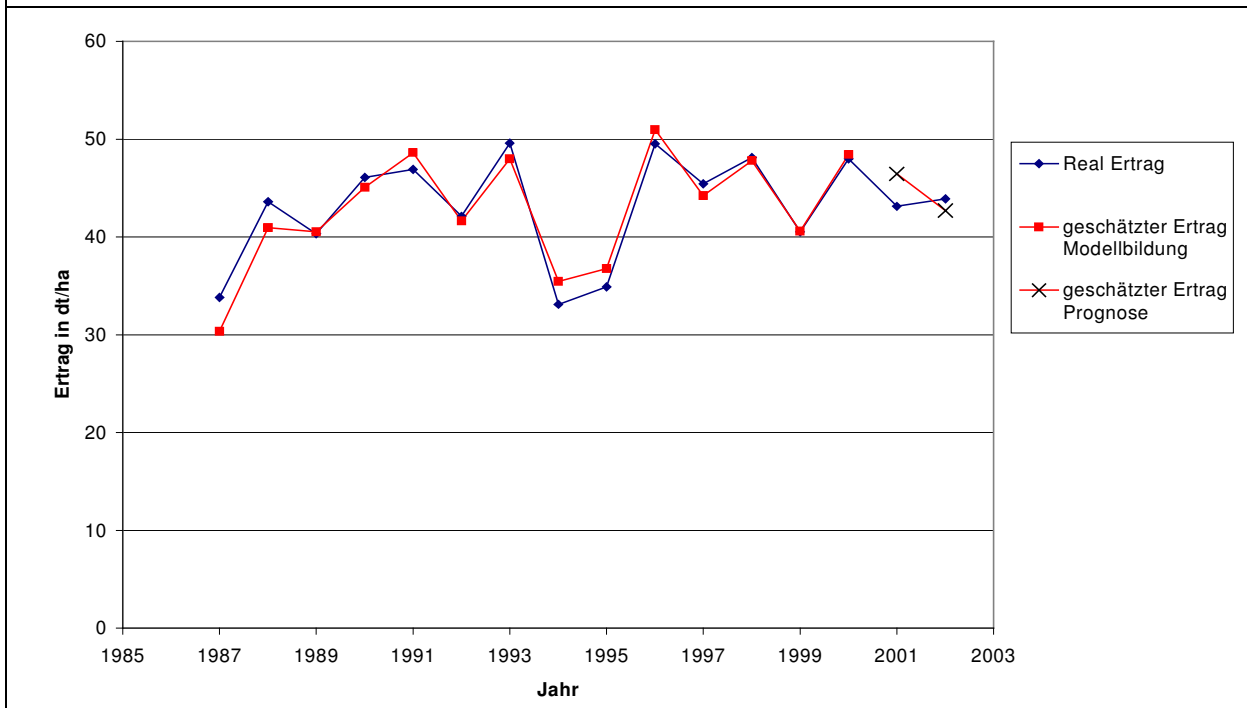


Landkreis Rottweil

Abbildung 16: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Tuttlingen und Rottweil aus der Kombination von linearem Trendertrag und Ertragsabweichung



Landkreis Freudenstadt



Zollern-Alb-Kreis

Abbildung 17: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Freudenstadt und Zollern-Alb-Kreis aus der Kombination von linearem Trendertrag und Ertragsabweichung

5.2.2. Abweichungen vom logarithmischen Trend

Im Gegensatz zu den im Kapitel 5.2.1 „Abweichungen vom linearen Trend“ durchgeführten Berechnungen wurde bei den in diesem Kapitel dargestellten Berechnungen nicht davon ausgegangen, dass der jährliche theoretische Ertragszuwachs linear verläuft, sondern dem Gesetz des abnehmenden Grenzertrages folgend, langsam geringer wird. Daher wurde in den nun folgenden Berechnungen ein logarithmischer Ertragstrend zugrunde gelegt. Die weitere Vorgehensweise unterscheidet sich jedoch nicht von der im Kapitel „Abweichungen vom linearen Trend“ 5.2.1 beschriebenen. Die nachfolgende Abbildung 18 zeigt, dass sich über diese logarithmische Darstellung eine bessere Anpassung der Trenderträge an die real geernteten Erträge erzielen lässt. Die Ergebnisse der Ertragsprognose mit diesem Modellansatz sind in den Abbildungen 19 bis 21 dargestellt.

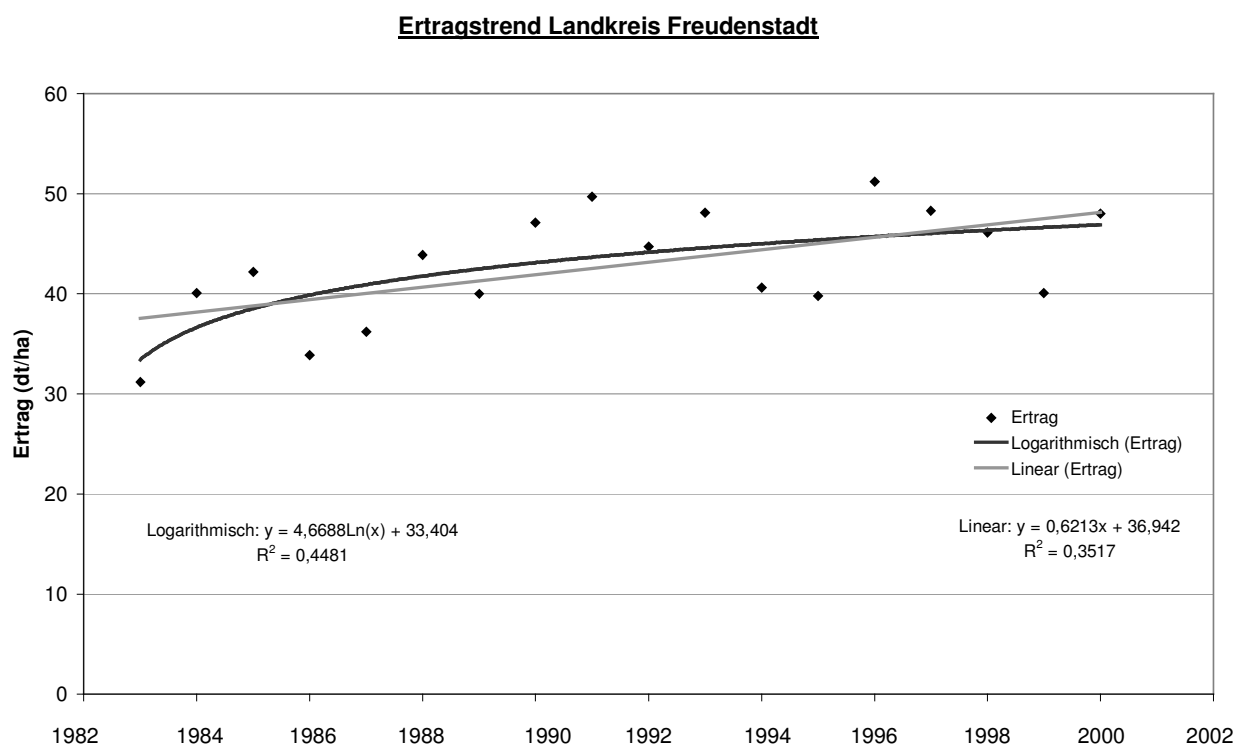
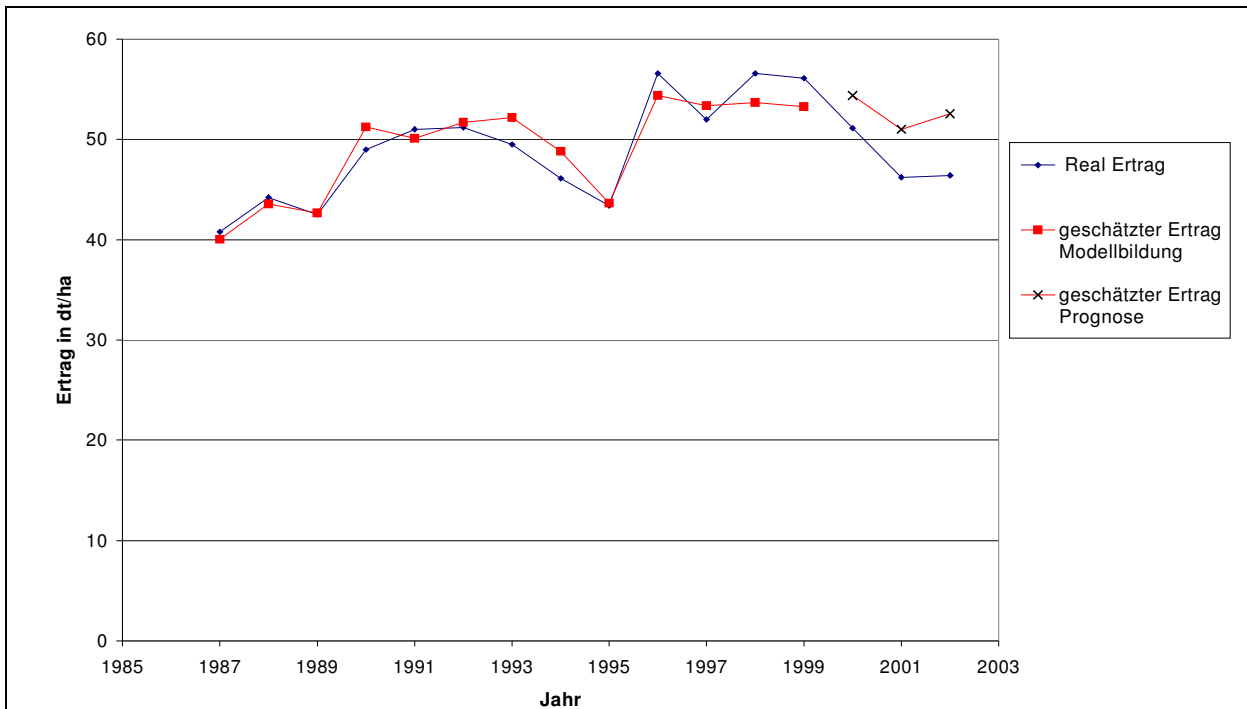
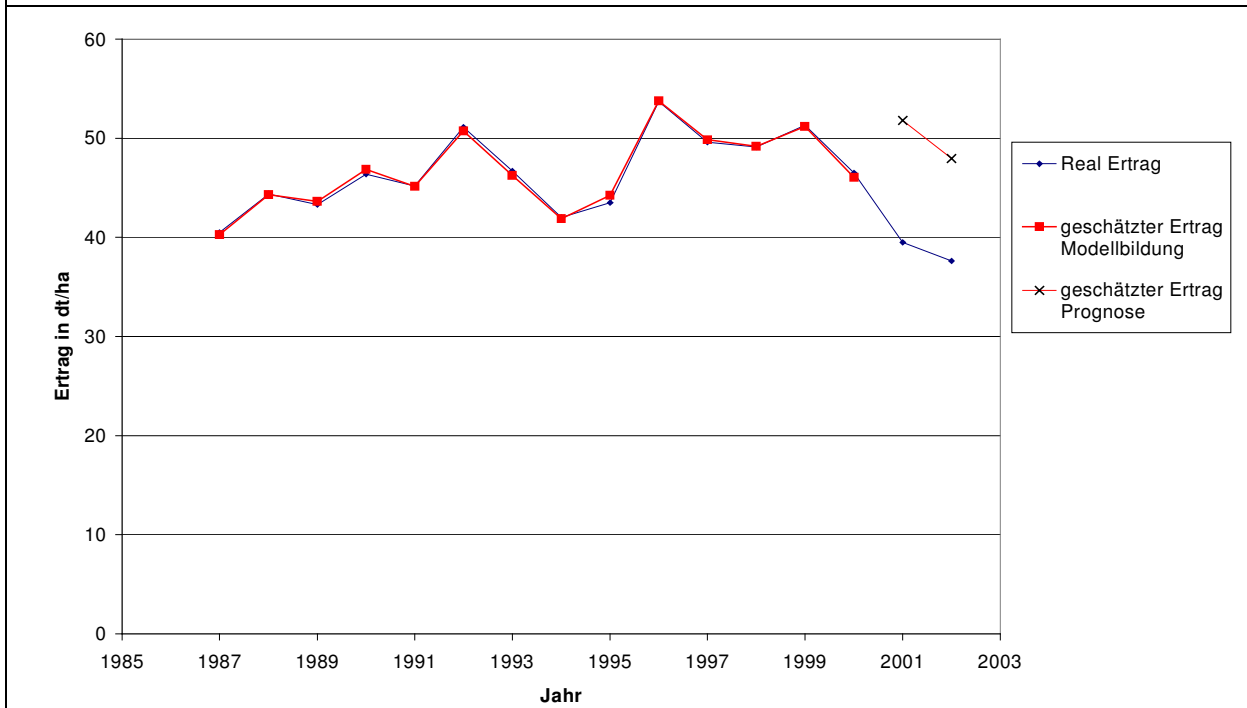


Abbildung 18: Vergleich der Trenderträge linear und logarithmisch dargestellt

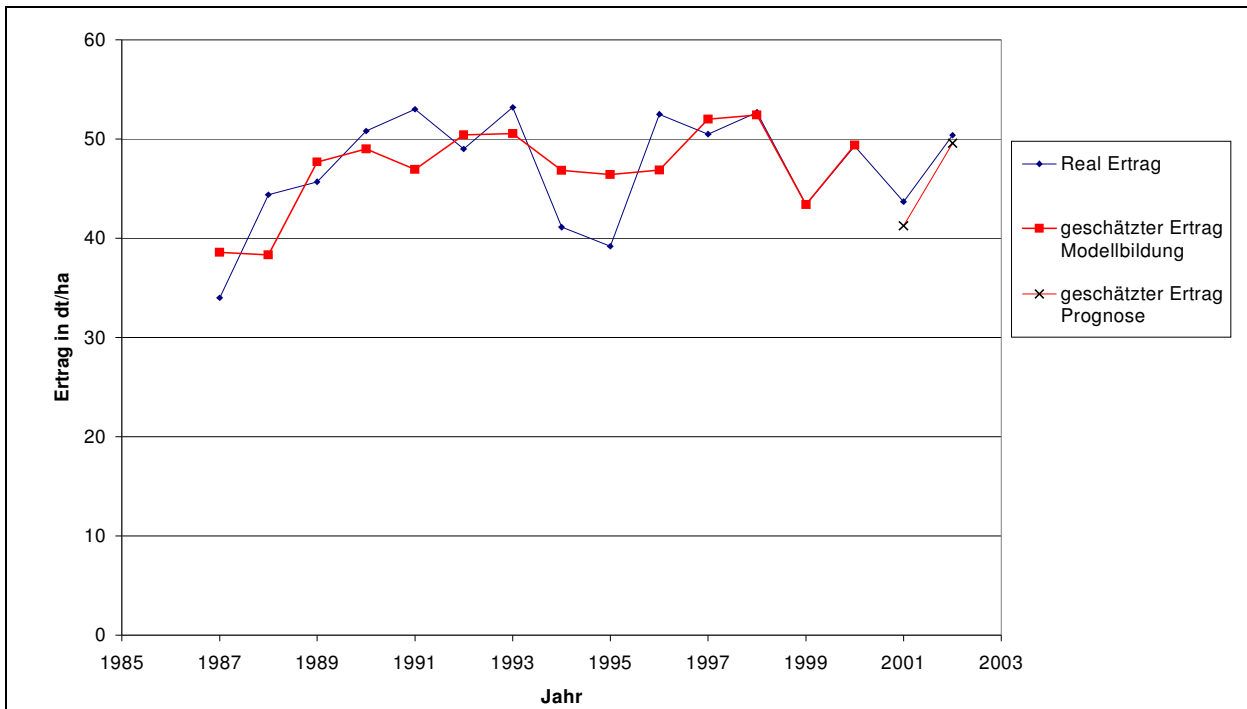


Landkreis Südliche Weinstraße

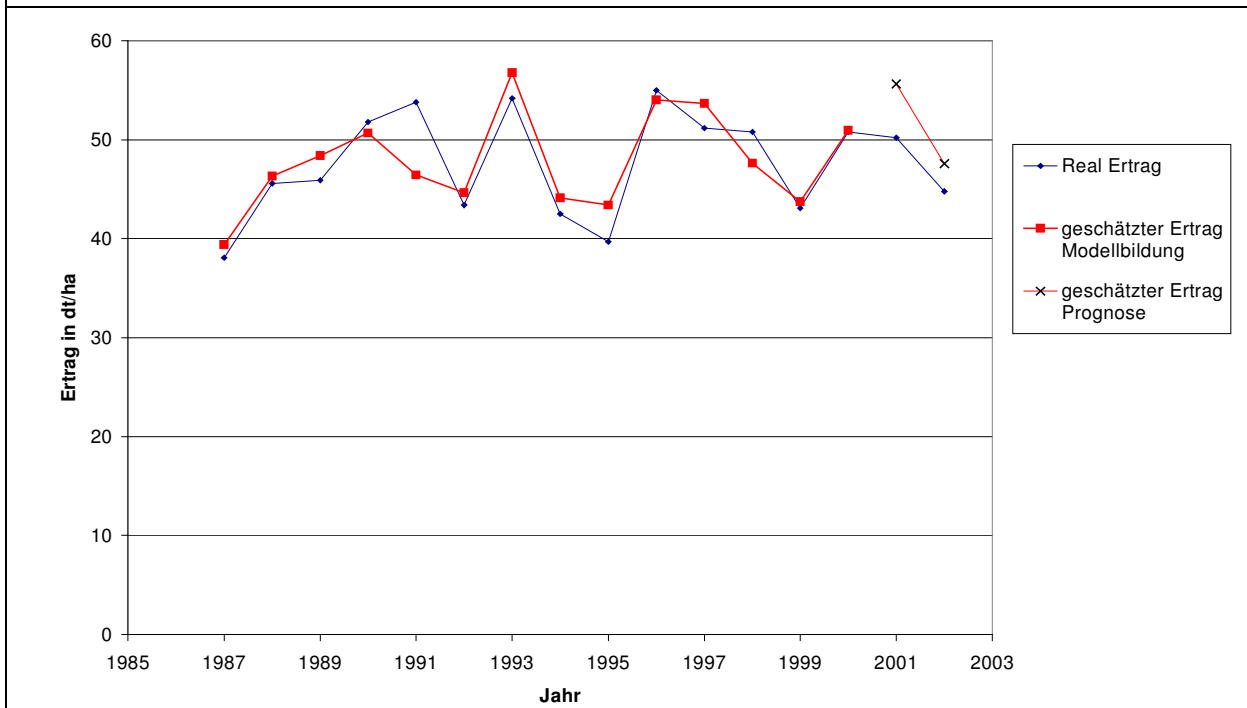


Landkreis Germersheim

Abbildung 19: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Südliche Weinstraße und Germersheim aus der Kombination von logarithmischem Trendertrag und Ertragsabweichung

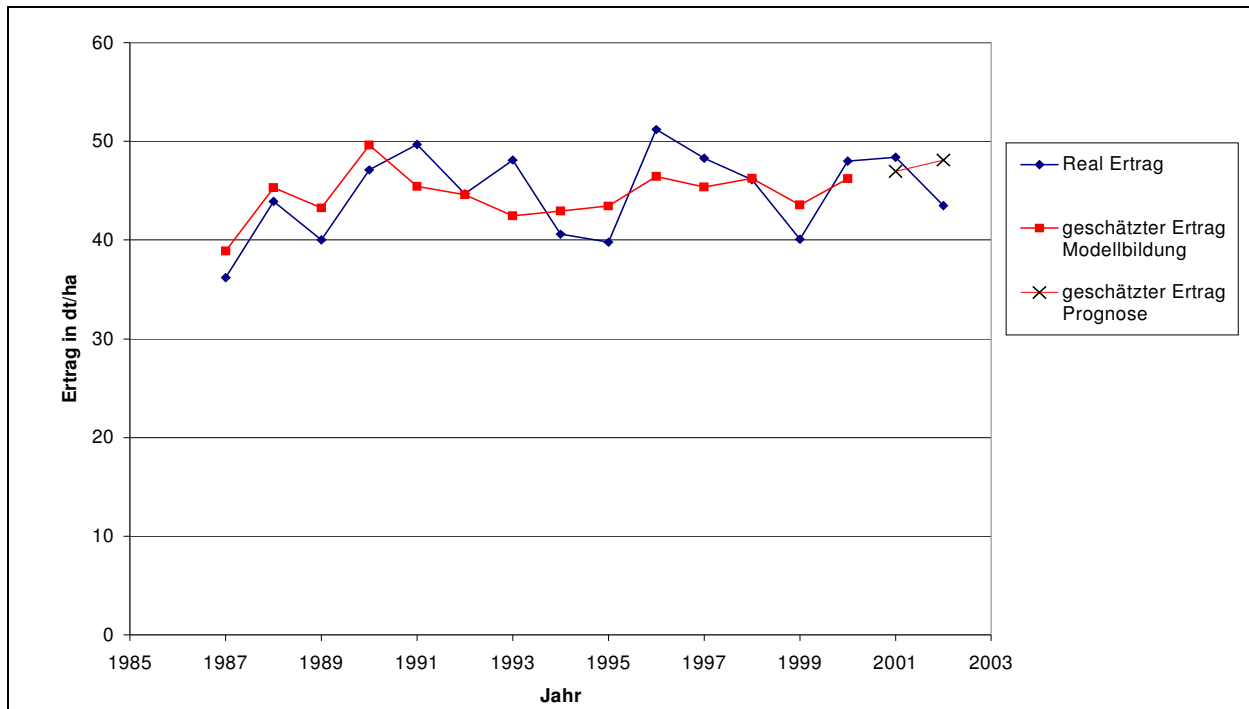


Landkreis Tuttlingen

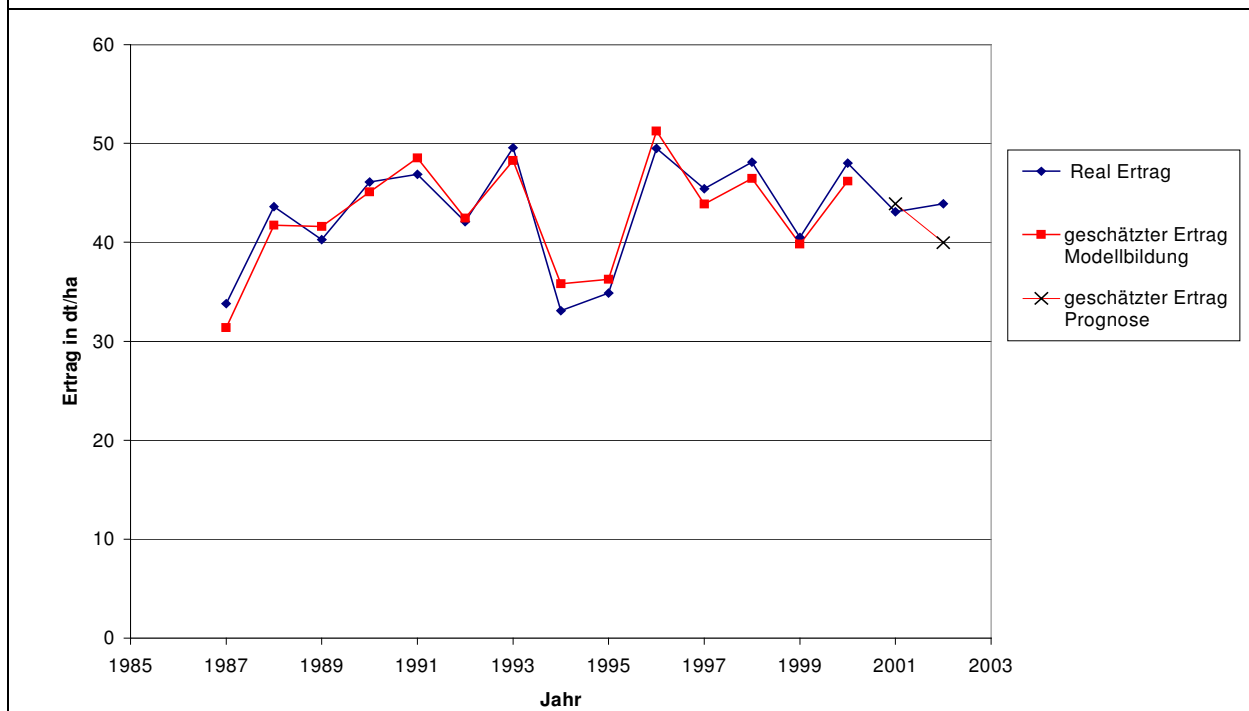


Landkreis Rottweil

Abbildung 20: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Tuttlingen und Rottweil aus der Kombination von logarithmischem Trendertrag und Ertragsabweichung



Landkreis Freudenstadt

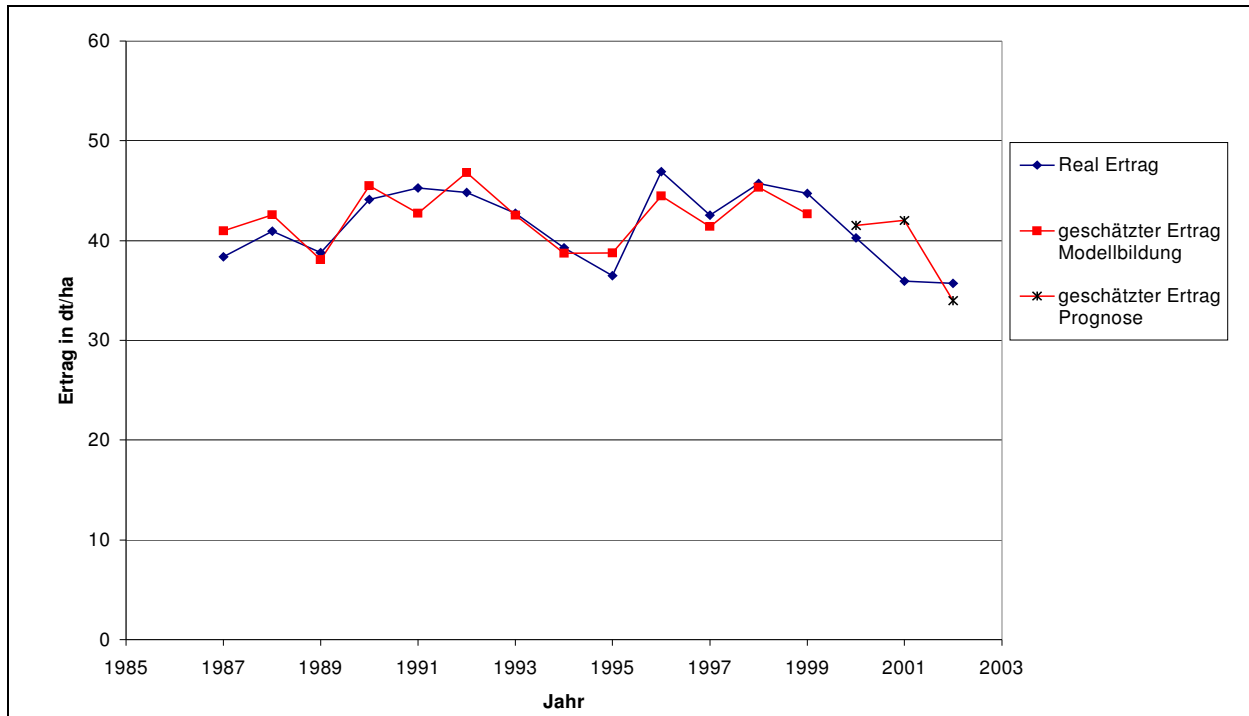


Zollern-Alb-Kreis

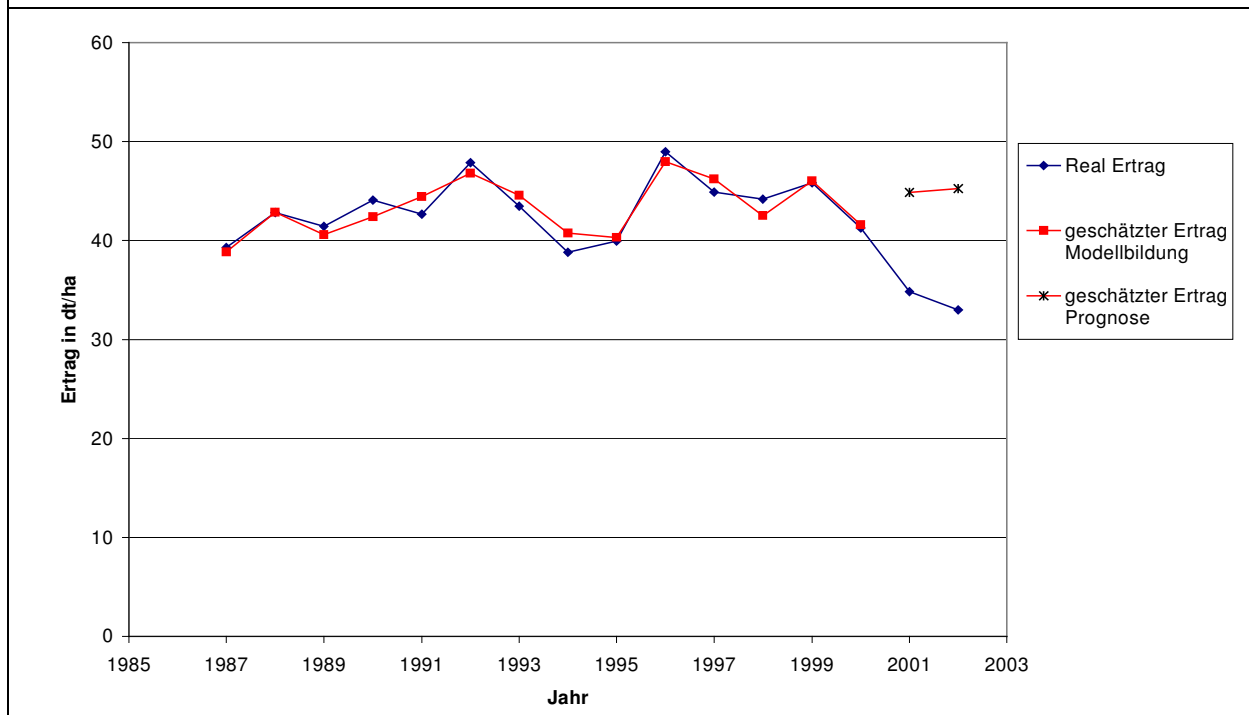
Abbildung 21: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Freudenstadt und Zollern-Alb-Kreis aus der Kombination von logarithmischem Trendertrag und Ertragsabweichung

5.3. Berechnung mit den am höchsten mit dem Ertrag korrelierten Einzelfaktoren

Während bei den zuvor beschriebenen Vorgehensweisen zur Abschätzung des Ernteertrages immer eine Selektion der einzelnen Parametern aus der Gesamtheit der 72 Faktorkombinationen durch das Statistikprogramm durchgeführt wurde, unterscheidet sich das Vorgehen bei den nun folgend beschriebenen Berechnungen doch erheblich. Hier erfolgte die Auswahl der Faktorkombinationen, die als Ausgangsgrößen in das Statistikprogramm eingegeben wurden durch eine gesonderte statistische Betrachtung. Für den Zeitraum der Modellbildung (außer der im Kapitel 5.1.1 angegebenen Ausnahme für den Landkreis „Südliche Weinstraße“ mit 11 Variablen), 1987 – 2000, wurden für alle betrachteten Landkreise jeweils alle 72 Faktorkombinationen einzeln auf ihren statistischen Zusammenhang zum Ertrag hin überprüft. Diejenigen zwölf Faktorkombinationen, welche zum Ertrag das höchste Bestimmtheitsmaß (R^2) aufwiesen, wurden als Ausgangsgrößen zur Ermittlung der ertragsbeschreibenden Gleichung in das Statistikprogramm eingegeben. Eine Übersicht über die Faktorkombinationen der einzelnen Landkreise, die am höchsten mit dem Ertrag korrelieren sind in der Anhang-Tabelle 13 aufgeführt. Die Abbildungen 22 bis 24 stellen graphisch die Ergebnisse dieses Ansatzes der Ertragsprognose dar.

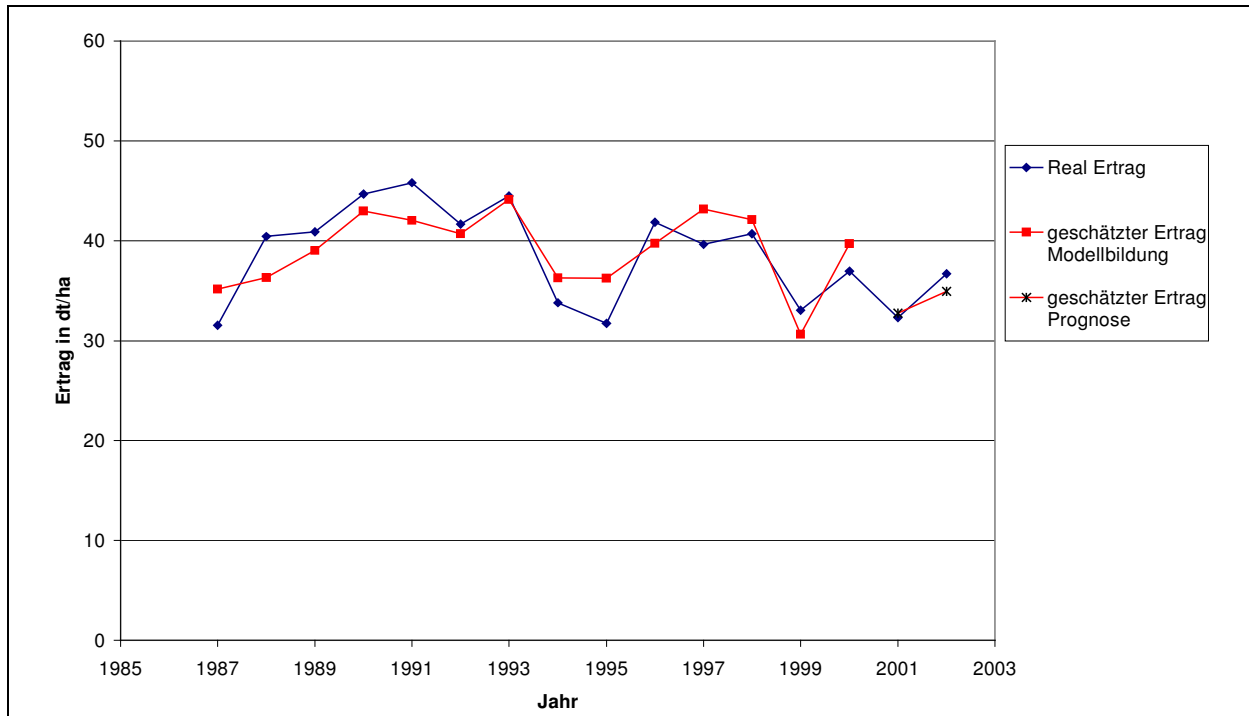


Landkreis Südliche Weinstraße

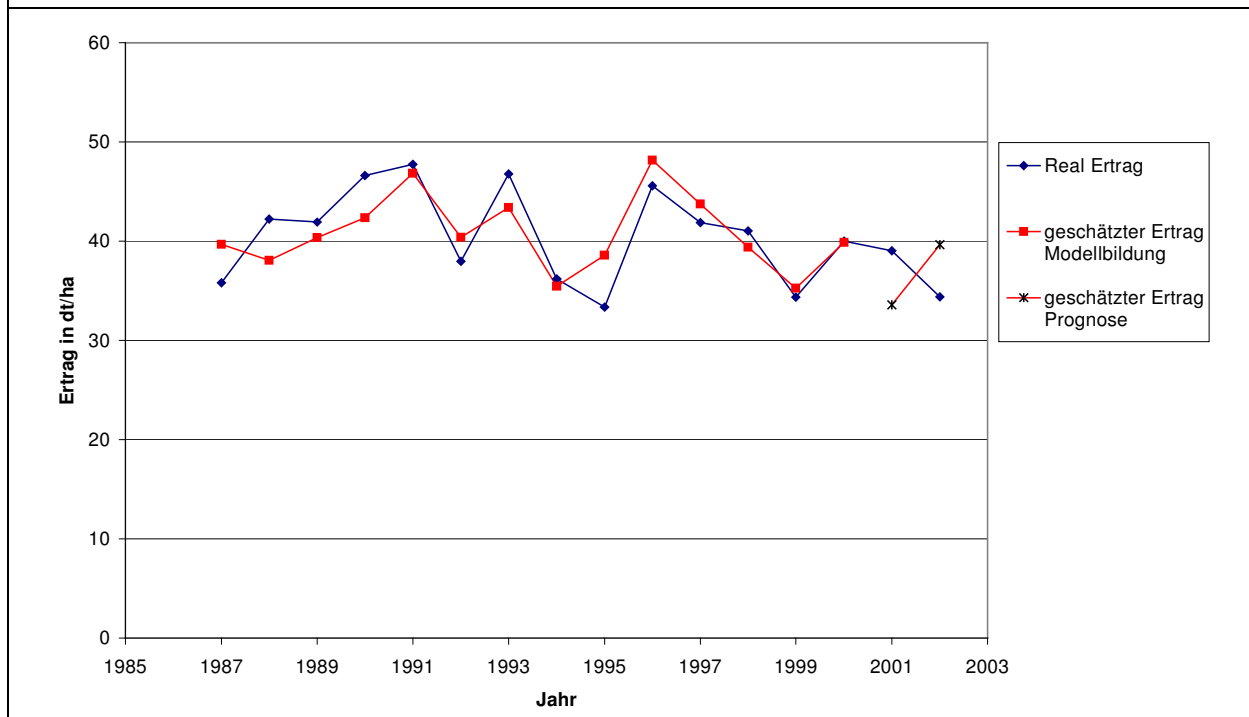


Landkreis Germersheim

Abbildung 22: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Südliche Weinstraße und Germersheim basierend auf Faktorkombination die am höchsten mit dem Ertrag korrelieren

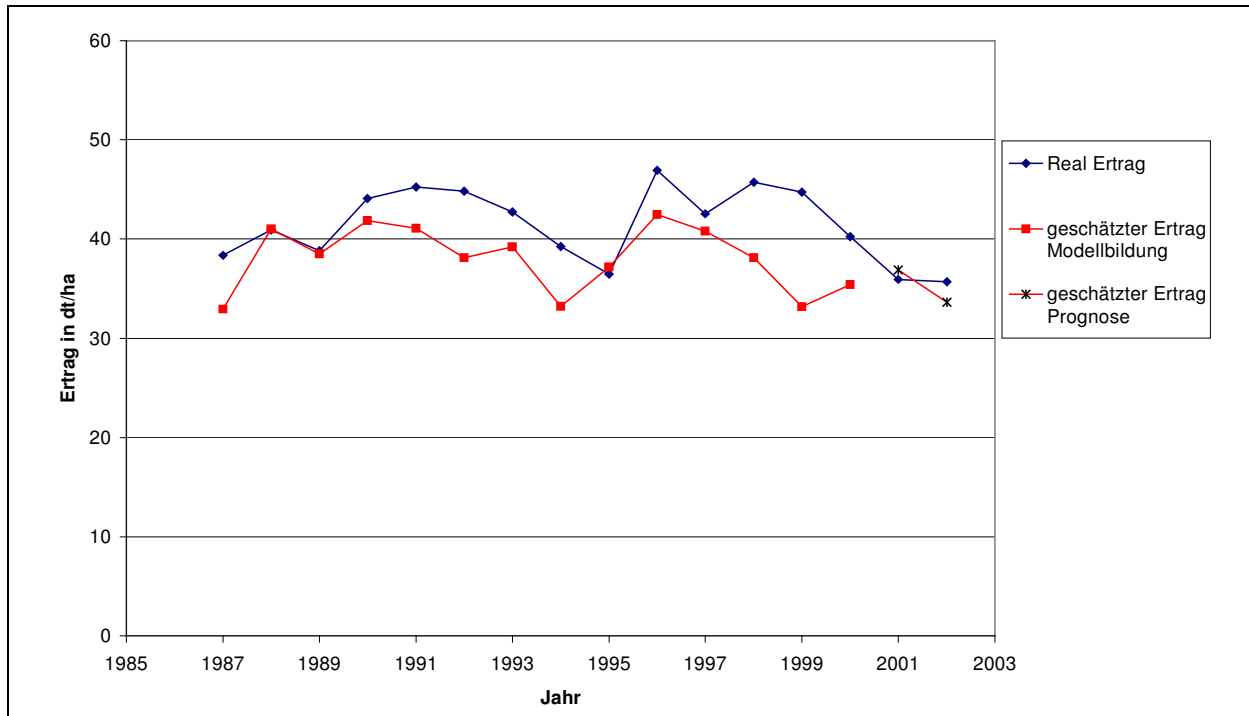


Landkreis Tuttlingen

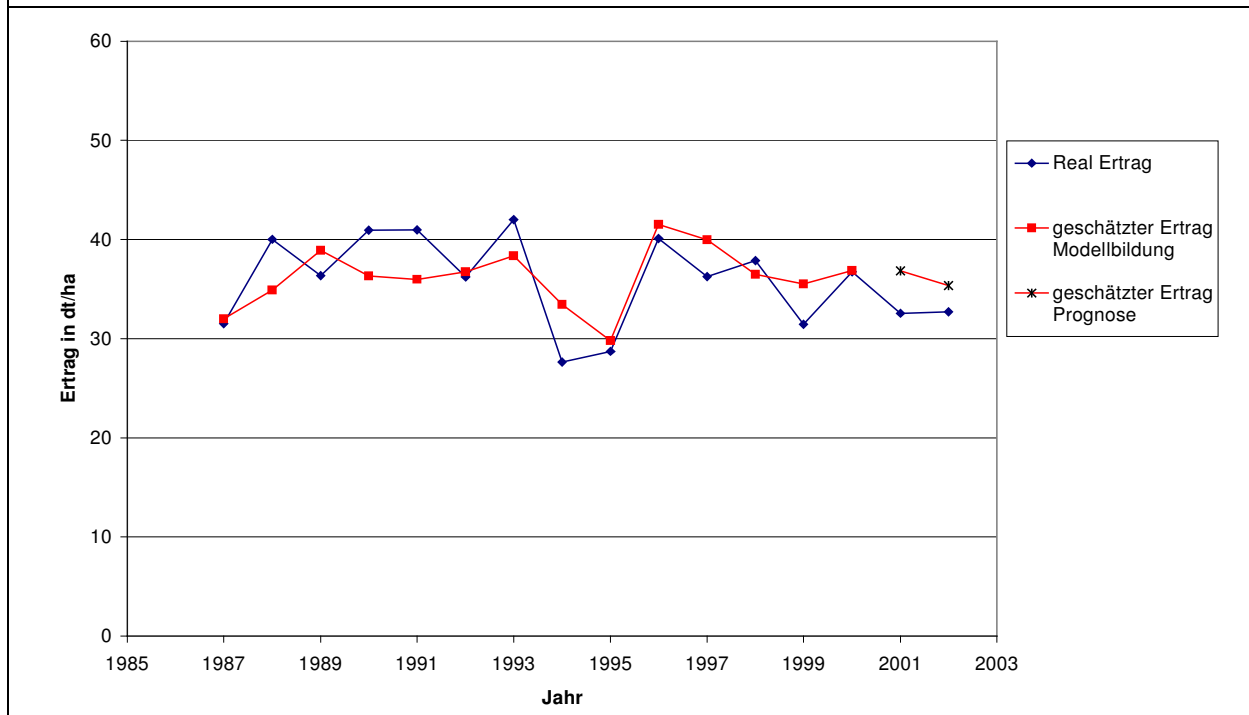


Landkreis Rottweil

Abbildung 23: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Tuttlingen und Rottweil basierend auf Faktorkombination die am höchsten mit dem Ertrag korrelieren



Landkreis Freudenstadt



Zollern-Alb-Kreis

Abbildung 24: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Freudenstadt und Zollern-Alb-Kreis basierend auf Faktorkombination die am höchsten mit dem Ertrag korrelieren

5.4. Häufigkeit der zur Ertragsprognose herangezogenen Faktorkombinationen

In diesem Kapitel wird betrachtet, wie häufig einzelne Faktorkombinationen in den Ertrag beschreibenden Formeln Verwendung finden. Untersucht wurden dabei sowohl die Faktorkombinationen der „präzisen“, „ökonomischen“ und „frühzeitigen Berechnungen“ als auch diejenigen der Abweichung vom linearen als auch von logarithmischen Trendertrag. In diesen Modellen werden in Summe 170 Faktorkombinationen verwendet (siehe Tabelle 9). Die folgenden vier Kombinationen waren dabei die Häufigsten und traten insgesamt sieben Mal auf: die Anzahl der Julianischen Tage (Jahresbeginn – Aussaat); die Summe der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit (Schossen – Ährenschieben); die Summe des Niederschlages (Jahresbeginn – Aussaat) und die Summe des Niederschlages (Zeitraum Schossen bis Ährenschieben). Die bevorzugt verwendeten Faktorkombinationen verteilen sich, wie in Tabelle 7 dargestellt, auf die einzelnen phänologischen Abschnitte. Zur Ermittlung der prozentualen Anteile wurden die Anzahl der Kombinationen aus den einzelnen Abschnitten der Pflanzenentwicklung durch die Gesamtzahl der Kombinationen geteilt.

Tabelle 7: Prozentuale Verteilung der in den Prognosemodellen verwendeten Faktoren auf die einzelnen zeitlichen Abschnitte

Phase	%-Anteil
Jahresbeginn – Aussaat:	31,8
Aussaat – Auflaufen:	8,2
Auflaufen – Schossen:	2,9
Schossen – Ährenschieben:	33,5
Ährenschieben – Gelbreife:	16,5
Gelbreife – Ernte:	7,1

Beschränkt man sich nicht auf die alleinige Auswahl der Faktorkombinationen durch das Statistikprogramm und betrachtet diejenigen Faktoren, die am höchsten mit dem Ertrag korrelieren, so zeigt sich eine gleichmäßige prozentuale Verteilung der Kombinationen über die einzelnen Entwicklungsabschnitte der Gerste in der Größenordnung von etwa 20 % (Tabelle 8). Ausnahme ist die Zeitspanne zwischen Gelbreife und Ernte. Aus diesem Abschnitt stammen sowohl bei der Selektion der Faktorkombinationen durch das Statistikprogramm als auch bei den Korrelationen mit dem Ertrag nur etwa (7 - 8 %) der verwendeten Faktorkombinationen. Untersuchungen von

SCHNYDER und BAUM (1992) belegen, dass dieser Zeitraum in der Pflanzenentwicklung nur noch marginalen Einfluss auf die Ertragsbildung hat.

Tabelle 8: Prozentuale Verteilung der am höchsten mit dem Ertrag korrelierenden Faktoren auf die einzelnen zeitlichen Abschnitte

Phase	%-Anteil
Jahresbeginn – Aussaat:	16,9
Aussaat – Auflaufen:	15,5
Auflaufen – Schossen:	16,9
Schossen – Ährenschieben:	21,1
Ährenschieben – Gelbreife:	21,1
Gelbreife – Ernte:	8,5

Tabelle 9 zeigt alle Faktorkombinationen, die in den Modellen „präzisen“, „ökonomischen“, „frühzeitigen Berechnungen“, Abweichungen vom linearen als auch von logarithmischen Trendertrag verwendet wurden. Eine Übersicht der Faktorkombinationen die am höchsten mit dem Ertrag korrelieren gibt Anhang-Tabelle 13.

Tabelle 9: Häufigkeit des Auftretens der in die Berechnungen zur Ertragsprognose eingehenden Faktorkombinationen

Häufigkeit	Wetterparameter	Zeitraum
7	Summe von Niederschlag	Jahresbeginn - Aussaat
7	Anzahl von Julianischen Tagen	Jahresbeginn - Aussaat
7	Summe von Niederschlag	Schossen - Ährenschieben
7	Summe von mittl. rel. Luftf.	Schossen - Ährenschieben
6	Summe von mittlerer Temp.	Jahresbeginn - Aussaat
6	Summe von maximaler Temp.	Jahresbeginn - Aussaat
6	Mittelwert von Niederschlag	Jahresbeginn - Aussaat
6	Mittelwert von mittlerer Temp.	Jahresbeginn - Aussaat
6	Mittelwert von maximaler Temp.	Jahresbeginn - Aussaat
6	Summe von ETP	Schossen - Ährenschieben
6	Summe von Strahlung in Joule / cm ²	Schossen - Ährenschieben
6	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ²	Schossen - Ährenschieben
6	Mittelwert von mittlerer Temp.	Schossen - Ährenschieben
6	Mittelwert von mittl. rel. Luftf.	Schossen - Ährenschieben
5	Summe von mittl. rel. Luftf.	Jahresbeginn - Aussaat
5	Summe von mittlerer Temp.	Ährenschieben - Gelbreife
5	Mittelwert von mittlerer Temp.	Ährenschieben - Gelbreife
4	Summe von mittlerer Temp.	Schossen - Ährenschieben
4	Summe von maximaler Temp.	Schossen - Ährenschieben
4	Summe von Strahlung in Joule / cm ²	Ährenschieben - Gelbreife
4	Summe von maximaler Temp.	Ährenschieben - Gelbreife
3	Summe von Niederschlag	Auflaufen - Schossen
3	Mittelwert von Niederschlag	Schossen - Ährenschieben
3	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ²	Ährenschieben - Gelbreife
3	Summe von maximaler Temp.	Gelbreife - Ernte
3	Mittelwert von maximaler Temp.	Gelbreife - Ernte
2	Summe von Strahlung in Joule / cm ²	Jahresbeginn - Aussaat
2	Summe von ETP	Jahresbeginn - Aussaat
2	Summe von mittl. rel. Luftf.	Aussaat - Auflaufen
2	Summe von maximaler Temp.	Aussaat - Auflaufen
2	Summe von ETP	Aussaat - Auflaufen
2	Mittelwert von mittlerer Temp.	Aussaat - Auflaufen
2	Mittelwert von maximaler Temp.	Aussaat - Auflaufen
2	Summe von Niederschlag	Auflaufen - Schossen
2	Mittelwert von maximaler Temp.	Schossen - Ährenschieben
2	Summe von mittl. rel. Luftf.	Ährenschieben - Gelbreife
2	Mittelwert von maximaler Temp.	Ährenschieben - Gelbreife
2	Anzahl von Julianischen Tagen	Ährenschieben - Gelbreife
2	Summe von mittl. rel. Luftf.	Gelbreife - Ernte
2	Mittelwert von Niederschlag	Gelbreife - Ernte
1	Mittelwert von mittl. rel. Luftf.	Jahresbeginn - Aussaat
1	Summe von mittlerer Temp.	Aussaat - Auflaufen
1	Mittelwert von Niederschlag	Aussaat - Auflaufen
1	Mittelwert von mittl. rel. Luftf.	Aussaat - Auflaufen
1	Anzahl von Julianischen Tagen	Aussaat - Auflaufen
1	Anzahl von Julianischen Tagen	Auflaufen - Schossen
1	Summe von Niederschlag	Ährenschieben - Gelbreife
1	Summe von Niederschlag	Gelbreife - Ernte
1	Mittelwert von mittlerer Temp.	Gelbreife - Ernte
170		

6. Einfluss verschiedener Felddaten auf Ertrag und Eiweißgehalt des Erntegutes der Musterflächen

Parallel zur Erstellung der auf agrarstatistischen und meteorologischen Daten beruhenden Modellen zur Ertragsabschätzung für die im Projekt betrachteten Landkreise in den beiden Untersuchungsregionen in den Bundesländern Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg wurden auch in diesen Regionen Praxisschläge beprobt. Dabei wurden die von mehreren Punkten auf Schlagebene beernteten Pflanzen zu den Terminen „vor der Blüte“, „Blüte“, „nach der Blüte“ und zur „Gelbreife“ in Fraktionen unterteilt. Die Ergebnisse dieser Felderhebungen werden im folgenden dargestellt.

6.1. Einfluss des N-Gehalts der oberen Blätter zur Blüte auf Ertrag und Eiweißgehalt des Erntegutes der Musterflächen

Tabelle 10 gibt einen Überblick über Einfluß des Stickstoffgehaltes der oberen Blätter zum Zeitpunkt der Blüte auf den Ertrag und den Eiweißgehalt des Erntegutes. Hierbei wurden die Ergebnisse der Einzelschläge jeweils für die beiden Jahre der Beprobung auf Region-Ebene zusammengefasst.

Tabelle 10: Einfluss des N-Gehaltes der oberen Blätter zur Blüte auf Ertrag und Eiweißgehalt der Getreidekörner der Musterflächen

Jahr	RLP		BW	
	Ertrag R ²	Eiweiß R ²	Ertrag R ²	Eiweiß R ²
2001	0,47	0,39	0,74	0,90
2002	0,03	0,68	0,04	0,02

Wie aus Tabelle 10 ersichtlich, zeigten sich für das Jahr 2001 für die Region Baden-Württemberg (BW) Ergebnisse, die auf einen engen Zusammenhang zwischen dem Stickstoffgehalt der oberen Blätter zum Zeitpunkt der Blüte zum Ertrag und zum Rohproteingehalt hindeuten. Für die Region Rheinland-Pfalz waren die ermittelten Zusammenhänge weniger deutlich. Die Ergebnisse aus dem Jahr 2001 haben sich mit Ausnahme des Zusammenhanges zum Rohproteingehalt in der Region RLP im Jahr 2002 nahezu in das Gegenteil gekehrt, und ein Zusammenhang war nicht mehr zu erkennen.

6.2. Korrelation zwischen dem N-Gehalt der Ähre incl. Körner zur Gelbreife und dem Eiweißgehalt des Erntegutes

Für die beiden Untersuchungsjahre 2001 und 2002 wurde der Stickstoffgehalt der Ähre zur Gelbreife mit dem Eiweißgehalt des Erntegutes verglichen. Ein Zusammenhang des Proteingehaltes zu den beiden Terminen konnte für alle Regionen, bis auf die Region BW für das Jahr 2001, festgestellt werden. Das Ergebnis für die Region BW im Jahr 2001 war in dieser Form nicht zu erwarten. Bei Getreide sind zum Zeitpunkt der Gelbreife die Einlagerungsprozesse bereits abgeschlossen. Bis zur Ernte kommt es lediglich zu einer Reduktion des Wassergehaltes (SCHNYDER und BAUM, 1992). Bis auf die beschriebene Ausnahme für das Jahr 2001 für die Region BW zeigte sich dieser erwartete Zusammenhang. In Tabelle 11 werden die ermittelten Ergebnisse dieser Untersuchung dargestellt.

Tabelle 11: Bestimmtheitsmaße (R^2) zwischen dem N-Gehalt der Ähre incl. Körner zur Gelbreife und dem Eiweißgehalt des Erntegutes

Jahr	RLP	BW
2001	0,76	0,04
2002	0,64	0,59

6.3. Einfluss des Trockenmassenzuwachses zwischen Ährenschieben und Gelbreife auf den Ertrag bzw. den Eiweißgehalt des Erntegutes

Mit diesen Betrachtungen soll gezeigt werden, ob ein Zusammenhang zwischen dem Zuwachs der Pflanzentrockenmasse zwischen dem Ährenschieben und der Gelbreife und dem Ernteertrag bzw. dem Eiweißgehalt des Ernteproduktes der Musterflächen besteht. Die nachfolgende Abbildung 25 gibt einen Überblick über die Trockenmassenentwicklung der Probestellen in den Untersuchungsregionen in den Jahren 2001 und 2002. Es zeigt sich dabei, dass die Trockenmassen bezüglich der einzelnen Untersuchungsregionen zum Zeitpunkt der Gelbreife relativ nahe beieinander liegen.

Deutlichere Unterschiede wurden jedoch zwischen den beiden Untersuchungsjahren ermittelt.

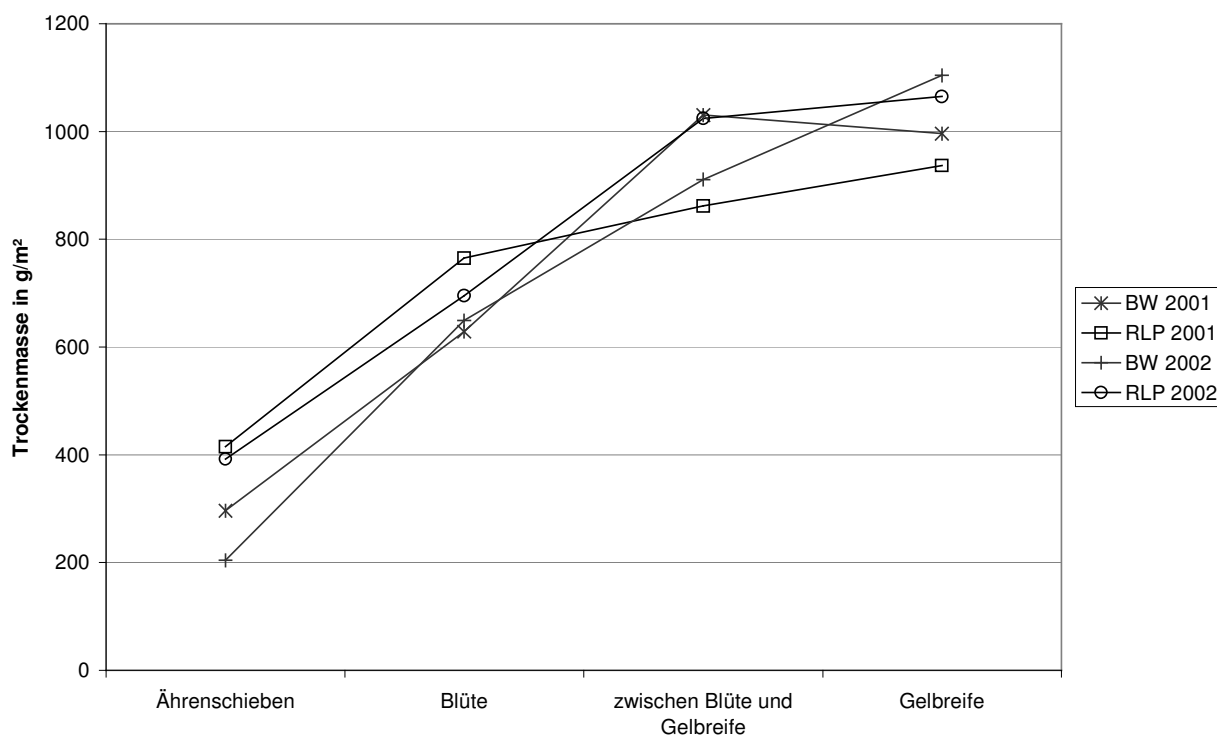


Abbildung 25: Entwicklung der Trockenmasse der Sommergerstenbestände der Probeflächen in den Jahren 2001 und 2002

Dem Zuwachs der Trockenmasse in Gramm je m² wurden der Ertrag und der Proteingehalt der geernteten Sommergerste gegenüber gestellt. Die aus diesen Betrachtungen resultierenden Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Übersicht über die Bestimmtheitsmaße (R²) beim Vergleich des Zuwachses der Trockenmasse zwischen Ährenschieben und Gelbreife und dem Ertrag bzw. dem Eiweißgehalt des Erntegutes der Musterflächen

Jahr	RLP		BW	
	Ertrag R ²	Eiweiß R ²	Ertrag R ²	Eiweiß R ²
2001	0,01	0,43	0,01	0,45
2002	0,65	0,25	0,13	0,25

6.4. Ertrag der Musterflächen und Eiweißgehalt des Erntegutes

Das ermittelte Bestimmtheitsmaß in Tabelle 13 gibt einen Überblick über die Ergebnisse des Vergleichs zwischen den Erträgen und dem Eiweißgehalt des Erntegutes der Musterflächen in den Untersuchungsgebieten. Die Ergebnisse zeigen, dass sich weder für die Untersuchungsjahre, noch für die Untersuchungsregion ein Zusammenhang erkennen lässt. Bestätigt werden diese Ergebnisse durch den Vergleich der Eiweißgehalte von Sommergerste mit den Erträgen auf Landkreisebene für den Zeitraum 1987 – 2000 (siehe Tabelle 14). Die Daten zum Eiweißgehalt, gegliedert nach Landkreisen, wurden durch die am Projekt beteiligte Mälzerei zur Verfügung gestellt. Man muss hier allerdings anmerken, dass hierbei nur Daten von solchen Braugerstenpartien in die Untersuchungen einbezogen wurden, die in ihrem Eiweißgehalt ohnehin im für Braugerste optimalen Bereich von 9 – 11,5 % lagen. Dadurch kann die notwendige Streuung für die Herausbildung eines Zusammenhanges verloren gehen.

Tabelle 13: Bestimmtheitsmaße (R^2) beim Vergleich des Ertrages mit dem Eiweißgehalt des Erntegutes

	RLP	BW
Jahr	R^2 Ertrag / Eiweiß	R^2 Ertrag / Eiweiß
2001	0,686	0,121
2002	0,004	0,573

Tabelle 14: Bestimmtheitsmaße (R^2) beim Vergleich von Hektarerträgen mit Eiweißgehalten von Sommergersten über den Zeitraum 1987 – 2000

Zeitspanne	LK Rottweil	LK Tuttlingen	Zollern-Alb-Kreis
	R^2 Ertrag / Eiweiß	R^2 Ertrag / Eiweiß	R^2 Ertrag / Eiweiß
1987 – 2000	0,20	0,11	0,01

7. Diskussion

7.1. Verbindung phänologischer und agrarmeteorologischer Daten

Die Eintrittstermine der unterschiedlichen phänologischen Phasen der Sommergerste schwanken über den Untersuchungszeitraum in nicht unerheblichem Maße. Diese Schwankungen der Eintrittstermine einzelner Phasen lagen bei etwa drei Wochen, in der Regel lagen sie jedoch bei etwa fünf Wochen. Um Beziehungen zwischen Erträgen und agrarmeteorologischen Daten herzustellen, ist aufgrund dieser Schwankungen von einer Betrachtung, orientiert an Kalendereinheiten, abzusehen. Vielmehr ist eine eingehende Betrachtung der Pflanzenentwicklung notwendig. HANUS und AIMILLER (1978), SCHELLING et al. (2003) und WEISSTEINER und KÜHBAUCH (2005) berichten in ihren Untersuchungen zur Ertragsabschätzung von deutlich besseren Prognoseergebnissen anhand von Daten, die sich nicht an Kalenderperioden orientieren. Die Problematik, dass die phänologischen Entwicklungsphasen der Sommergerste über das Jahr 1990 hinaus nicht mehr durch den DWD dokumentiert wurden, konnte dadurch behoben werden, dass man sich an den Daten des Hafers orientiert, die weiterhin erfasst werden. Mit Hilfe von ausreichend langen Zeitreihen, in der die Daten für beide Kulturen parallel erhoben wurden, lassen sich Regressionsgleichungen erstellen, mit denen man aus den Daten für Hafer die entsprechenden Daten für Sommergerste hinreichend genau herleiten kann. Diese gute Übereinstimmung zwischen den beiden Kulturen Sommergerste und Hafer wurden bereits von RÖMER (1988) und CHMIELEWSKI und KÖHN (1999) beschrieben und von SCHELLING (2000) und WEISSTEINER (2003) verwendet.

Für einen statistischen Vergleich von Erträgen und verschiedenen Klimafaktoren über einen längeren Zeitraum, im Fall dieser Studie über vierzehn Jahre (1987 – 2000), muss eine deutliche Trennung von Einflüssen der Klimafaktoren und Einflüssen des züchterischen Fortschritts erreicht werden. Daher ist eine Korrektur der Erträge um den langjährigen Ertragstrend notwendig. In der vorliegenden Studie konnte festgestellt werden, dass es für den angegebenen Zeitraum zu einer Erhöhung der Ernteerträge in einer Größenordnung von etwa 0,75 dt/ha und Jahr kam, unabhängig

davon, ob man die Landkreise der Untersuchungsgebiete Rheinland-Pfalz oder Baden-Württemberg betrachtet. Jährliche Ertragszunahmen können schon über lange Zeiträume zurückverfolgt werden. So zeigen Untersuchungen von KNOPF (1986) für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland einen Ertragszuwachs für den Zeitraum 1950 – 1982 von 0,43 dt/ha. Einen deutlicheren Ertragszuwachs, der vergleichbar mit den Ergebnissen dieser Studie ist, konnte SCHELLING (2000) in seinen Untersuchungen für die Region nördliches Rheinland-Pfalz feststellen. In diesem Gebiet lagen die Ertragszuwächse bei etwa 0,7 dt/ha für den Zeitraum 1974 – 1997.

7.2. Ertragsprognose auf Basis meteorologischer Daten

In den durchgeführten Untersuchungen für sechs Landkreise aus zwei Anbauregionen wurden den Ertragsdaten die unterschiedlichen meteorologischen Daten der verschiedenen Entwicklungsabschnitte der Sommergerste gegenübergestellt. Die entwickelten Gleichungen zur Vorhersage der Ernteerträge wurden über multiple Regressionsansätze in einer retropektivischen Betrachtung ermittelt und dann für den Zeitraum von zwei Jahren für die entsprechenden Landkreise angewendet. Eine Übertragbarkeit der für einen Landkreis entwickelten Formel auf einen anderen Landkreis konnte nicht festgestellt werden. Die Verwendung von Formeln aus anderen Landkreisen führte nicht zu annähernd präzisen Ergebnissen. Dass derartige Prognoseformeln allein nur für den Bereich gültig sind, in dem die Daten zur Modellherleitung erfasst wurden, wird durch die Untersuchungen von CHMIELEWSKI und POTTS (1995), LANDAU et al. (2000) und KLOß (1987) bestätigt. Allein die Herangehensweise zur Erstellung der Prognosemodelle ließe sich auf andere Regionen übertragen. Bevor jedoch derartige Modelle in weiteren Regionen zur Anwendung gebracht werden können, müssten wieder erhebliche Mengen an präzisen historischen Daten erhoben und aufbereitet werden, um anschließend zu einer Prognoseformel verrechnet werden zu können. Auf den dadurch entstehenden nicht unerheblichen Arbeitsaufwand wird bei SCHELLING (2000) hingewiesen.

Die Genauigkeit der Prognoseergebnisse des Ansatzes, bei dem alle Faktorkombinationen Verwendung fanden, lag im Bereich von etwas oberhalb von 5 Prozent zwischen prognostizierten und real geernteten Ertrag. Diese Abweichung im Bereich zwischen 5 – 10 % entsprechen etwa dem Bereich, von denen sowohl SCHELLING

et al. (2003) in ihren Untersuchungen berichten, als auch McDONALD und HALL (1980). Die in Tabelle 15 dargestellten Ergebnisse zeigen deutlich, dass es hinsichtlich der Genauigkeit der Prognose nicht nur deutliche Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Herangehensweisen an die Ertragsprognose gibt, sondern auch auf die Landkreise bezogen. Es zeigt sich eine deutliche Spannweite der „Eignung“ der jeweiligen Landkreise auf die „Prognostizierbarkeit“. So sind in den drei Landkreisen „Freudenstadt“, „Rottweil“, und „Zollern-Alb“ über beide Prognosejahre jeweils nur bei einem der sechs verschiedenen Verfahren einmal Abweichungen von mehr als 15 % zwischen prognostiziertem Ertrag und dem tatsächlich geerntetem Ertrag aufgetreten. Diese Landkreise eignen sich somit sehr gut für die gewählten Modellansätze. Betrachtet man hingegen den Landkreis „Germersheim“ so ist lediglich für das „präzise Modell“ im Jahr 2001 eine Prognose mit akzeptabler Genauigkeit mit 0,9 % Abweichung möglich. In allen anderen Fällen, waren die Abweichungen derart deutlich, dass man von einer Ertragsprognose mit diesen Ansätzen Abstand nehmen sollte. Eine mögliche Erklärung für die hohen Abweichungen zwischen dem tatsäch-

Tabelle 15: Übersicht über die Ergebnisse der verschiedenen Prognosemodelle

Landkreis	Jahr	Abweichung des prognostizierten Ertrags vom realen Ertrag in %			Progose- ergebnis der Variante: "Abweichung vom Trendertrag"	Progose- ergebnis der Variante: "Ab- weichung vom log Trendertrag"	Progose- ergebnis der Variante: "Korre- lation beste 12"
		Präzise	Ökonomisch	Frühzeitig			
Zollern-Alb- Kreis	2001	6,9	23,4	6,9	7,7	1,9	13,1
	2002	-5,7	13,3	-5,7	-2,7	-8,9	8,2
Freudenstadt	2001	-5,8	3,8	-5,8	-4,5	-3,0	2,7
	2002	10,6	21,0	10,6	10,3	10,6	-5,8
Rottweil	2001	3,4	3,4	3,4	11,8	10,9	-14,0
	2002	6,1	6,1	6,1	11,0	6,3	15,2
Tuttlingen	2001	5,0	5,0	22,9	12,3	-5,5	1,4
	2002	-17,4	-17,4	-13,4	-4,0	-1,6	-4,8
Südliche Weinstraße	2000	6,2	6,2	-9,6	3,6	6,4	3,1
	2001	7,4	7,4	18,9	23,8	10,4	16,9
	2002	14,0	14,0	19,8	4,4	13,3	-4,8
Germersheim	2001	0,9	34,7	39,6	39,0	31,2	28,8
	2002	43,5	30,8	12,0	16,5	27,6	37,2



- = Abweichung des prognostizierten Ertrages vom Realertrag bis 10 %
- = Abweichung des prognostizierten Ertrages vom Realertrag 10 bis 15
- = Abweichung des prognostizierten Ertrages vom Realertrag über 15 %

lich geernteten und dem prognostizierten Ertrag im Landkreis Germersheim lässt sich aus den in Tabelle 16 dargestellten Ergebnissen herleiten. Diese Tabelle gibt einen Überblick darüber, wie viele Faktorkombinationen aus den einzelnen Abschnitten der Pflanzenentwicklung in den Prognosejahren um mehr als 50 % vom Mittelwert dieser jeweiligen Faktorkombination aus dem Zeitraum der Modellbildungsphase abweichen. Augenscheinlich ist hierbei, dass in den Landkreisen, in denen die meisten Abweichungen vom Mittelwert auftraten, sich die größten Ungenauigkeiten in den Ertragsprognosemodellen zeigten (siehe Tabelle 15). Wenn man ausschließlich den für die Ertragsbildung wichtigen Zeitraum der Kornfüllungsphase betrachtet, so ist auffällig, dass lediglich im Landkreis Germersheim in diesem Zeitraum Abweichungen der Faktorkombinationen beobachtet werden konnten. In diesem Fall lagen im Jahr 2002 die Summen der maximalen und mittleren Temperaturen und die Summe der potentiellen Evapotranspiration für diesen Zeitraum um 50 % höher als der Mittelwert dieser Variablen aus der Modellbildungsphase in den Jahren 1987 – 2000. Ein möglicher Grund für diese großen Abweichungen bei den Temperatursummen könnte die im Jahr 2002 deutlich längere Dauer dieser Entwicklungsphase sein (2002: 50 Tage; Mittelwert 1987 - 2000: 35 Tage). Diese längere Dauer könnte durch die Erfassung der Eintrittstermine der phänologischen Entwicklungsabschnitte begründet sein. Da die Anzahl der phänologischen Berichterstatter deutlich geringer wurde, könnte es sein, dass die in diesem Fall für den Landkreis Germersheim gemeldeten Werte lokal zwar zutrafen, jedoch das tatsächliche Geschehen im gesamten Landkreis im Jahr 2002 nicht repräsentativ darstellten.

Tabelle 16: Anzahl des Abweichens einzelner Faktorkombinationen um mehr als 50 % von den Mittelwerten der Modellbildungsphase

Landkreis	Jahr	Gesamt	Jahresbeginn - Aussaat	Aussaat - Auflaufen	Auflaufen - Schossen	Schossen - Ährenschieben	Ährenschieben - Gelbreife	Gelbreife - Ernte
Zollern-Alb-Kreis	2001	5	4	1	0	0	0	0
	2002	5	0	2	2	0	0	1
Freudenstadt	2001	3	2	0	1	0	0	0
	2002	13	2	2	1	1	0	7
Rottweil	2001	8	2	3	0	1	0	2
	2002	9	0	2	0	0	0	7
Tuttlingen	2001	15	5	5	1	2	0	2
	2002	14	4	5	3	2	0	0
Südliche Weinstraße	2000	9	0	2	3	1	0	3
	2001	11	5	2	2	2	0	0
	2002	7	0	2	0	0	0	5
Germersheim	2001	16	6	6	0	3	0	1
	2002	13	0	2	1	0	3	7

Diese überdurchschnittlich hohen Temperaturen in der Phase der Blüte / Kornfüllung werden in den Literaturstellen (siehe Kapitel 2.1.3 „Umwelteinflüsse“), die sich mit der Ertragsbildung beschäftigen, regelmäßig als ertragsreduzierende Größen genannt. Neben den deutlich erhöhten Werten der Temperatursummen und den Werten der aufsummierten potentiellen Evapotranspiration befindet sich der Wert für die Niederschlagssumme für den betrachteten Zeitraum des Jahres 2002 mit rund 12 Prozent lediglich leicht oberhalb des Mittels aus der Modellbildungsphase. LANDAU et al. (2000) ermittelten in ihren Untersuchungen, dass Trockenheit um den Zeitpunkt der Blüte zu Ertragsrückgang führt. Für den weiteren zeitlichen Verlauf dieser Entwicklungsphase, den Zeitraum nach der Blüte, berichten EAGLES et al. (1995), SAVIN und NICOLAS (1996) und SAVIN et al. (1997b) über die ertragsreduzierende Wirkung der höheren Temperaturen, wie sie in diesem Fall des Landkreises Germersheim ebenfalls zu finden waren.

Die Prognoseergebnisse für die als „ökonomisch“ bezeichneten Modelle lieferten über alle Landkreise gesehen, die Prognosen mit den größten Abweichungen zwischen den prognostizierten und den realen Erträgen. Mit dem Verzicht auf die Daten zur Globalstrahlung gehen aussagekräftige Informationen zur Ertragsbildung, insbesondere in Zusammenhang mit den Temperaturdaten verloren. So berichten ORTIZ-MONASTERIO et al. (1994), dass in ihren Untersuchungen durch die Kombination der beiden Faktoren eine gute Abschätzung der Kornanzahl möglich war. GRASHOFF und D'ANTUONO (1997), WARDLAW et al. (1989) und CRANSTOUN (1992) berichten über den Einfluss der Strahlungsintensität auf Kornertrag, Bestandsaufbau, sowie auf die die Qualität beeinflussenden Größen Sortierung und Proteingehalt. Durch die Nichtberücksichtigung der Evapotranspiration geht in diesen Modellen eine Einflussgröße verloren, die sich aus mehreren verschiedenen Ausgangsgrößen zusammensetzt. Als Energiequellen werden Strahlung und Temperatur verwendet, des weiteren die Windgeschwindigkeit und nicht zuletzt über das Sättigungsdefizit der Luft die Luftfeuchtigkeit (HÄCKEL, 1993).

Die Reduktion der Prognosegenauigkeit der Modelle zum „frühzeitigen“ Zeitpunkt läßt sich über den erheblichen Einfluss der Kornfüllungsphase auf den Ertrag begründen. Treten hier beispielsweise höhere Temperaturen auf, kann sich der Ertrag deutlich reduzieren, wie es in diesem Abschnitt bei der Analyse des Landkreises Germersheim näher beschrieben wurde.

7.3. Verbindung verschiedener Felddaten zu Ertrag und Eiweißgehalt des Erntegutes der Musterflächen

Für eine Ertrags- bzw. Eiweißgehalts-Prognose sind die Ergebnisse der im Kapitel 6 beschriebenen Untersuchungen nur bedingt nutzbar, da weder ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Trockenmassezunahme und dem Ertrag, noch zwischen Trockenmasse und dem Eiweißgehalt ermittelt werden konnte (siehe Tabelle 12). Lediglich im Jahr 2002 wurde für den Ertrag in Rheinland-Pfalz ein leicht erhöhtes R^2 (0,65) ermittelt. Dem steht aber im ersten Untersuchungsjahr ein R^2 von 0,01 gegenüber, so dass die notwendige Stabilität des Zusammenhanges für eine Prognose nicht gegeben ist.

Die gleiche Problematik stellt sich auch bei der Betrachtung der Zusammenhänge zwischen dem Stickstoffgehalt der oberen Blätter zum Zeitpunkt der Blüte und dessen Einfluss auf Ertrag und Eiweißgehalt (Tabelle 10). Im Untersuchungsgebiet Baden-Württemberg war der Zusammenhang zum Ertrag und zum Eiweißgehalt im Untersuchungsjahr 2001 signifikant ($R^2 = 0,74$ bzw. $0,90$), im 2. Untersuchungsjahr konnte dann jedoch kein Zusammenhang nachgewiesen werden ($R^2 = 0,04$ und $0,02$). In Rheinland-Pfalz waren die Zusammenhänge in beiden Untersuchungsjahren weniger deutlich. Als Begründung für diese variablen Ergebnisse können Unterschiede in der Effizienz der N – Translokation in der Phase der Ertragsbildung angesehen werden. DE RUITER und BROOKING (1994) berichten von Effizienzen der N – Translokation von etwa 90 % unter günstigen Bedingungen, während PAPAKOSTA und GAGIANAS (1991) in ihren Untersuchungen eine Schwankungsbreite von 60 – 80 % ermittelten. Betrachtet man zu diesen Schwankungen noch die Heterogenität speziell des Untersuchungsgebietes Baden-Württemberg (siehe Kapitel 3.2.2 Untersuchungsgebiet Baden-Württemberg), wird deutlich, dass viele Umweltfaktoren Einfluss auf die Stoffwechselforgänge in der Abreife der Sommergerste nehmen können.

Wie die Ergebnisse dieser Arbeit in den Tabellen „Bestimmtheitsmaße (R^2) beim Vergleich des Ertrages mit dem Eiweißgehalt des Erntegutes“ (Tabelle 13) und „Bestimmtheitsmaße (R^2) beim Vergleich von Hektarerträgen mit Eiweißgehalten von Sommergersten über den Zeitraum 1987 – 2000“ (Tabelle 14) zeigen, kann somit der Ertrag nicht als Prognosegröße für den Eiweißgehalt oder der Eiweißgehalt für eine Ertragsprognose herangezogen werden. Als Ursachen können hier zum Einen der

geringe Stichprobenumfang der Feldproben ($n = 18$ je Probejahr) gesehen werden, zum Anderen auch, wie in Kapitel 6.4 beschrieben, die durch die Mälzerei zur Verfügung gestellten Daten auf Landkreisebene ja schon den Qualitätsanforderungen für Braugerste entsprechen mussten. Die Daten zur Braugerstenqualität der Erfassungsstellen in den entsprechenden Landkreisen können nicht sicher komplett den jeweiligen Landkreisen zugeordnet werden, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass an den Erfassungsstellen auch Sommergerstenpartien erfasst wurden, die in angrenzenden Landkreisen produziert wurden. Hierdurch kann ebenfalls die notwendige Streuung für die Herausbildung eines Zusammenhanges verloren gehen.

Diese hier dargestellten, nur bedingt nutzbaren und aussagekräftigen Ergebnisse können leider die in der Literatur (KRAMER, 1979; SCHELLING, 2000; SCHELLING et al., 2003) dargestellten guten Zusammenhänge zwischen Ertrag und Proteingehalt nicht bestätigen.

Einer weiteren Verwendung dieser Ergebnisse in einer Ertrags- oder Eiweißgehalts-Prognose steht neben den beschriebenen wenig aussagekräftigen Ergebnissen auch der erhebliche vor Ort zum richtigen phänologischen Abschnitt zu leistende Arbeitsaufwand der Felderhebungen entgegen.

8. Zusammenfassung

Für die Betriebe, die Sommergerste zu Malz verarbeiten, ist es von großer Bedeutung, rechtzeitig abschätzen zu können, mit welchen Erntemengen sie in ihrem Einzugsbereich zu rechnen haben. Es gilt zu entscheiden, ob der für die Produktion von Malz benötigte Bedarf an Sommergerste gedeckt werden kann oder ob man sich um Zukaufware aus anderen Regionen bemühen muss, was neben den Materialkosten mit erhöhten Kosten für den Transport begleitet wird. Der Flächenertrag wird nicht nur durch pflanzenbauliche Maßnahmen, sondern vielmehr auch in vielfältiger Form durch Umwelteinflüsse und hier insbesondere durch die Witterung vor und während der Entwicklung der Sommergerste beeinflusst.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Möglichkeit, den Hektar-Ertrag von Sommergerste auf Landkreisebene auf Basis von Daten zum Entwicklungsstadium des Getreides, in Verbindung mit einer Vielzahl von Witterungsfaktoren zu prognostizieren.

Des Weiteren stellt diese Arbeit Ergebnisse auf Schlagebene mit den Zusammenhängen zwischen Pflanzeninhaltsstoffen und den tatsächlich erzielten Erträgen und Qualität der beiden Untersuchungsregionen Vorderpfalz (Rheinland-Pfalz; RLP) und dem Übergangsbereich zwischen Schwarzwald und Schwäbischer Alb (Baden-Württemberg; BW) dar.

Im Einzelnen lassen sich die ermittelten Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

- Durch die Untersuchungen auf Schlagebene konnten für die Untersuchungsregionen keine Zusammenhänge festgestellt werden, die geeignet gewesen wären, eine Aussage hinsichtlich des zu erwartenden Ertrages oder der Qualität zu treffen. Des Weiteren ist die Erhebung von Daten auf Schlagebene, wie z.B. die Entwicklung der Trockenmasse, mit einem nicht unerheblichen Arbeitsaufwand und einer ständigen Präsenz in der Region, für die Aussagen über Ertrag und Qualität gemacht werden sollen, verbunden. Ein Vergleich von Daten zur Braugerstenqualität, die durch die am Projekt beteiligte Mälze-

rei zur Verfügung gestellt wurden, zeigten mit der Höhe der Flächenerträgen aus der entsprechenden Region keinen erkennbaren Zusammenhang.

- Bei den verschiedenen Ansätzen zur Ertragsprognose wurden in der Retrospektive Ernteerträgen jeweils aggregierte Klimadaten aus den einzelnen Phasen der Entwicklung der Sommergerste, ergänzt mit Daten aus dem Zeitraum vor der Saat, gegenübergestellt. Damit wurden diejenigen Faktorkombinationen bestimmt, mit denen der Ertrag prognostiziert wurde. Um bei der Verwendung von Ertragsdaten aus einer Zeitreihe nicht dem Einfluss des Züchtungsfortschritt zu unterliegen, wurden die Erträge um den Ertragstrend korrigiert. Es zeigte sich dabei, dass man einem jährlichen Ertragszuwachs von etwa 0,75 dt/ha und Jahr beobachten kann, unabhängig davon welchen Landkreis oder welche Untersuchungsregion man betrachtet. Die Ansätze zur Ertragsprognose wurden unterschieden durch die Anzahl der Faktorkombinationen, die zur Verfügung standen.
- In der Betrachtungsweise „Präzise Berechnung“ wurden sämtliche zur Verfügung stehenden Faktorkombinationen den realen Erträgen gegenübergestellt. In nahezu allen Landkreisen ließen sich für beide Jahre, für die der Ertrag abgeschätzt wurde, gute Übereinstimmungen zu den tatsächlich geernteten Mengen ermitteln. Im Landkreis Germersheim lag der prognostizierte Ertrag lediglich in einem Jahr deutlich oberhalb vom tatsächlich geerntetem Ertrag. Ursächlich dürfte dieses darin begründet sein, dass in diesem Jahr die Temperatur- und Strahlungssummen in der Kornfüllungsphase deutlich oberhalb des langjährigen Mittels lagen und damit die Kornfüllung deutlicher reduziert wurde, als es mit der entwickelten Gleichung abzuschätzen möglich gewesen wäre. In allen weiteren Landkreisen wichen die prognostizierten Erträge in beiden Prognosejahren nicht mehr als 15 % von den tatsächlichen Erträgen ab.
- Die Ertragsprognosen, unter Verzicht auf die aufwendig zu beschaffenden Klimafaktoren, lieferten über alle betrachteten Landkreise gesehen, die am wenigsten zutreffenden Ertragsprognosen. In vier der sechs Landkreise lag in mindestens einem der beiden Prognosejahre die Abweichung bei mehr als

20% von den real geernteten Erträgen. Dieser Verlust an Prognosegenauigkeit verdeutlicht den Wert und die Aussagekraft der nicht standardmäßig gelieferten Klimadaten, wie der potentiellen Evapotranspiration oder der Globalstrahlung.

- Da ein nicht unerheblicher Anteil des Kornertrages erst in der Kornfüllungsphase festgelegt wird bzw. die Wetterbedingungen in der Kornfüllungsphase erheblichen Einfluss auf den Ertrag haben, zeigen auch die Prognosemodelle, bei denen lediglich die Faktorkombinationen bis zum Zeitpunkt des Ährenschiebens verwendet werden, entsprechend geringere Prognosegenauigkeiten. Bei etwa der Hälfte der untersuchten Landkreise konnten bei den Ertragsabschätzungen zu diesem frühen Prognosetermin lediglich deutliche Differenzen zum späteren Realertrag ermittelt werden. Die genaueren Ergebnisse der präzisen Betrachtungsweise zeigen deutlich die Verbesserung der Prognosegenauigkeit durch die Ausdehnung des Untersuchungszeitraumes bis zur Reife.
- Die beiden Prognosemodelle, bei denen sich der geschätzte Ertrag aus dem Trendertrag und der prognostizierten Abweichung von Ertrag zusammensetzt, zeigen bis auf den Landkreis Germersheim gute Genauigkeiten. Der prognostizierte Ertrag weicht in den meisten Fällen weniger als zehn Prozent von realen Ertrag ab. Durch die Verwendung des logarithmischen Trendertrages zeigte sich eine deutliche Verbesserung des Prognoseergebnisses gegenüber den Untersuchungen, die auf dem linearen Trendertrag basieren. Begründet liegt dieses darin, dass nicht von linear zunehmenden Erträgen auszugehen ist, sondern hier der Effekt der abnehmenden Ertragszuwächse zum Tragen kommt.
- Wie bei den vorherigen Modellen war auch bei dem Ansatz, bei dem jene zwölf am höchsten mit dem Ertrag korrelierenden Faktorkombinationen als Ausgangsgrößen zur Ermittlung der Formel zur Ertragsabschätzung Verwendung fanden, der Landkreis Germersheim derjenige, für den auch mit dieser Herangehensweise keine annähernd treffende Ertragsprognose möglich war. Die Ergebnisse der weiteren Landkreise waren alle im Bereich von nicht mehr

als maximal 15 % Abweichung vom tatsächlichen Ertrag. Dieses Modell der Vorauswahl der Faktorkombinationen über die Korrelation zum Ertrag zeigte über alle Landkreise gesehen nur geringfügig weniger präzise Ergebnisse als jener Prognoseansatz, bei dem der Ertrag durch den logarithmischen Trendertrag und die Abweichung von selbigem bestimmt wurde.

Die unterschiedlichen Prognoseverfahren lieferten, je nach Umfang der Ausgangsdaten, zufriedenstellende Ergebnisse mit Abweichungen, die mit wenigen Ausnahmen, im Bereich von etwas oberhalb von fünf Prozent Abweichung vom tatsächlichen Flächenertrag lagen. Durch Vorverlagerung des Prognosetermins oder durch Reduktion der für die Prognose zur Verfügung stehenden Faktoren reduziert sich die Präzision der Prognoseergebnisse.

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen:

BBCH	B iologische Bundesanstalt; B undessortenamt; C hemische Industrie
BSA	Bundessortenamt
BW	Baden Württemberg
°C	Grad Celsius
C	Kohlenstoff
cm ²	Quadratcentimeter
DWD	Deutscher Wetterdienst
dt	Dezitonne
et al.	et alii
Epf	Epfendorf
Etp	potentielle Evapotranspiration
Fds	Landkreis Freudenstadt
g	Gramm
Germ	Landkreis Germersheim
GIS	Geoinformationssystem
ha	Hektar
Haig	Haigerloch
Herx	Herxheim
incl.	inklusive
Ins	Insheim
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm
Ln	natürlicher Logarithmus
log	logarithmisch
Luftf.	Luftfeuchtigkeit
m	Meter
MARS	Monitoring Agriculture with Remote Sensing
mittl.	mittlere
mm	Millimeter
n	Anzahl
N	Stickstoff
N _{min}	mineralischer Stickstoff

NN	normal Null
Off	Offenbach an der Queich
Ott	Ottersheim
RLP	Rheinland Pfalz
Rott	Landkreis Rottweil
rel.	relativ
R ²	Bestimmtheitsmaß
Spaich	Spaichingen
Steinf	Steinfeld
Strass	Strassberg
Süw	Landkreis Südliche Weinstraße
t	Tonne(n)
Temp.	Temperatur
TKG	Tausend-Korn-Gewicht
TM	Trockenmasse
Tutt	Landkreis Tuttlingen
Zak	Zollern-Alb-Kreis
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Übersicht über die geographische Lage der Untersuchungsgebiete ...	14
Abbildung 2: Regressionsgleichung zwischen Sommergerste und Hafer zum Phasenbeginn am Beispiel „Eintritt der Gelbreife“ im Landkreis Rottweil	17
Abbildung 3: Trendkorrektur der Ernteerträge am Beispiel Zollern-Alb-Kreis	19
Abbildung 4: Die Entwicklungsstadien des Getreides nach der BBCH Skala.....	23
Abbildung 5: Fragebogen mit dem die Daten zur Kulturführung von den Landwirten erhoben wurden.....	26
Abbildung 6: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Südliche Weinstraße und Germersheim unter Verwendung aller Faktorkombinationen.....	31
Abbildung 7: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Tuttlingen und Rottweil unter Verwendung aller Faktorkombinationen.....	32
Abbildung 8: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge des Landkreises Freudenstadt und des Zollern-Alb-Kreis unter Verwendung aller Faktorkombinationen.....	33
Abbildung 9: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge in den Landkreisen Südliche Weinstraße und Germersheim unter Verwendung der Wetterparameter bis zum Ende des Schossens	35
Abbildung 10: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge in den Landkreisen Tuttlingen und Rottweil unter Verwendung der Wetterparameter bis zum Ende des Schossens	36
Abbildung 11: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge in den Landkreisen Freudenstadt und Zollern-Alb-Kreis unter Verwendung der Wetterparameter bis zum Ende des Schossens	37
Abbildung 12: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Südliche Weinstraße und Germersheim unter Verzicht der aufwändiger zu beschaffenden Klimafaktoren.....	39
Abbildung 13: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Tuttlingen und Rottweil unter Verzicht der aufwändiger zu beschaffenden Klimafaktoren.....	40

Abbildung 14: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Freudenstadt und Zollern-Alb-Kreis unter Verzicht der aufwändiger zu beschaffenden Klimafaktoren	41
Abbildung 15: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Südliche Weinstraße und Germersheim aus der Kombination von linearem Trendertrag und Ertragsabweichung	43
Abbildung 16: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Tuttlingen und Rottweil aus der Kombination von linearem Trendertrag und Ertragsabweichung	44
Abbildung 17: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Freudenstadt und Zollern-Alb-Kreis aus der Kombination von linearem Trendertrag und Ertragsabweichung	45
Abbildung 18: Vergleich der Trenderträge linear und logarithmisch dargestellt	46
Abbildung 19: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Südliche Weinstraße und Germersheim aus der Kombination von logarithmischem Trendertrag und Ertragsabweichung	47
Abbildung 20: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Tuttlingen und Rottweil aus der Kombination von logarithmischem Trendertrag und Ertragsabweichung	48
Abbildung 21: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Freudenstadt und Zollern-Alb-Kreis aus der Kombination von logarithmischem Trendertrag und Ertragsabweichung	49
Abbildung 22: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Südliche Weinstraße und Germersheim basierend auf Faktorkombination die am höchsten mit dem Ertrag korrelieren	51
Abbildung 23: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Tuttlingen und Rottweil basierend auf Faktorkombination die am höchsten mit dem Ertrag korrelieren	52
Abbildung 24: Beobachtete, modellierte und prognostizierte Erträge der Landkreise Freudenstadt und Zollern-Alb-Kreis basierend auf Faktorkombination die am höchsten mit dem Ertrag korrelieren	53
Abbildung 25: Entwicklung der Trockenmasse der Sommergerstenbestände der Probeflächen in den Jahren 2001 und 2002	59

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Übersicht über die betrachteten Regionen, Landkreise so wie die hierfür verwendeten Kennungen.....	13
Tabelle 2: Übersicht über die phänologischen Meldestationen deren Daten bei den Berechnungen Verwendung finden	18
Tabelle 3: Übersicht über die Klimastationen deren Daten bei den Berechnungen Verwendung gefunden haben.....	20
Tabelle 4: Übersicht über die am Projekt beteiligten Landwirte und die Standorte in den Untersuchungsregionen	22
Tabelle 5: Übersicht über die Einteilung der phänologischen Abschnitte	27
Tabelle 6: Übersicht über die aus den Wetterparametern berechneten Werte.....	28
Tabelle 7: Prozentuale Verteilung der in den Prognosemodellen verwendeten Faktoren auf die einzelnen zeitlichen Abschnitte.....	54
Tabelle 8: Prozentuale Verteilung der am höchsten mit dem Ertrag korrelierenden Faktoren auf die einzelnen zeitlichen Abschnitte.....	55
Tabelle 9: Häufigkeit des Auftretens der in die Berechnungen zur Ertragsprognose eingehenden Faktorkombinationen	56
Tabelle 10: Einfluss des N-Gehaltes der oberen Blätter zur Blüte auf Ertrag und Eiweißgehalt der Getreidekörner der Musterflächen	57
Tabelle 11: Bestimmtheitsmaße (R^2) zwischen dem N-Gehalt der Ähre incl. Körner zur Gelbreife und dem Eiweißgehalt des Erntegutes.....	58
Tabelle 12: Übersicht über die Bestimmtheitsmaße (R^2) beim Vergleich des Zuwachses der Trockenmasse zwischen Ährenschieben und Gelbreife und dem Ertrag bzw. dem Eiweißgehalt des Erntegutes der Musterflächen.....	59
Tabelle 13: Bestimmtheitsmaße (R^2) beim Vergleich des Ertrages mit dem Eiweißgehalt des Erntegutes.....	60
Tabelle 14: Bestimmtheitsmaße (R^2) beim Vergleich von Hektarerträgen mit Eiweißgehalten von Sommergersten über den Zeitraum 1987 –2000.....	60
Tabelle 15: Übersicht über die Ergebnisse der verschiedenen Prognosemodelle.....	63
Tabelle 16: Anzahl des Abweichens einzelner Faktorkombinationen um mehr als 50 % von den Mittelwerten der Modellbildungsphase.....	64

Literaturverzeichnis:

- ASANA, R.D. und R.F. WILLIAMS, 1965: The effect of temperatur stress on grain development in wheat; Australian Journal of Agricultural Science; 16; 1 - 13
- AUFHAMMER, W., 1998: Getreide und andere Körnerfruchtarten; Ulmer; Stuttgart; 272
- AUSTIN, R.B., M.A. FORD, J.A. EDRICH und R.D. BLACKWELL, 1977: The nitrogen economy of winter wheat; Journal of Agricultural Science; 88; 159 - 167
- BÄNZIGER, M., B. FEIL und P. STAMP, 1994: Competition between nitrogen accumulation and grain growth for carbohydrates during grain filling of wheat; Crop Science; 34; 440 - 446
- BAIER, W., 1977: Crop-weather models and their use in yield assessments; WMO-No. 458; WMO Technical note No. 151; WMO (Hrsg.); Genf
- BAUMER, M., O. GROßMANN, H. MIEDANER, B. SACHER und H. GRAF, 1998: Kornanomalien bei Braugerste. Begriffsbestimmung und Bewertung; Brauwelt; 33/34; 1496 - 1502
- BETHEL, G. und B. DOORN, 1998: USDA Remote Sensing Technical and Systems Support for Operational Worldwide Agriculture Analysis; In: Proceedings of the 1. Int. Conf. Geospatial Inform. Agric. Forestry; Volume 1; Lake Buena Vista; 538 - 543
- BHULLAR, S.S. und C.F. JENNER, 1985: Differential Responses to high Temperatures of Starch and Nitrogen in the Grain of four Cultivars of Wheat. Australian Journal of Plant Physiology; 12; 363 - 375
- BSA (Bundessortenamt), 2003: Beschreibende Sortenliste 2003; Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte; Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, Hannover
- BULMAN, P. und D.L. SMITH, 1994: Post-heading nitrogen uptake, retranslocation and partitioning in spring barley; Crop Science; 34 (4); 977 - 984
- CARRECK, N.L. und D.G. CHRISTIAN, 1991: Studies on the pattern of nitrogen uptake translocation to the grain of winter barley intended for malting; Ann. Applied Biology; 119; 549 - 559
- CHMIELEWSKI, F.M., 1998: Der Einfluß der Witterung auf die Ertragsbildung von Sommergerste; Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften; 11; 97 - 98
- CHMIELEWSKI, F.M., 2003: Phenology and Agriculture; Agrarmeteorologische Schriften; Landw.-Gärtner. Fakult. der Humboldt Univers. Berlin; Heft 12

- CHMIELEWSKI, F.M. und J.M. POTTS, 1995: The relationship between crop yields from an experiment in southern England and long term climate variations; *Agricultural and Forest Meteorology*; 73; 43 – 66
- CHMIELEWSKI, F.M. und W. KÖHN, 1999: Impact of weather on yield components of spring cereals over 30 years; *Agricultural and Forest Meteorology*; 96; 49 – 58
- CHMIELEWSKI, F.M. und W. KÖHN, 2000: Impact of weather on yield and yield components of winter rye; *Agricultural and Forrest Meteorology*; 102; 253 – 261
- CHOWDHURY, S.I. und I.F. WARDLAW, 1978: The effect of temperature on kernel development in cereals; *Australian Journal of Agricultural Research*; 29; 205 - 223
- CRANSTOUN, D., 1992: Crop Management for Malting; in: 1992 Conference on Cereals R & D; Home grown cereals authority (Hrsg.); 73 - 89
- COX, B.M., C.O. QUALSET und D.W. RAINS, 1985: Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat; I; Dry matter and nitrogen accumulation; *Crop Science*; 25; 430 - 440
- DALAL, R.C., W.M. STRONG, E.J. WESTON, J.E. COOPER und G.A. THOMAS, 1997: Prediction of grain protein in wheat and barley in a subtropical environment from available water and nitrogen in Vertisols at sowing; *Australian Journal of Experimental Agriculture*; 37; 3; 351 - 357
- DEMIRCAN, A., 1995: Die Nutzung fernerkundlich bestimmter Pflanzenparameter zur flächenhaften Modellierung von Ertragsbildung und Verdunstung; B 20; *Münchener Geographische Abhandlungen*; Reihe B; Geobuch Verlag; München
- DE RUITER, J.M., I.R. BROOKING, R.M. HASELMORE und R.A. CARRAN, 1988: A survey of the variability in yield and quality of malting barley in the Rangitikei region; *Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand*; 18; 11 - 21
- DE RUITER, J.M., W. STOL und H. VAN KEULEN, 1993: Simulation of yield and quality of malting barley; *Proceedings Agronomic Society of New Zealand*; 23; 11 - 19
- DE RUITER, J.M. und I.R. BROOKING, 1994: Nitrogen and dry matter partitioning of barley grown in a dryland environment; *New Zealand Journal of Crop and Horticulture Science*; 22;1; 45 - 55
- DE RUITER, J.M. und I.R. BROOKING, 1996: Effect of sowing date and nitrogen on dry matter and nitrogen partitioning in malting barley; *New Zealand Journal of Crop and Horticulture Science*; 24;1; 65 - 76

- DE RUITER, J.M. und R.M. HASELMORE, 1996: Role of nitrogen and dry matter partitioning in determining the quality of malting barley; *New Zealand Journal of Crop and Horticulture Science*; 24;1; 77 - 87
- DIEPENBROCK, W.; G. FISCHBECK und K.-U. HEYLAND, 1999: Spezieller Pflanzenbau 3. Auflage; UTB 111; Stuttgart
- DOORENBOS, J. und A.H. KASSAM, 1979: Yield response to water; *FAO Irrigation and Drainage Paper*; 33; FAO (Hrsg.); Rom
- DWD, 2003: Normalwerte ausgewählter deutscher Klimastationen; DWD, <http://www.dwd.de>
- EAGLES H.A., A.G. BEDGGOOD, J.F. PANOZZO und P.J. MARTIN, 1995: Cultivar and environmental effects on malting quality in barley; *Australian Journal of Agricultural Research*; 46; 5; 831 - 844
- EAVANS, J., 1983: Nitrogen and photosynthesis in the flag leave of wheat; *Plant Physiology*; 72; 297 - 302
- EHLERS, W., 1997: Zum Transpirationskoeffizienten von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen; *Pflanzenbauwissenschaften*; 1;3; 97 - 108
- ENGEL, T. und M. BALDIOLI, 1993: Expert-N und Wachstumsmodelle. Referate des Anwenderseminars im März 1993 in Weihenstephan, in: *Agrarinformatik*; Band 24; Reiner, L., Geidel, H. und Mangstl, A. (Hrsg.); Ulmer Verlag; Stuttgart
- FATHI, G., G.K. McDONALD und R.C.M. LANCE, 1997: Effects of post-anthesis water stress on the yield and grain protein concentration of barley grown at two levels of nitrogen; *Australian Journal of Agricultural Research*; 48; 1; 67 - 80
- FEIL, B., 1998: Physiologische und pflanzenbauliche Aspekte der inversen Beziehung zwischen Ertrag und Proteinkonzentration bei Getreidesorten: Eine Übersicht; *Pflanzenbauwissenschaften*; 2(1); 37 - 46
- GEBBING, T., H. SCHNYDER und W. KÜHBAUCH, 1995: Der Einbau von Vorblüteassimilaten in die Stärke- und Reserveproteinfraktion des Weizenkornes; *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*; 8; 201 - 204
- GEISLER, G., 1983: Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas; Paul Parey; Berlin
- GONZALES PONCE, R., M.L. SALAS und S.C. MASON, 1993: Nitrogen use efficiency by winter barley under different climatic conditions; *Journal of Plant Nutrition*; 16; 7; 1249 - 1261
- GOYNE, P.J., H. MEINKE, S.P. MILROY, G.L. HAMMER und J.M. HARE, 1996: Development and use of a barley crop simulation model to evaluate production management strategies in north-eastern Australia; *Australian Journal of Agricultural Research*; 47; 997 - 1015

- GRASHOFF, C. und L.F. D'ANTUONO, 1997: Effect of shading and nitrogen application on yield, grain size distribution and concentrations of nitrogen and water soluble carbohydrates in malting spring barley (*Hordeum vulgare L.*); European Journal of Agronomy; 6; 3/4; 275 - 293
- GREGORY, P.J., B. MARSHALL und P. BISCOE, 1981: Nutrients relations of winter wheat; III. Nitrogen uptake, photosynthesis of flag leaves and translocation of nitrogen to grain; Journal of Agricultural Science; 96; 539 - 547
- GUNKEL, J., M. VOETZ und F. RATH, 2002: Effect of the malting barley variety (*Hordeum vulgare L.*) on the fermentability; Journal of the Institute of Brewing; 108; 3; 355 - 361
- HÄCKEL, H.; 1993: Meteorologie; 3., verbesserte Auflage; Ulmer; Stuttgart; 63 - 64
- HANUS, H., 1969: Ein Verfahren zur frühzeitigen Vorausschätzung von Ernteerträgen aus Witterungsdaten; Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau; 129; 101 - 111
- HANUS, H. und AIMILLER, O., 1978: Ertragsvorhersage aus Witterungsdaten. Fortschritte im Acker- und Pflanzenbau; Heft 5; Beiheft zur Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau; Parey Verlag; Berlin and Hamburg
- HANUSS, K., 1973: Vorrasschätzung von Ernteerträgen aus Witterungsdaten; Mitteilungen der DLG; 88; 29; 822 - 826
- HAUDE, W., 1955: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise; Mitteilungen des Deutschen Wetterdienst, 11
- HERRMANN, W., E. KÜBLER und W. AUFHAMMER, 1998: Ährenbefall mit Fusarien und Toxingehalt im Korngut bei verschiedenen Wintergetreidearten; Pflanzenbauwissenschaften; 2; 3; 97 - 107
- HSIAO, T.C., 1973: Plant responses to water stress; Ann. Rev. Plant Physiology; 24; 519 - 570
- HUTTENLOCHER, F., 1959: Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 178 „Sigmaringen“; Geographische Landesaufnahme 1 : 200 000 - Naturräumliche Gliederung Deutschlands, Bundesanstalt für Landeskunde, Remagen
- KÜCKE, M., 1985: Nitrat Reduktion und Stickstoff – Akkumulation im Vegetationsablauf von Weizen als Faktoren der N – Versorgung des Korn; Dissertation Universität Göttingen
- KÜHN, G. und K. STEINMANN, 1985: Ertragsleistung der Sommergerste auf verschiedenen Standorteinheiten unter Berücksichtigung der wichtigsten Produktionsfaktoren. Getreidewirtschaft; 11; 247 - 249
- KRAMER, Th., 1979: Environmental and genetic variation for protein content in winter wheat (*Triticum aestivum L.*); Euphytica; 28; 209 - 218

- LANCASHIRE, P.D., H. BLEIHOLDER, T. van der BOOM, P. LANGELUDDEKE, R. STRAUSS, E. WEBER und A. WITZENBERGER, 1991: A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds; *Annals of Applied Biologie*; 119; 561 – 601
- LANDAU, S., R.A.C. MITCHELL, V. BARNETT, J.J. COLLS, J. CRAIGON, K.L. MOORE und R.W. PAYNE, 1998: Testing winter wheat simulation models predictions against observed UK grain yields; *Agricultural and Forest Meteorology*; 89; 85 – 99
- LANDAU, S., R.A.C. MITCHELL, V. BARNETT, J.J. COLLS, J. CRAIGON und R.W. PAYNE, 2000: A parsimonious, multiple-regression model of wheat yield response to environment; *Agricultural and Forest Meteorology*; 101; 151 - 166
- LAWLOR, D.W., W. DAY, A.E. JOHNSTON, B.J. LEGG und K.J. PARKINSON, 1981: Growth of spring barley under drought: crop development, photosynthesis, dry-matter accumulation and nutrient content; *Journal of Agricultural Science; Camb.*; 96; 167 - 186
- LONG, N.R., S.J. LOGUE; C.F. JENNER, P. GIANQUITTO, L.C. MacLEOD und A.R. BARR, 1998: Effects of genotype and environment on grain filling in barley grown in south-east Australia; *Proc. 9. Australian Agronomic Conference; Wagga Wagga*; 555 - 556
- KLOß, M., 1987: Wirkung der Witterung auf die Qualität von Braugerste in zwei Dauerversuchen sowie Untersuchungen zu den Möglichkeiten einer Qualitätsprognose; *Dissertation; Halle*
- KNOPF, H.E., 1986: Sommergerste, in *Pflanzenproduktion. Band 2. Produktionstechnik*, Oehmichen, J. (Hrsg.), Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
- MACNICOL, P.K., J.V. JACOBSEN, M.M. KEYS und I.M. STUART, 1993: Effects of heat and water stress on malting quality and grain parameters of Schooner barley grown in cabinets; *Journal of Cereal Science*; 20; 51 - 58
- MANDEL, P., 1998: Modellierung und Simulation mit GIS; *Geobit*; 7; 36 - 39
- MANDEL, P., 2000: Geo-Simulation – Experimentieren und Problemlösen mit GIS-Modellen; *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*; Salzburg
- MARSCHNER, H., 1995: *Mineral Nutrition of Higher Plants*; 2. Edition; Academic Press; London
- MATSUDA, K. und A. RAYAN, 1990: Anatomy: A key factor regulating plant tissue response to water stress; In: *Environmental Injury to Plants*; Kattermann, F. (Hrsg.); Academic Press; San Diego, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto
- McDONALD, R.B. und F.G. HALL, 1980: Global Crop Forecasting; *Science* 208; 670 – 679

- MITCHELL, R.A.C., C.L. GIBBARD, V.J. MITCHELL und D.W. LAWLOR, 1996: Effects of shading in different development phases on biomass and grain yield of winter wheat at ambient and elevated CO₂; *Plant, Cell and Environment*, 19; 615 – 621
- MOOT, D.J., P.D. JAMIESON, A.L. HENDERSON, M.A. FORD, J.R. PORTER, 1996: Rate of change in harvest index during grain-filling of wheat; *Journal of Agricultural Science; Camb.*; 126; 387 - 395
- MORGAN, A.G. und T.J. RIGGS, 1981: Effects of drought on yield and malt characters in spring barley; *Journal Sci. Food Agric.*; 32; 339 - 346
- MÜLLER, C., 2000: Der Beitrag der Fernerkundung zur Qualitätsschätzung von Braugerste; Diss. Universität Bonn
- MUNAR, M. J. und B. SEBREE, 1997: Gushing – a malter's view; *Journal of the American Society of Brewing Chemists*; 55; 3
- NICOLAS, M.E., R.M. GLEADOW und M.J. DALLING, 1984: Effects of Drought and Temperature on Grain Growth in Wheat; *Australian Journal of Plant Physiology*; 11; 553 - 566
- OBERFORSTER, M. und M. WERTEKER, 1998: Aufplatzen der Körner – Unsicherheit im Braugerstenanbau; *Inform. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung und Saatgutproduktion*; 1; 26 - 29
- OEHMICHEN, J., 1986: Pflanzenproduktion - Produktionstechnik; 2; Paul Parey; Berlin
- OEHMICHEN, J., 1989: Chemie für Landwirte; 2. überarbeitete und erweiterte Auflage; Verlag M+H Schaper
- ORTIZ-MONASTERIO, J.I., S.S. DHILLON und R.A. FISCHER, 1994: Date of sowing effects on grain yield and yield components of irrigated spring wheat cultivars and relationships with radiation and temperature in Ludhiana, India; *Field Crops Research*; 37; 169 - 184
- PAPAKOSTA, D.K. und A.A. GAGIANAS, 1991: Nitrogen and dry-matter accumulation, remobilization, and losses for mediterranean wheat during grain filling; *Agronomy Journal*; 83; 5; 864 - 870
- PASSARELLA, V.S., R. SAVIN und G.A. SLAFER, 2005: Breeding effects on sensitivity of barley grain weight and quality to events of high temperature during grain filling; *Euphytica*; 141; 1-2; 41-48
- PAYNTER, B.H. und K.J. YOUNG, 2004: Grain and malting quality in two-row spring barley are influenced by grain filling moisture; *Australian Journal of Agricultural Research*; 55; 5; 539-550

- PEMÖLLER, A., 1969: Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 160 Landau i. d. Pfalz; Geographische Landesaufnahme 1 : 200 000 - Naturräumliche Gliederung Deutschlands, Bundesforschungsanstalt für Landeskunde, Bad Godesberg
- REDDY, S.J., 1993: Agroclimatic / Agrometeorological Techniques as Applicable to Dry-land Agriculture in Developing Countries; Jeevan Charitable Trust; Secundarabad; India
- REYNOLDS, C.A., M. YITAYEW, D.C. SLACK, C.F. HUTCHINSON, A.HUETE, M. PETERSEN, 2000: Estimating crop yields and production by integrating the FAO crop specific water balance model with real-time satellite data and ground based ancillary data; International Journal of Remote Sensing; 21; 18; 3487 – 3508
- RICHTER, W., 2002: Futterkonservierung – Siliermittel, Dosiergeräte, Silofolie -; Herausgegeben von den Nordwestdeutschen Landwirtschaftskammern; Schleswig-Holstein, Weser Ems, Westfalen-Lippe und Rheinland; 6 Ausgabe
- RÖMER, G., 1988: Die phänologischen Phasen bei Hafer, Sommergerste, Winterroggen und Mais und ihre Beziehungen zur Witterung und Ertragsbildung; Dissertation; Technische Universität Berlin; Nr. 191
- RUDORFF, B.F.T. und G.T. BASTIDA, 1990: Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models; Remote Sens. Environment; 33; 183 - 192
- SARLIN, T., A. LAITILA, A. PEKKARINEN und A. HAIKARA, 2005: Effects of three Fusarium species on the quality of barley and malt; Journal of the American Society of Brewing Chemists; 63; 2; 43-49
- SAVIN, R. und M.E. NICOLAS, 1996: Effects of short periods of drought and high temperature on grain growth and starch accumulation of two malting barley cultivars; Australian Journal of Plant Physiology; 23; 2; 201 - 210
- SAVIN, R. und G.A. SLAFER, 1991: Shading effects on the yield of an Argentinian wheat cultivar; Journal of Agricultural Science; Camb.; 116; 1 - 7
- SAVIN, R., P.J. STONE, M.E. NICOLAS und I.F. WARDLAW, 1997a: Grain growth and malting quality of barley. Effects of heat stress and moderately high temperature; Australian Journal of Agricultural Research; 48; 615 - 624
- SAVIN, R., P.J. STONE, M.E. NICOLAS und I.F. WARDLAW, 1997b: Grain growth and malting quality of barley. Effects of temperature regime before heat stress; Australian Journal of Agricultural Research; 48; 615 - 624
- SCHACHTSCHABEL, P., H.-P. BLUME, G. BRÜMMER, K.-H. HARTGE und U. SCHWERTMANN, 1989: Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag, 491

- SCHELLING, K., 2000: Aufbau eines operationellen fernerkundungs- und GIS-gestützten Systems zur Zustandsbeschreibung, Ertrags- und Qualitätsabschätzung von Braugerstenbeständen; Diss. Universität Bonn
- SCHELLING, K., K. BORN, WEISSTEINER, C.J. und W.KÜHBAUCH, 2003: Relationships between yield and quality parameters of malting barley (*Hordeum vulgare L.*) and phenological and meteorological data; Journal of Agronomy and Crop Science; 189; 113 - 122
- SCHNYDER, H. und U. BAUM, 1992: Growth of the grain of wheat (*Triticum aestivum L.*). The relationship between water content and dry matter accumulation; European Journal of Agronomy; 1 - 2; 51 - 57
- SCHRÖDER, M., 1980: Sekundärverlagerung von Stickstoff in der Pflanze. Untersuchungen mit ¹⁵N bei jungen Buschbohnen (*Phaseolus vulgaris L.*) und Gerste (*Hordeum vulgare L.*) in der Kornentwicklungsphase. Diss. Universität Hohenheim
- SCHWARZ, P.B., S. BEATTIE und H.H. CASPER, 1996: Relationship between Fusarium infestation of barley and the gushing potential of malt; Journal of the Institute of Brewing; 102; 3/4
- SCIEN, B.V., 2004: Environmental variables for modeling wheat yields in the southwest pampa region of Argentina; International Journal of Biometeorology; 48; 4; 206 - 212
- SEIFFERT, M., W. PIRATZKI, C. KLITSCH, M. SCHMITT, C. TITTEL, D. LAU, H. KOCH und H. DACHSEL, 1963: Braugerste, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin
- SIMPSON, R.J., H. JAMBERS und M.J. DALLING, 1983: Nitrogen redistribution during grain growth in wheat; V; Development of a quantitative model of the translocation of nitrogen to the grain; Plant Physiology; 71; 7 - 14
- SOFIELD, I., L.T. EVANS und I.F. WARDLAW, 1974: The Effects of Temperature on Grain Filling in Wheat, in: Mechanism of Regulation of Plant Growth; Royal Soc. New Zealand; 909 - 915
- SOFIELD, I., L.T. EVANS, M.G. COOK und I.F. WARDLAW, 1977: Factors Influencing the rate and Duration of Grain filling in Wheat; Australian Journal of Plant Physiology; 4; 785 - 797
- SPIERTZ, J.H.J., 1974: Grain growth and distribution of dry matter in the wheat plant as influenced by temperature, light energy and ear size; Netherland Journal of Agricultural Science; 22; 207 - 220
- SPIERTZ, J.H.J. und J. ELLEN, 1978: Effects of nitrogen on crop development and grain growth of winter wheat in relation to assimilation and utilization of assimilates and nutrients; Netherland Journal Agricultural Science; 26; 210 - 231

- SPIERTZ, J.H.J. und J. VOS, 1985: Grain growth of wheat and its limitation by carbohydrate and nitrogen supply; In: Wheat Growth and Modelling; NATO ASI Series; Plenum Press; London; 129 - 141
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, 1999: Bodennutzungshaupterhebung 1999
- STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ, 1999: Bodennutzungshaupterhebung 1999
- STONE, P.J. und M.E. NICOLAS, 1994: The effects of short periods of high temperature during grain filling on grain yield and quality vary widely between wheat cultivars; Australian Journal of Plant Physiology; 21; 887 - 900
- STONE, P.J. und M.E. NICOLAS, 1995: Effect of timing of heat stress during grain filling on two wheat varieties differing in heat tolerance; I. Grain growth; Australian Journal of Plant Physiology; 22; 945 -954
- SUPIT, I., A.A. HOOLIJER und C.A. VAN DIEPEN, 1994: System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented CGMS; Office for Official Publications of the European Commission (Hrsg.); Luxembourg
- ULONSKA, E., 1959: Die Braugerste. DLG Verlag Frankfurt am Main
- ULONSKA, E., 1982: Braugerstenanbau und Braugerstenzüchtung, jetziger Stand und Entwicklung. Bayerisches landwirtschaftl. Jahrbuch, 59, 515 -535
- WALLWORK, M.A.B., C.F. JENNER und L.C. MacLEOD, 1994: Effects of heat stress on starch accumulation in the endosperm of barley; Proc. of the 44. Cereal Chemistry Conference; Ballarat; Australia; 72 - 75
- WALLWORK, M.A.B., C.F. JENNER, M. SEDGLEY und L.C. MacLEOD, 1995: Heat stress highlights the complex relationship between endosperm structure and malt quality; Proc. Eur. Brew. Conv.; Brussels
- WALLWORK, M.A.B., S.J. LOGUE, L.C. MacLEOD und C.F. JENNER, 1998: Effect of high temperature during grain filling on starch synthesis in the developing barley grain; Australian Journal of Plant Physiology; 25; 173 - 181
- WARDLAW, I.F., 1992: Temperature effects on source-sink relationships: a review; in: Adaption of food crops to temperature and water stress; Proceedings of an international symposium; Taiwan; Kou, C.G. (Hrsg.); 148 - 159
- WARDLAW, I.F., I.A. DAWSON, P. MUNIBI und R. FEWSTER, 1989: The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. 1. Survey procedures and general response patterns; Aust. J. Agric. Res.; 40; 1-13
- WEISSTEINER, C.J., 2003: Einsatz von Fernerkundung und bodengestützten Daten zur regionalen Ertragsvorhersage von Braugerste (*Hordeum vulgare L.*); Diss. Universität Bonn

- WEISSTEINER, C.J. und W. KÜHBAUCH, 2005: Regional Yield Forecasts of Malting Barley (*Hordeum vulgare L.*) by NOAAVHRR Remote Sensing Data and Ancillary Data; Journal of Agronomy and Crop Science; 191, 308 — 320
- WHEELER, T.R., T.D. HONG, R.H. ELLIS, G.R. BATTIS, J.I.L. MORISON und P. HADLEY, 1996: The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticum aestivum L.*) in response to temperature and CO₂; Journal of Experimental Botanic; 47; 298; 623 – 630
- WICKE, H.J. und W. FUCHS, 1982: Einfluß der Stickstoffdüngung auf den Ertrag und die Qualität von Braugerste bei unterschiedlichem N_{an}-Gehalt des Bodens. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkunde, 26; 533 - 539
- WICKIE, H.J. und G. PFEIFER, 1987: Methodische Erfahrungen bei der Erarbeitung von Vorschlägen für den standortgerechten Anbau von Braugerste. Arch. Acker - Pflanzenbau Bodenkunde, 31 (9), 605 - 609
- WICKIE, H.J., G. BERGELT und F. HÄUSSLER, 1986: Acker- und pflanzenbauliche Schwerpunkte der Produktion hochwertiger und ertragreicher Braugerste. Feldwirtschaft, 27, 269 - 271
- WILLIAMS, G.D.V., M.I. JOYNT und P.A. McCORMICK, 1975: Regression analysis of Canadian prairie crop district cereal yields, 1961 – 1972, in relation to weather, soil and trend; Canadian Journal of Soil Science; 55; 43 - 53

Anhang:**Anhangtabellen-Verzeichnis:**

Anhang-Tabelle 1: Regressionsgleichungen zur Herleitung des Beginns der Phänophasen der Sommergerste aus den phänologischen Daten des Hafers	88
Anhang-Tabelle 2: Übersicht über die Phasenkennungen des DWD für die erfassten Entwicklungsstadien der Sommergerste.....	89
Anhang-Tabelle 3: Übersicht über die Eintrittsdaten der Phänologischen Phasen in den untersuchten Landkreisen angegeben in Julianischen Tagen	90
Anhang-Tabelle 4: Übersicht über die Regressionsgleichungen und die Bestimmtheitsmaße zur Trendkorrektur der Ernteertäge der untersuchten Landkreise	91
Anhang-Tabelle 5: Übersicht über die realen und die trendkorrigierten Ernteerträge	92
Anhang-Tabelle 6: Übersicht über die Variablenbezeichnung der einzelnen phänologischen Abschnitte.....	93
Anhang-Tabelle 7: Übersicht der errechneten Werte für die einzelnen Faktorkombinationen für den Landkreis Südliche Weinstraße (1987 – 2002) ...	94
Anhang-Tabelle 8: Übersicht der errechneten Werte für die einzelnen Faktorkombinationen für den Landkreis Germersheim (1987 – 2002)	95
Anhang-Tabelle 9: Übersicht der errechneten Werte für die einzelnen Faktorkombinationen für den Landkreis Tuttlingen (1987 – 2002)	96
Anhang-Tabelle 10: Übersicht der errechneten Werte für die einzelnen Faktorkombinationen für den Landkreis Rottweil (1987 – 2002)	97
Anhang-Tabelle 11: Übersicht der errechneten Werte für die einzelnen Faktorkombinationen für den Landkreis Freudenstadt (1987 – 2002)	98
Anhang-Tabelle 12: Übersicht der errechneten Werte für die einzelnen Faktorkombinationen für den Zollern-Alb-Kreis (1987 – 2002)	99
Anhang-Tabelle 13: Übersicht über die am höchsten mit dem Ertrag korrelierten Faktorkombinationen; Erklärung der Variablen: siehe Anhang-Tabelle 6).....	100

Anhang-Tabelle 1: Regressionsgleichungen zur Herleitung des Beginns der Phänophasen der Sommergerste aus den phänologischen Daten des Hafers

Bestellung Auflaufen Schossen Ährenschieben Gelbreife Ernte	Landkreis Tuttlingen Regressionsgleichung $y = 0,8626x + 17,356$ $y = 0,9302x + 9,5646$ $y = 0,8721x + 20,356$ $y = 0,7859x + 34,694$ $y = 0,7082x + 56,778$ $y = 1,0145x - 17,370$	Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,7547$ $R^2 = 0,9354$ $R^2 = 0,8229$ $R^2 = 0,5013$ $R^2 = 0,5569$ $R^2 = 0,5102$
Bestellung Auflaufen Schossen Ährenschieben Gelbreife Ernte	Zollern-Alb-Kreis Regressionsgleichung $y = 1,0281x + 2,1107$ $y = 1,0565x - 2,4334$ $y = 0,9116x + 12,544$ $y = 0,8786x + 18,286$ $y = 0,6365x + 73,612$ $y = 0,6224x + 80,554$	Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,9706$ $R^2 = 0,9791$ $R^2 = 0,7563$ $R^2 = 0,8984$ $R^2 = 0,8028$ $R^2 = 0,7778$
Bestellung Auflaufen Schossen Ährenschieben Gelbreife Ernte	Landkreis Freudenstadt Regressionsgleichung $y = 0,9909x + 3,2925$ $y = 1,0403x - 2,14930$ $y = 0,7453x + 37,540$ $y = 0,8634x + 19,892$ $y = 0,6242x + 77,565$ $y = 0,4496x + 120,95$	Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,9033$ $R^2 = 0,9572$ $R^2 = 0,5485$ $R^2 = 0,8977$ $R^2 = 0,8661$ $R^2 = 0,6148$
Bestellung Auflaufen Schossen Ährenschieben Gelbreife Ernte	Landkreis Rottweil Regressionsgleichung $y = 1,0163x - 0,8175$ $y = 1,0132x - 1,9687$ $y = 0,9842x + 0,380$ $y = 1,2357x - 48,313$ $y = 0,6689x + 66,201$ $y = 0,7959x + 41,619$	Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,927$ $R^2 = 0,9715$ $R^2 = 0,8654$ $R^2 = 0,8515$ $R^2 = 0,883$ $R^2 = 0,8807$
Bestellung Auflaufen Schossen Ährenschieben Gelbreife Ernte	Landkreis Gernersheim Regressionsgleichung $y = 0,9439x + 4,4933$ $y = 0,9533x + 3,4619$ $y = 0,9959x - 0,1892$ $y = 0,9427x + 3,1629$ $y = 0,829x + 25,4640$ $y = 0,8291x + 26,371$	Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,9788$ $R^2 = 0,9854$ $R^2 = 0,6655$ $R^2 = 0,8391$ $R^2 = 0,8235$ $R^2 = 0,6581$
Bestellung Auflaufen Schossen Ährenschieben Gelbreife Ernte	Landkreis Südliche Weinstraße Regressionsgleichung $y = 0,8306x + 14,590$ $y = 0,9898x + 0,5936$ $y = 0,8801x + 16,909$ $y = 0,5895x + 59,545$ $y = 0,8554x + 21,906$ $y = 1,1173x - 35,365$	Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,7098$ $R^2 = 0,8573$ $R^2 = 0,8578$ $R^2 = 0,6012$ $R^2 = 0,5367$ $R^2 = 0,6323$

Anhang-Tabelle 2: Übersicht über die Phasenkennungen des DWD für die erfassten Entwicklungsstadien der Sommergerste

Phänologische Phase	Phasenkennung
Bestellung	25
Auflaufen	26
Schossen	27
Ährenschieben	28
Gelbreife	82
Ernte	192

Anhang-Tabelle 3: Übersicht über die Eintrittsdaten der Phänologischen Phasen in den untersuchten Landkreisen angegeben in Julianischen Tagen

Jahr	Landkreis Südliche Weinstraße Phasenkenennung				Landkreis Germersheim Phasenkenennung				Landkreis Tuttlingen Phasenkenennung									
	25	26	27	28	82	192	25	26	27	28	82	192	25	26	27	28	82	192
1987	92	105	126	160	211	223	86	102	140	161	197	220	98	113	158	183	227	239
1988	93	104	134	159	200	213	89	103	138	156	194	206	106	119	155	177	217	223
1989	74	88	135	155	185	207	71	82	129	149	182	194	87	103	147	167	217	229
1990	71	84	117	153	191	214	70	81	124	144	182	211	81	97	148	170	215	222
1991	76	96	146	159	194	208	76	88	126	156	189	208	87	100	147	169	210	219
1992	82	96	141	153	195	200	70	86	120	147	183	201	93	109	138	169	210	222
1993	79	93	135	149	196	202	71	82	117	143	180	197	91	108	140	169	207	217
1994	79	90	135	157	202	213	80	93	127	152	181	199	94	110	138	171	198	211
1995	92	110	154	157	191	205	82	97	134	158	189	202	101	113	139	163	199	209
1996	87	104	142	158	199	215	82	98	133	155	194	205	104	114	140	163	210	223
1997	81	99	125	142	187	198	72	88	135	147	195	205	97	102	133	159	207	215
1998	80	98	126	156	198	215	72	85	131	152	182	198	98	113	137	159	207	213
1999	87	102	131	144	214	212	92	104	132	151	188	200	98	108	142	161	214	221
2000	79	99	142	156	196	217	80	93	123	146	174	210	92	110	133	156	209	215
2001	98	119	145	157	192	203	98	119	145	157	192	203	98	112	127	169	220	221
2002	74	86	131	149	194	202	71	83	128	144	194	202	81	101	146	168	198	215
Jahr	Landkreis Rottweil Phasenkenennung				Landkreis Freudenstadt Phasenkenennung				Zollern-Alb-Kreis Phasenkenennung									
	25	26	27	28	82	192	25	26	27	28	82	192	25	26	27	28	82	192
1987	96	111	168	180	229	241	97	112	151	180	221	232	100	113	155	180	219	238
1988	105	116	138	171	220	227	98	112	153	170	217	229	101	115	147	174	215	227
1989	84	102	137	160	215	229	75	98	151	168	221	221	81	96	135	165	212	227
1990	75	93	158	175	219	222	79	97	151	165	211	222	83	98	140	163	212	219
1991	83	101	158	168	214	223	78	100	153	175	214	224	83	103	148	174	212	224
1992	89	103	155	165	210	217	77	97	142	167	210	221	84	104	139	161	210	225
1993	90	101	149	159	215	223	85	107	135	166	208	223	87	106	134	159	202	224
1994	87	114	147	166	211	221	84	110	143	173	208	221	86	101	138	165	208	221
1995	99	114	155	173	212	225	90	111	144	174	211	222	87	109	147	170	212	228
1996	105	117	156	170	216	239	96	111	148	172	217	229	102	116	151	171	214	232
1997	72	93	149	175	215	225	75	95	138	164	209	226	81	102	141	164	213	225
1998	90	114	145	166	211	221	87	105	144	170	212	225	86	104	143	165	208	224
1999	83	107	156	188	215	227	90	107	137	172	213	226	90	105	132	166	210	226
2000	92	109	148	198	217	226	89	103	137	164	212	223	88	101	135	161	207	219
2001	93	119	161	185	217	227	97	119	141	166	214	224	98	119	147	174	212	227
2002	73	95	140	159	199	223	74	94	139	160	202	224	76	96	138	161	202	219

Anhang-Tabelle 4: Übersicht über die Regressionsgleichungen und die Bestimmtheitsmaße zur Trendkorrektur der Ernteerträge der untersuchten Landkreise

	Regressionsgleichung linearer Trendertrag	Bestimmtheitsmaß linearer Trendertrag	Regressionsgleichung logarithmischer Trendertrag	Bestimmtheitsmaß logarithmischer Trendertrag
Landkreis Freudenstadt	$y = 0,6158x - 1183,5$	$R^2 = 0,3853$	$y = 4,6688\ln(x) + 33,404$	$R^2 = 0,4481$
Landkreis Rottweil	$y = 0,6381x - 1225,2$	$R^2 = 0,3346$	$y = 4,7818\ln(x) + 35,965$	$R^2 = 0,371$
Landkreis Tuttlingen	$y = 0,74x - 1429,7$	$R^2 = 0,3369$	$y = 6,25\ln(x) + 31,791$	$R^2 = 0,4611$
Zollern-Alb-Kreis	$y = 0,6388x - 1231,3$	$R^2 = 0,3251$	$y = 4,9446\ln(x) + 31,002$	$R^2 = 0,3757$
Landkreis Südliche Weinstraße	$y = 0,6646x - 1276$	$R^2 = 0,4301$	$y = 5,4929\ln(x) + 36,898$	$R^2 = 0,5347$
Landkreis Germersheim	$y = 0,4897x - 929,37$	$R^2 = 0,3891$	$y = 3,3503\ln(x) + 39,054$	$R^2 = 0,4109$

Anhang-Tabelle 5: Übersicht über die realen und die trendkorrigierten Ernteerträge

Landkreis Freudenstadt				Landkreis Rottweil				Landkreis Gernersheim			
Jahr	Ertrag	Trendkorrigierter Ertrag (linear)	Trendkorrigierter Ertrag (logarithmisch)	Jahr	Ertrag	Trendkorrigierter Ertrag (linear)	Trendkorrigierter Ertrag (logarithmisch)	Jahr	Ertrag	Trendkorrigierter Ertrag (linear)	Trendkorrigierter Ertrag (logarithmisch)
1983	31,2	31,2	31,2	1983	37,4	37,4	37,4	1983	36,4	36,4	36,4
1984	40,1	39,5	36,6	1984	39,7	39,1	36,4	1984	46,3	46,0	43,7
1985	42,2	40,9	36,6	1985	42,7	41,4	37,3	1985	45,5	44,8	41,6
1986	33,9	32,3	28,4	1986	35,7	34,1	30,1	1986	43,4	42,5	38,8
1987	36,2	34,0	29,6	1987	38,1	35,8	31,4	1987	40,5	39,3	35,6
1988	43,9	40,6	35,1	1988	45,6	42,2	36,8	1988	44,4	42,8	38,5
1989	40,0	36,4	31,4	1989	45,9	41,9	36,5	1989	43,3	41,5	37,1
1990	47,1	42,3	36,5	1990	51,8	46,6	40,6	1990	46,4	44,1	39,4
1991	49,7	44,0	38,0	1991	53,8	47,7	41,6	1991	46,9	42,7	38,0
1992	44,7	39,0	33,8	1992	43,4	38,0	33,2	1992	42,1	36,2	30,8
1993	48,1	41,3	36,0	1993	54,2	46,8	41,1	1993	49,6	42,0	35,9
1994	40,6	34,4	30,1	1994	42,5	36,2	31,9	1994	33,1	27,6	23,7
1995	39,8	33,3	29,3	1995	39,7	33,3	29,6	1995	34,9	28,7	24,8
1996	51,2	42,2	37,4	1996	55,0	45,6	40,7	1996	49,5	40,1	34,8
1997	48,3	39,3	35,0	1997	51,2	41,9	37,6	1997	45,4	36,3	31,7
1998	46,1	37,0	33,2	1998	50,8	41,0	37,1	1998	48,1	37,9	33,4
1999	40,1	31,8	28,7	1999	43,1	34,4	31,3	1999	40,5	31,4	27,9
2000	48,0	37,6	34,2	2000	50,8	40,0	36,7	2000	48,0	36,7	32,9
2001	48,4	37,4	34,3	2001	50,2	39,0	36,1	2001	43,1	32,5	29,3
2002	43,5	33,2	30,7	2002	44,8	34,4	32,0	2002	43,9	32,7	29,7
Landkreis Tuttlingen				Landkreis Söulliche Weinstraße				Landkreis Gernersheim			
Jahr	Ertrag	Trendkorrigierter Ertrag (linear)	Trendkorrigierter Ertrag (logarithmisch)	Jahr	Ertrag	Trendkorrigierter Ertrag (linear)	Trendkorrigierter Ertrag (logarithmisch)	Jahr	Ertrag	Trendkorrigierter Ertrag (linear)	Trendkorrigierter Ertrag (logarithmisch)
1983	36	36,0	36,0	1983	34,7	34,7	34,7	1983	36,4	36,4	36,4
1984	34,9	34,2	30,7	1984	47,0	46,3	42,6	1984	46,3	46,0	43,7
1985	38,9	37,4	32,0	1985	47,2	45,7	40,6	1985	45,5	44,8	41,6
1986	31,1	29,4	24,4	1986	43,4	41,4	36,0	1986	43,4	42,5	38,8
1987	34,0	31,5	25,8	1987	40,8	38,4	32,9	1987	40,5	39,3	35,6
1988	44,4	40,4	32,8	1988	44,2	41,0	34,9	1988	44,4	42,8	38,5
1989	45,7	40,9	33,1	1989	42,5	38,8	33,0	1989	43,3	41,5	37,1
1990	50,8	44,7	36,1	1990	49,0	44,1	37,4	1990	46,4	44,1	39,4
1991	53,0	45,8	37,0	1991	51,0	45,3	38,4	1991	45,2	42,7	38,0
1992	49,0	41,6	33,7	1992	51,2	44,8	38,1	1992	51,1	47,9	42,7
1993	53,2	44,5	36,2	1993	49,5	42,7	36,5	1993	46,7	43,5	38,7
1994	41,1	33,8	27,6	1994	46,1	39,3	33,7	1994	42,0	38,8	34,6
1995	39,2	31,7	26,1	1995	43,4	36,5	31,4	1995	43,5	39,9	35,7
1996	52,5	41,8	34,6	1996	56,6	46,9	40,6	1996	53,7	49,0	43,8
1997	50,5	39,6	33,0	1997	52,0	42,6	37,1	1997	49,6	44,9	40,2
1998	52,7	40,7	34,1	1998	56,6	45,7	40,1	1998	49,1	44,2	39,7
1999	43,4	33,0	27,9	1999	56,1	44,7	39,5	1999	51,3	45,9	41,3
2000	49,3	37,0	31,4	2000	51,1	40,2	35,7	2000	46,5	41,3	37,3
2001	43,7	32,3	27,7	2001	46,2	35,9	32,1	2001	39,5	34,8	31,5
2002	50,4	36,7	31,7	2002	46,4	35,7	32,1	2002	37,6	33,0	29,9

Anhang-Tabelle 6: Übersicht über die Variablenbezeichnung der einzelnen phänologischen Abschnitte

Jahresbeginn - Aussaat	Var 1	Summe von maximaler Temp. in °C	Schossen - Ährenschieben	Var 37	Summe von maximaler Temp. in °C
	Var 2	Summe von mittlerer Temp. in °C		Var 38	Summe von mittlerer Temp. in °C
	Var 3	Summe von Niederschlag in mm		Var 39	Summe von Niederschlag in mm
	Var 4	Summe von Etp in mm		Var 40	Summe von Etp in mm
	Var 5	Summe von mittl. rel. Luftf. in %		Var 41	Summe von mittl. rel. Luftf. in %
	Var 6	Summe von Strahlung in Joule / cm ²		Var 42	Summe von Strahlung in Joule / cm ²
	Var 7	Mittelwert von mittl. rel. Luftf. in %		Var 43	Mittelwert von mittl. rel. Luftf. in %
	Var 8	Anzahl von Julianischen Tagen		Var 44	Anzahl von Julianischen Tagen
	Var 9	Mittelwert von Niederschlag in mm		Var 45	Mittelwert von Niederschlag in mm
	Var 10	Mittelwert von mittlerer Temp. in °C		Var 46	Mittelwert von mittlerer Temp. in °C
	Var 11	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ²		Var 47	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ²
	Var 12	Mittelwert von maximaler Temp. in °C		Var 48	Mittelwert von maximaler Temp. in °C
Aussaat - Auflaufen	Var 13	Summe von maximaler Temp. in °C	Ährenschieben - Gelbreife	Var 49	Summe von maximaler Temp. in °C
	Var 14	Summe von mittlerer Temp. in °C		Var 50	Summe von mittlerer Temp. in °C
	Var 15	Summe von Niederschlag in mm		Var 51	Summe von Niederschlag in mm
	Var 16	Summe von Etp in mm		Var 52	Summe von Etp in mm
	Var 17	Summe von mittl. rel. Luftf. in %		Var 53	Summe von mittl. rel. Luftf. in %
	Var 18	Summe von Strahlung in Joule / cm ²		Var 54	Summe von Strahlung in Joule / cm ²
	Var 19	Mittelwert von mittl. rel. Luftf. in %		Var 55	Mittelwert von mittl. rel. Luftf. in %
	Var 20	Anzahl von Julianischen Tagen		Var 56	Anzahl von Julianischen Tagen
	Var 21	Mittelwert von Niederschlag in mm		Var 57	Mittelwert von Niederschlag in mm
	Var 22	Mittelwert von mittlerer Temp. in °C		Var 58	Mittelwert von mittlerer Temp. in °C
	Var 23	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ²		Var 59	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ²
	Var 24	Mittelwert von maximaler Temp. in °C		Var 60	Mittelwert von maximaler Temp. in °C
Auflaufen - Schossen	Var 25	Summe von maximaler Temp. in °C	Gelbreife - Ernte	Var 61	Summe von maximaler Temp. in °C
	Var 26	Summe von mittlerer Temp. in °C		Var 62	Summe von mittlerer Temp. in °C
	Var 27	Summe von Niederschlag in mm		Var 63	Summe von Niederschlag in mm
	Var 28	Summe von Etp in mm		Var 64	Summe von Etp in mm
	Var 29	Summe von mittl. rel. Luftf. in %		Var 65	Summe von mittl. rel. Luftf. in %
	Var 30	Summe von Strahlung in Joule / cm ²		Var 66	Summe von Strahlung in Joule / cm ²
	Var 31	Mittelwert von mittl. rel. Luftf. in %		Var 67	Mittelwert von mittl. rel. Luftf. in %
	Var 32	Anzahl von Julianischen Tagen		Var 68	Anzahl von Julianischen Tagen
	Var 33	Mittelwert von Niederschlag in mm		Var 69	Mittelwert von Niederschlag in mm
	Var 34	Mittelwert von mittlerer Temp. in °C		Var 70	Mittelwert von mittlerer Temp. in °C
	Var 35	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ²		Var 71	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ²
	Var 36	Mittelwert von maximaler Temp. in °C		Var 72	Mittelwert von maximaler Temp. in °C

Anhang-Tabelle 13: Übersicht über die am höchsten mit dem Ertrag korrelierten Faktorkombinationen; Erklärung der Variablen: siehe Anhang-Tabelle 6)

Landkreis Südliche Weinstraße				Landkreis Germersheim			
Variable	R ²	Klimafaktor	Entwicklungsabschnitt	Variable	R ²	Klimafaktor	Entwicklungsabschnitt
VAR 45	0,392	Mittelwert von Niederschlag	Schossen - Ährenschieben	VAR52	0,453	Summe der Evapotranspiration	Ährenschieben - Gelbreife
VAR 69	0,325	Mittelwert von Niederschlag	Gelbreife - Ernte	VAR54	0,380	Summe von Strahlung in Joule / cm ²	Ährenschieben - Gelbreife
VAR63	0,302	Summe von Niederschlag	Gelbreife - Ernte	VAR49	0,315	Summe der maximalen Temperatur	Ährenschieben - Gelbreife
VAR27	0,270	Summe von Niederschlag	Auflaufen - Schossen	VAR50	0,284	Summe der mittleren Temperatur	Ährenschieben - Gelbreife
VAR33	0,217	Mittelwert von Niederschlag	Auflaufen - Schossen	VAR56	0,272	Anzahl von Julianischen Tagen	Ährenschieben - Gelbreife
VAR43	0,212	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchtigkeit	Schossen - Ährenschieben	VAR31	0,158	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchtigkeit	Auflaufen - Schossen
VAR5	0,190	Summe der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit	Jahresbeginn - Aussaat	VAR53	0,139	Summe der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit	Ährenschieben - Gelbreife
VAR7	0,189	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchtigkeit	Jahresbeginn - Aussaat	VAR62	0,131	Summe der mittleren Temperatur	Gelbreife - Ernte
VAR3	0,165	Summe von Niederschlag	Jahresbeginn - Aussaat	VAR61	0,128	Summe der maximalen Temperatur	Gelbreife - Ernte
VAR17	0,164	Summe der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit	Aussaat - Auflaufen	VAR51	0,127	Summe von Niederschlag	Ährenschieben - Gelbreife
VAR18	0,148	Summe von Strahlung in Joule / cm ²	Aussaat - Auflaufen	VAR19	0,116	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchtigkeit	Aussaat - Auflaufen
VAR11	0,112	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ²	Jahresbeginn - Aussaat				
Landkreis Freudenstadt				Landkreis Rottweil			
Variable	R ²	Klimafaktor	Entwicklungsabschnitt	Variable	R ²	Klimafaktor	Entwicklungsabschnitt
VAR41	0,426	Summe der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit	Schossen - Ährenschieben	VAR9	0,299	Mittelwert von Niederschlag	Jahresbeginn - Aussaat
VAR44	0,365	Anzahl von Julianischen Tagen	Schossen - Ährenschieben	VAR3	0,284	Summe von Niederschlag	Jahresbeginn - Aussaat
VAR21	0,347	Mittelwert von Niederschlag	Aussaat - Auflaufen	VAR21	0,280	Mittelwert von Niederschlag	Aussaat - Auflaufen
VAR69	0,247	Mittelwert von Niederschlag	Gelbreife - Ernte	VAR15	0,256	Summe von Niederschlag	Aussaat - Auflaufen
VAR53	0,237	Summe der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit	Ährenschieben - Gelbreife	VAR58	0,198	Mittelwert von mittlerer Temperatur	Ährenschieben - Gelbreife
VAR32	0,232	Anzahl von Julianischen Tagen	Auflaufen - Schossen	VAR19	0,190	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchtigkeit	Aussaat - Auflaufen
VAR30	0,232	Summe von Strahlung in Joule / cm ²	Auflaufen - Schossen	VAR56	0,159	Anzahl von Julianischen Tagen	Ährenschieben - Gelbreife
VAR15	0,225	Summe von Niederschlag	Aussaat - Auflaufen	VAR60	0,157	Mittelwert von maximaler Temperatur	Ährenschieben - Gelbreife
VAR56	0,212	Anzahl von Julianischen Tagen	Ährenschieben - Gelbreife	VAR34	0,146	Mittelwert von mittlerer Temperatur	Auflaufen - Schossen
VAR29	0,208	Summe der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit	Auflaufen - Schossen	VAR70	0,145	Mittelwert von mittlerer Temperatur	Gelbreife - Ernte
VAR38	0,198	Summe der mittleren Temperatur	Schossen - Ährenschieben	VAR17	0,135	Summe der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit	Aussaat - Auflaufen
VAR25	0,188	Summe der maximalen Temperatur	Auflaufen - Schossen	VAR53	0,132	Summe der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit	Ährenschieben - Gelbreife
Landkreis Tuttlingen				Zollern-Alb-Kreis			
Variable	R ²	Klimafaktor	Entwicklungsabschnitt	Variable	R ²	Klimafaktor	Entwicklungsabschnitt
VAR33	0,529	Mittelwert von Niederschlag	Auflaufen - Schossen	VAR47	0,434	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ²	Schossen - Ährenschieben
VAR8	0,420	Anzahl von Julianischen Tagen	Jahresbeginn - Aussaat	VAR39	0,377	Summe von Niederschlag	Schossen - Ährenschieben
VAR5	0,390	Summe der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit	Jahresbeginn - Aussaat	VAR43	0,351	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchtigkeit	Schossen - Ährenschieben
VAR43	0,377	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchtigkeit	Schossen - Ährenschieben	VAR58	0,317	Mittelwert von mittlerer Temperatur	Ährenschieben - Gelbreife
VAR18	0,357	Summe von Strahlung in Joule / cm ²	Aussaat - Auflaufen	VAR4	0,302	Summe der Evapotranspiration	Jahresbeginn - Aussaat
VAR27	0,332	Summe von Niederschlag	Auflaufen - Schossen	VAR48	0,295	Mittelwert von maximaler Temperatur	Schossen - Ährenschieben
VAR16	0,327	Summe der Evapotranspiration	Aussaat - Auflaufen	VAR45	0,280	Mittelwert von Niederschlag	Schossen - Ährenschieben
VAR6	0,294	Summe von Strahlung in Joule / cm ²	Jahresbeginn - Aussaat	VAR60	0,254	Mittelwert von maximaler Temperatur	Ährenschieben - Gelbreife
VAR45	0,286	Mittelwert von Niederschlag	Schossen - Ährenschieben	VAR41	0,240	Summe der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit	Schossen - Ährenschieben
VAR47	0,259	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ²	Schossen - Ährenschieben	VAR33	0,231	Mittelwert von Niederschlag	Auflaufen - Schossen
VAR40	0,250	Summe der Evapotranspiration	Schossen - Ährenschieben	VAR27	0,225	Summe von Niederschlag	Auflaufen - Schossen
VAR3	0,249	Summe von Niederschlag	Jahresbeginn - Aussaat	VAR11	0,192	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ²	Jahresbeginn - Aussaat

Formel 3: Formel zur Berechnung der präzisen und der ökonomischen Ertragsabschätzung des Landkreises Südliche Weinstraße:

35,79073	+	(-0,03644)	x	Summe von maximaler Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	0,03519	x	Summe von mittlerer Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	(-0,03447)	x	Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	4,51064	x	Anzahl von Julianischen Tagen; (Ährenschieben - Gelbreife)

Formel 4: Formel zur Berechnung der frühzeitigen Ertragsabschätzung des Landkreises Südliche Weinstraße:

(-1168,8907)	+	(-0,19556)	x	Summe von maximaler Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	0,24374	x	Summe von mittlerer Temperatur ; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	(-0,07183)	x	Summe von Niederschlag; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	(-0,09582)	x	Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte ; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	8,65491	x	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchte ; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	13,93099	x	Anzahl von Julianischen Tagen; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	5,58154	x	Mittelwert von Niederschlag; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	(-20,35225)	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	16,41608	x	Mittelwert von maximaler Temperatur

Formel 5: Formel zur Berechnung der Abweichung vom linearen Trendertrag des Landkreises Südliche Weinstraße. Der prognostizierte Ertrag setzt sich aus dem Ergebnis dieser Formel und dem linearen Trendertrag zusammen:

2,49263	+	(-0,14581)	x	Mittelwert von Niederschlag; (Gelbreife - Ernte)
---------	---	------------	---	--

Formel 6: Formel zur Berechnung der Abweichung vom logarithmischen Trendertrag des Landkreises Südliche Weinstraße. Der prognostizierte Ertrag setzt sich aus dem Ergebnis dieser Formel und dem logarithmischen Trendertrag zusammen:

$$\begin{aligned}
 6,68993 &+ (-0,00287) \times \text{Summe von Niederschlag; (Jahresbeginn - Aussaat)} \\
 &+ (-0,03131) \times \text{Summe von mittlerer Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)} \\
 &+ 0,00286 \times \text{Summe von Strahlung in Joule / cm}^2; \text{(Ährenschieben - Gelbreife)} \\
 &+ 1,29021 \times \text{Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)} \\
 &+ (-0,11855) \times \text{Mittelwert von Strahlung in Joule / cm}^2; \text{(Ährenschieben - Gelbreife)}
 \end{aligned}$$

Formel 7: Formel zur Berechnung der Ertragsabschätzung basierend auf den zwölf am Höchsten mit den Ertrag korrelierten Einzelfaktoren des Landkreises Südliche Weinstraße:

$$\begin{aligned}
 116,99373 &+ (-0,8974) \times \text{Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Jahresbeginn - Aussaat)} \\
 &+ (-0,14495) \times \text{Mittelwert von Niederschlag; (Gelbreife - Ernte)}
 \end{aligned}$$

Formel 8: Formel zur Berechnung der präzisen Ertragsabschätzung des Landkreises Germersheim:

8,581051	+	0,04396	x	Summe von Etp; (Aussaat - Auflaufen)
	+	(-0,02331)	x	Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Aussaat - Auflaufen)
	+	(-0,24458)	x	Mittelwert von maximaler Temperatur; (Aussaat - Auflaufen)
	+	(-0,00694)	x	Summe von Niederschlag; (Auflaufen - Schossen)
	+	(-0,09552)	x	Mittelwert von maximaler Temperatur; (Auflaufen - Schossen)
	+	0,00036149	x	Summe von Strahlung in Joule / cm ² ; (Ährenschieben - Gelbreife)

Formel 9: Formel zur Berechnung der ökonomischen Ertragsabschätzung des Landkreises Germersheim:

(-74,7748)	+	(-0,01045)	x	Summe von maximaler Temperatur; (Aussaat - Auflaufen)
	+	(-0,09825)	x	Summe von mittlerer Temperatur; (Aussaat - Auflaufen)
	+	9,62893	x	Anzahl von Julianischen Tagen; (Aussaat - Auflaufen)
	+	1,38494	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Aussaat - Auflaufen)

Formel 10: Formel zur Berechnung der frühzeitigen Ertragsabschätzung des Landkreises Germersheim:

(-61,32455)	+	(-0,10788)	x	Summe von maximaler Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	0,09872	x	Summe von mittlerer Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	0,06468	x	Summe von Niederschlag; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	0,15075	x	Summe von Etp; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	0,01676	x	Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	0,00074315	x	Summe von Strahlung in Joule / cm ² ; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	(-5,07141)	x	Mittelwert von Niederschlag; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	(-5,13866)	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	5,50205	x	Mittelwert von maximaler Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)

Formel 11: Formel zur Berechnung der Abweichung vom linearen Trendertrag des Landkreises Germersheim. Der prognostizierte Ertrag setzt sich aus dem Ergebnis dieser Formel und dem linearen Trendertrag zusammen:

(-118,46307)	+	(-0,11866)	x	Summe von maximaler Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	0,10333	x	Summe von mittlerer Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	0,07948	x	Summe von Niederschlag; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	0,16761	x	Summe von Etp; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	0,01918	x	Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	0,00076416	x	Summe von Strahlung in Joule / cm ² ; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	(-6,20337)	x	Mittelwert von Niederschlag; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	(-5,27119)	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	6,05257	x	Mittelwert von maximaler Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)

Formel 12: Formel zur Berechnung der Abweichung vom logarithmischen Trendertrag des Landkreises Germersheim. Der prognostizierte Ertrag setzt sich aus dem Ergebnis dieser Formel und dem logarithmischen Trendertrag zusammen:

(-29,47245)	+	(-0,08641)	x	Summe von maximaler Temperatur; (Aussaat - Auflaufen)
	+	0,06186	x	Summe von Etp; (Aussaat - Auflaufen)
	+	0,12456	x	Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Aussaat - Auflaufen)
	+	(-0,95297)	x	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Aussaat - Auflaufen)
	+	0,1731	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Aussaat - Auflaufen)
	+	0,74496	x	Mittelwert von maximaler Temperatur; (Aussaat - Auflaufen)
	+	0,00293	x	Summe von Niederschlag; (Ährenschieben - Gelbreife)

Formel 13: Formel zur Berechnung der Ertragsabschätzung basierend auf den zwölf am Höchsten mit den Ertrag korrelierten Einzelfaktoren des Landkreises Germersheim:

59,67695	+	0,0227	x	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ² ; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	(-0,39441)	x	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Auflaufen - Schossen)
	+	0,00731	x	Summe von Niederschlag; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	(-0,02131)	x	Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	1,28437	x	Anzahl von Julianischen Tagen; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	-0,00062534	x	Summe von maximaler Temperatur; (Gelbreife - Ernte)

Formel 14: Formel zur Berechnung der präzisen und der frühzeitigen Ertragsabschätzung des Zollern-Alb-Kreis:

162,58033	+	(-0,04388)	x	Summe von Niederschlag; (Schossen - Ährenschieben)
	+	0,20414	x	Summe von Etp; (Schossen - Ährenschieben)
	+	0,2277	x	Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-0,01179)	x	Summe von Strahlung in Joule / cm ² ; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-4,55509)	x	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-0,87939)	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)
	+	0,18982	x	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ² ; (Schossen - Ährenschieben)

Formel 15: Formel zur Berechnung der ökonomischen Ertragsabschätzung des Zollern-Alb-Kreis:

62,41001	+	(-0,00937)	x	Summe von maximaler Temperatur; (Gelbreife - Ernte)
	+	0,07006	x	Summe von Niederschlag; (Gelbreife - Ernte)
	+	(-1,17803)	x	Mittelwert von Niederschlag; (Gelbreife - Ernte)
	+	(-1,47408)	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Gelbreife - Ernte)
	+	1,12064	x	Mittelwert von maximaler Temperatur; (Gelbreife - Ernte)

Formel 16: Formel zur Berechnung der Abweichung vom linearen Trendertrag des Zollern-Alb-Kreis. Der prognostizierte Ertrag setzt sich aus dem Ergebnis dieser Formel und dem linearen Trendertrag zusammen:

148,86137	+	(-0,05136)	x	Summe von Niederschlag; (Schossen - Ährenschieben)
	+	0,24013	x	Summe von Etp; (Schossen - Ährenschieben)
	+	0,26449	x	Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-0,01377)	x	Summe von Strahlung in Joule / cm ² ; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-5,28174)	x	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-1,03197)	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)
	+	0,22088	x	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ² ; (Schossen - Ährenschieben)

Formel 17: Formel zur Berechnung der Abweichung vom logarithmischen Trendertrag des Zollern-Alb-Kreis. Der prognostizierte Ertrag setzt sich aus dem Ergebnis dieser Formel und dem logarithmischen Trendertrag zusammen

131,53188	+	(-0,04719)	x	Summe von Niederschlag; (Schossen - Ährenschieben)
	+	0,21812	x	Summe von Etp; (Schossen - Ährenschieben)
	+	0,24285	x	Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-0,01259)	x	Summe von Strahlung in Joule / cm ² ; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-4,86592)	x	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-0,90794)	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)
	+	0,20266	x	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ² ; (Schossen - Ährenschieben)

**Formel 18: Formel zur Berechnung der Ertragsabschätzung basierend auf den zwölf am Höchsten mit den Ertrag korrelierten Einzelfaktoren des Zol-
lern-Alb-Kreis:**

$$16,21585 + 0,01037 \times \text{Mittelwert von Strahlung in Joule / cm}^2; (\text{Schossen - Ährenschieben})$$

Formel 19: Formel zur Berechnung der präzisen und der frühzeitigen Ertragsabschätzung des Landkreises Freudenstadt:

$$\begin{aligned}
 &75,24562 + 0,61527 \times \text{Summe von maximaler Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)} \\
 &+ (-0,73748) \times \text{Summe von mittlerer Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)} \\
 &+ (-0,16069) \times \text{Summe von Niederschlag; (Schossen - Ährenschieben)} \\
 &+ (-0,06215) \times \text{Summe von Etp; (Schossen - Ährenschieben)} \\
 &+ 0,27087 \times \text{Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Schossen - Ährenschieben)} \\
 &+ (-0,01523) \times \text{Summe von Strahlung in Joule / cm}^2; (\text{Schossen - Ährenschieben}) \\
 &+ (-7,24632) \times \text{Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Schossen - Ährenschieben)} \\
 &+ 3,95776 \times \text{Mittelwert von Niederschlag; (Schossen - Ährenschieben)} \\
 &+ 16,60507 \times \text{Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)} \\
 &+ 0,3938 \times \text{Mittelwert von Strahlung in Joule / cm}^2; (\text{Schossen - Ährenschieben)} \\
 &+ (-13,97321) \times \text{Mittelwert von maximaler Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)}
 \end{aligned}$$

Formel 20: Formel zur Berechnung der ökonomischen Ertragsabschätzung des Landkreises Freudenstadt:

$$48,29033 + (-0,00536) \times \text{Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Schossen - Ährenschieben)}$$

Formel 21: Formel zur Berechnung der Abweichung vom linearen Trendertrag des Landkreises Freudenstadt. Der prognostizierte Ertrag setzt sich aus dem Ergebnis dieser Formel und dem linearen Trendertrag zusammen:

47,43579	+	0,74456	x	Summe von maximaler Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-0,89092)	x	Summe von mittlerer Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-0,18942)	x	Summe von Niederschlag; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-0,07407)	x	Summe von Etp; (Schossen - Ährenschieben)
	+	0,32309	x	Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-0,01844)	x	Summe von Strahlung in Joule / cm ² ; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-8,6765)	x	Mittelwert von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Schossen - Ährenschieben)
	+	4,67682	x	Mittelwert von Niederschlag; (Schossen - Ährenschieben)
	+	20,14837	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)
	+	0,47775	x	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ² ; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-16,9942)	x	Mittelwert von maximaler Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)

Formel 22: Formel zur Berechnung der Abweichung vom logarithmischen Trendertrag des Landkreises Freudenstadt. Der prognostizierte Ertrag setzt sich aus dem Ergebnis dieser Formel und dem logarithmischen Trendertrag zusammen:

(-0,95539)	+	(-0,01085)	x	Summe von Niederschlag; (Schossen - Ährenschieben)
	+	0,29832	x	Mittelwert von Niederschlag; (Schossen - Ährenschieben)

Formel 23: Formel zur Berechnung der Ertragsabschätzung basierend auf den zwölf am Höchsten mit den Ertrag korrelierten Einzelfaktoren des Landkreises Freudenstadt:

47,44395	+	0,00685	x	Summe von Niederschlag; (Aussaat - Auflaufen)
	+	(-0,25521)	x	Mittelwert von Niederschlag; (Aussaat - Auflaufen)
	+	(-0,01353)	x	Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Auflaufen - Schossen)
	+	1,04735	x	Anzahl von Julianischen Tagen; (Auflaufen - Schossen)
	+	0,0043	x	Summe von mittlerer Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)
	+	(-0,81481)	x	Anzahl von Julianischen Tagen; (Schossen - Ährenschieben)

Formel 24: Formel zur Berechnung der präzisen, ökonomischen und der frühzeitigen Ertragsabschätzung des Landkreises Rottweil:

(-562,13728)	+	(-0,16284)	x	Summe von maximaler Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	0,22348	x	Summe von mittlerer Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	(-0,04176)	x	Summe von Niederschlag; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	7,07445	x	Anzahl von Julianischen Tagen; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	3,20475	x	Mittelwert von Niederschlag; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	(-19,57568)	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)
	+	14,19455	x	Mittelwert von maximaler Temperatur; (Jahresbeginn - Aussaat)

Formel 25: Formel zur Berechnung der Abweichung vom linearen Trendertrag des Landkreises Rottweil. Der prognostizierte Ertrag setzt sich aus dem Ergebnis dieser Formel und dem linearen Trendertrag zusammen:

9,17961	+	(-0,36561)	x	Summe von maximaler Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	0,36028	x	Summe von mittlerer Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	0,01206	x	Summe von Strahlung in Joule / cm ² ; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	(-17,14344)	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	(-0,53788)	x	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ² ; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	17,05938	x	Mittelwert von maximaler Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)

Formel 26: Formel zur Berechnung der Abweichung vom logarithmischen Trendertrag des Landkreises Rottweil. Der prognostizierte Ertrag setzt sich aus dem Ergebnis dieser Formel und dem logarithmischen Trendertrag zusammen:

12,73745	+	(-0,38668)	x	Summe von maximaler Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	0,37861	x	Summe von mittlerer Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	0,01291	x	Summe von Strahlung in Joule / cm ² ; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	(-17,91986)	x	Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	(-0,57699)	x	Mittelwert von Strahlung in Joule / cm ² ; (Ährenschieben - Gelbreife)
	+	17,96306	x	Mittelwert von maximaler Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)

Formel 27: Formel zur Berechnung der Ertragsabschätzung basierend auf den zwölf am Höchsten mit den Ertrag korrelierten Einzelfaktoren des Landkreises Rottweil:

$$51,17066 + (-0,00225) \times \text{Summe von Niederschlag; (Jahresbeginn - Aussaat)}$$

$$+ (-0,20355) \times \text{Mittelwert von Niederschlag; (Aussaat - Auflaufen)}$$

Formel 28: Formel zur Berechnung der präzisen und der ökonomischen Ertragsabschätzung des Landkreises Tuttlingen:

$$133,94938 + 0,00952 \times \text{Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Jahresbeginn - Aussaat)}$$

$$+ (-0,92498) \times \text{Anzahl von Julianischen Tagen; (Jahresbeginn - Aussaat)}$$

$$+ 0,01968 \times \text{Summe von maximaler Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)}$$

$$+ (-0,0217) \times \text{Summe von mittlerer Temperatur; (Schossen - Ährenschieben)}$$

$$+ (-0,26016) \times \text{Mittelwert von mittlerer Temperatur; (Ährenschieben - Gelbreife)}$$

$$+ 0,00787 \times \text{Summe von maximaler Temperatur; (Gelbreife - Ernte)}$$

$$+ (-0,02601) \times \text{Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Gelbreife - Ernte)}$$

$$+ (-0,28041) \times \text{Mittelwert von maximaler Temperatur; (Gelbreife - Ernte)}$$

Formel 29: Formel zur Berechnung der frühzeitigen Ertragsabschätzung des Landkreises Tuttlingen:

$$46,58523 + -0,00923 \times \text{Summe von Niederschlag; (Auflaufen - Schossen)}$$

Formel 30: Formel zur Berechnung der Abweichung vom linearen Trendertrag des Landkreises Tuttlingen. Der prognostizierte Ertrag setzt sich aus dem Ergebnis dieser Formel und dem linearen Trendertrag zusammen:

$$\begin{aligned}
 (-6,70779) &+ (-0,01221) \times \text{Summe von Niederschlag; (Auflaufen - Schossen)} \\
 &+ 0,46605 \times \text{Anzahl von Julianischen Tagen; (Auflaufen - Schossen)}
 \end{aligned}$$

Formel 31: Formel zur Berechnung der Abweichung vom logarithmischen Trendertrag des Landkreises Tuttlingen. Der prognostizierte Ertrag setzt sich aus dem Ergebnis dieser Formel und dem logarithmischen Trendertrag zusammen:

$$36,60424 + (-0,46927) \times \text{Anzahl von Julianischen Tagen; (Jahresbeginn - Aussaat)}$$

Formel 32: Formel zur Berechnung der Ertragsabschätzung basierend auf den zwölf am Höchsten mit den Ertrag korrelierten Einzelfaktoren des Landkreises Rottweil:

$$\begin{aligned}
 61,92024 &+ (-0,00259) \times \text{Summe von mittlerer relativer Luftfeuchte; (Jahresbeginn - Aussaat)} \\
 &+ (-0,28159) \times \text{Mittelwert von Niederschlag; (Auflaufen - Schossen)}
 \end{aligned}$$

Danksagung

An erster Stelle richtet sich mein Dank an Herrn Prof. Dr. W. Kühbauch für die Überlassung des Themas, die zahlreichen konstruktiven Anregungen und die wissenschaftliche Betreuung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr. H. Scherer möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates bedanken.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls für allgemeinen Pflanzenbau möchte ich für die angenehme Zusammenarbeit und Hilfsbereitschaft sowie die weiterführenden Diskussionen danken. Den studentischen Hilfskräften danke ich für die tatkräftige Unterstützung bei der Probennahme und –aufbereitung.

Mein Dank gilt besonders den am Projekt beteiligten Kollegen, Frau Dr. Barbara Schilling und Herrn Dr. Christof J. Weissteiner für den fachlichen Austausch und die Unterstützung bei der Entwicklung von Lösungsansätzen.

Ein Dank gilt auch den beteiligten Landwirten, die uns im Projekt in den Untersuchungsregionen Anbauflächen zur Verfügung gestellt haben, auf denen wir unsere Feldproben nehmen konnten.

Susanne Werner möchte ich für geistige und moralische Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit danken, sowie für die Möglichkeit, mich für diese Zeit bei Ihr vom Arbeitsalltag abschotten zu können.

Meinen Eltern und meinem Bruder möchte ich für die allzeitige uneingeschränkte Unterstützung, die stetige Hilfe und das „Einfach-nur-da-sein“ danken.

Dieses Projekt wurde gefördert durch das BMBF bzw. DLR (DLR-50EE0106 - “Yield & Quality”).