Beiträge zur
Bernburger Pflanzenforschung

A. Deubel, D. Orzessek (Hrsg.)

Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzenbestände unter den Bedingungen der Klimaerwärmung

Internationale wissenschaftliche Konferenz
am 18. und 19. Oktober 2012
in Bernburg-Strenzfeld

Hochschule Anhalt | Anhalt University of Applied Sciences
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotrophologie und Landschaftsentwicklung

Prof. Dr. Dr. hc. Dieter Orzessek, Dr. Annette Deubel (Hrsg.):

Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzenbestände unter
den Bedingungen der Klimaerwärmung
Internationale wissenschaftliche Konferenz
am 18. und 19. Oktober 2012 in Bernburg-Strenzfeld

ISBN: 978-3-86011-069-0

© Prof. Dr. Dr. hc. Dieter Orzessek, Dr. Annette Deubel

Hochschule Anhalt
Anhalt University of Applied Sciences
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotrophologie und Landschaftsentwicklung
Strenzfelder Allee 28
D-06406 Bernburg (Saale)
Telefon: +49 3471 355-1100, Fax: +49 3471 355-1199

E-Mail: a.deubel@loel.hs-anhalt.de
Internet: www.loel.hs-anhalt.de

Alle Rechte vorbehalten.

Druck:
WIRmachenDRUCK GmbH 2014
Mühlbachstraße 7
71522 Backnang

Vorwort

Klimatische Veränderungen, insbesondere die Zunahme von Trockenperioden, aber auch Extremwetterereignissen, stellen Landwirte weltweit vor große Herausforderungen. Vor allem im Pflanzenbau sind Anpassungsstrategien an sich ändernde klimatische Verhältnisse erforderlich, um auch künftig eine wachsende Weltbevölkerung mit Nahrungsmitteln und zunehmend auch Energie- und Rohstoffpflanzen zu versorgen.

Im Rahmen des Jubiläumsjahres „800 Jahre Anhalt“ organisierte die Hochschule Anhalt in Bernburg am 18./19. Oktober 2012 gemeinsam mit der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau eine internationale Pflanzenbaukonferenz zum Thema „Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzenbestände unter den Bedingungen der Klimaerwärmung“.

In der Plenarveranstaltung stimmten Beiträge zu erwarteten Szenarien aus dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung sowie zur Reaktion von Kulturpflanzen auf Stress und zu möglichen Anpassungsstrategien die Teilnehmer in die Thematik ein.

Wichtige agronomische Bereiche, in denen Anpassungen möglich und notwendig sind, wurden anschließend in drei parallel stattfindenden Arbeitskreisen diskutiert. Arbeitskreis 1 deckte Fragen zur Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen bei zunehmenden Trockenperioden ab – beginnend mit einer bedarfsgerechten Grundnährstoffversorgung über spezielle Applikationsverfahren, die die Effizienz der Düngung auch in Stressperioden steigern sollen, Precision Farming-Technologien bis hin zur Optimierung der Stickstoffdüngung.

Arbeitskreis 2 beschäftigte sich mit Bodenbearbeitungs- und Aussaatsystemen. Erste Erfahrungen mit der Strip-Tillage-Technologie wurden vorgestellt. Entscheidende Bedeutung für die Stresstoleranz von Beständen haben Fragen der Bodenstruktur und des Humushaushaltes sowie die Anpassung der Anbauverfahren an konkrete Standortbedingungen.

Mit zunehmenden Trockenperioden rücken auch Bewässerungsverfahren stärker in den Focus. Arbeitskreis 3 diskutierte Fragen zur Bewässerungseffizienz in verschiedenen Kulturarten einschließlich einer optimalen Nutzung verschiedener Wasserquellen, moderne Bewässerungsverfahren sowie Möglichkeiten zur Bewässerungssteuerung.

Die Beiträge deckten die gesamte Bandbreite anwendungsorientierter Agrarforschung ab – von Universitäten und Hochschulen aus dem In- und Ausland, staatlichen Einrichtungen und Einrichtungen der Bundesländer, Beratungsinstitutionen, Industrie bis hin zu Landwirten, die über die Umsetzung in der Praxis berichteten.

Den Abschluss bildeten zwei Exkursionen in landwirtschaftliche Betriebe, die die Betriebsgemeinschaft Schackenthal KG und die Agrargenossenschaft e.G. Magdeburg-Nord mit großem Engagement vorbereitet haben.

Prof. Dr. Dr. hc. Dieter Orzessek Dr. Annette Deubel

Inhaltsverzeichnis

Impact of climate change on cereal growth and its yield potential
J. Křen, L. Neudert, P. Hlavinka, P. Martinek, V. Smutný 6

Anpassung an Klimaveränderungen im mitteldeutschen Trockengebiet
D. Orzessek, A. Deubel 22

Nährstoffverteilung im Boden nach langjähriger pflugloser Bodenbearbeitung und ihre Konsequenzen für die P-Düngung im Trockengebiet
W. Zorn, S. Wagner, M. Heubach, H. Schröter 36

Ergebnisse zur N-Düngung mit dem CULTAN-Verfahren auf verschiedenen sächsischen Standorten
E. Albert, W. Schliephake, M. Grunert 45

Agrochemische und biotechnologische Methoden des Sojabohnenanbaus in Weißrussland
V. N. Bosak, T. V. Koloskova, V. V. Bosak 55

Wirkung der Mineralstoffversorgung auf die photosynthetische Aktivität von Apfelblättern unter den Bedingungen der Zentralen Schwarzerderegion Russlands
A. I. Kuzin, Y. W. Trunov, E. M. Tsukanova, N. S. Vyazmikina 59

Role of fertilizers and growth regulators in the improvement of winter wheat resistance to stress and yield
V. Kalenski, S. Kalenska, I. Kachura, L. Gonchar, A. Matvienko 65

Präzisierung der Stickstoffdüngung zu verschiedenen Stadien des Weizens in Abhängigkeit von Standort und Bestandesentwicklung
H. Schönberger, B. Bauer 72

Der Einfluss unterschiedlicher Bodenfeuchten auf gasförmige N-Verluste aus dem Boden nach Gärrestdüngung
F. Herbst, J. Augustin, O. Spott, W. Gans 83

Mit frühjahrsbetonten N-Düngestrategien Erträge und Qualitäten bei Winterweizen trotz Vorsommertrockenheiten sichern
T. Makary, R. Schulz, T. Müller, C. Pekrun 95

Erkenntnisse aus dem Praxiseinsatz von Gülle-Strip-Till in Sachsen-Anhalt
J. Bischoff 102

Energie- und ressourcenschonende Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren in Reihenkulturen
A. N. Zepljaew, M. N. Schaprow, W. A. Zepljaew 109

Klimawandel und seine Konsequenzen – eine Herausforderung für den Gemüsebau
N. Schmidt, J. Zinkernagel 119

Use of various irrigation methods for receiving planned yields of vegetable crops in the arid zone of the south of Russia
E. A. Khodyakov 133

Entwicklung der Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Kulturpflanzenarten vor dem Hintergrund des Klimawandels
F. Böttcher, F. Lilienthal, B. Hage, M. Müller, K. Jäkel 144

Methoden zur operativen Steuerung des Zusatzwassereinsatzes in der Pflanzenproduktion-Stand und zukünftige Herausforderungen
K. O. Wenkel 152

Selbststeuernde Unterflurbewässerung – Vom Tonkrug zum High-Tech-Kunststoffrohr
A. Dührkoop, O. Hensel 165

Autorenregister 183

Eindrücke 185

Impact of climate change on cereal growth and its yield potential

J. KŘEN[1], L. NEUDERT[1], P. HLAVINKA[1], P. MARTINEK[2], V. SMUTNÝ[1]
[1] Department of Agrosystems and Bioclimatology, Faculty of Agronomy, Mendel University Brno, Czech Republic
[2] Agrotest fyto Ltd., Kroměříž, Czech Republic
Contact: kren@mendelu.cz

Abstract

Climate and weather are important factors which influence plant growth and development as well as yield quality and quantity. However, it is very difficult to assess the impact of climate on yield development in field crops, because a series of related positive and negative impacts have to be quantified and these are mutually interactive.

The increase of CO_2 concentration stimulates the intensity of photosynthesis. This is dependent on the growth stage of a plant and other factors (such as temperature, light, water, mineral nutrition), and can increase biological yield and economic profit, that being the fertilization effect of CO_2. The increase of temperature (indirect effect) has a predominantly negative impact on shortening the phenological stages (developmental acceleration), and the total growth period, resulting in decreased yield. With regard to yield formation of field crops, the indirect effects of increased temperature, in combination with precipitations and global radiation, are of crucial importance. These are presented in the form of increased variability in the intensity of climatic factors, such as more frequent torrential rains (leading to soil erosion, leaching of NO_3 ions, crop lodging, etc.), a decline in spring and summer precipitations, negative water balance (drought during the vegetative period), and the occurrence of spring frosts. All these factors affect the terms of crop management practices and result in their decreased efficiency. The increase of these risk factors has a negative impact on the utilisation of yield potential and production quality of field crops. These factors also affected yield variability in recent years. For the prediction of the impact of climate change on the yield of winter wheat and spring barley under Czech conditions the model CERES-wheat and CERES-barley were used. The results showed the negative impacts of climate change on yield formation of cereals grown on the warm South Moravian plains, which are in contrast to the potential yield increase in the colder locations of the Czech-Moravian Highland which enjoy fertile, well-watered soil. As a consequence of the presumed impacts which might be obtained, adaptation possibilities available in breeding and crop management increasing utilisation of cereal yield potential are discussed based on the genotype × environment × management interaction.

Keywords: cereals, climate change, yield potential utilisation, G × E × M interactions, adaptation measures

Introduction

A number of research projects and professional papers have in recent years been focused on the climate change and its impacts on the global and regional levels (Thomas *et al*., 2004; Alcamono *et al.*, 2007; Parry *et al.*, 2007). In crop production, climate and weather are considered as important factors which influence plant growth and development as well as yield quality and quantity. However, it is very difficult to assess the impact of climate on yield development in field crops, because a series of related positive and negative impacts have to be quantified and these are mutually interactive. The negative impacts of climate change on crop production can be reduced by using adaptive measures that ensure the utilisation of the potential yield of field crops under changing conditions (Reynolds, 2010). This contribution is focused on the analysis of climate change effects on cereal grain yield formation and on the possibility of mitigating its negative impact through breeding and crop management.

Impacts of climate change

The main impacts of climate change on crop production are listed in Table. 1.

Table 1: The main impacts of climate change on weather, soil and plants

Changes in	Positive	Negative
Weather	Increase in temperature in colder areas with higher level of moisture.	The increase in temperature combined with precipitation and global radiation cause increase in variability of meteorological elements associated with the occurrence of extreme events (reduction of snow cover, the occurrence of spring frosts, significant periods of drought, heat waves, torrential rains at the expense of drizzle, hails, etc.)
Soil	Increased anaerobic conditions in the topsoil change the dynamics of organic matter transformation in the soil.	Intensive salinisation and alkalinizing processes, crusting, compaction of the soil.
Plants	The increase in CO_2 concentration has a positive effect on the efficiency of photosynthesis and efficient use of water and nutrients (so-called CO_2 fertilization effect).	Higher temperature affects evapotranspiration and phenological development of the crop (sum of effective temperatures), acceleration of develop-ment and shortening the growing season reduce yield. The increase in CO_2 concentration can increase the proportion of carbohydrate components of biomass.

The negative (indirect) effects usually prevail over the positive (direct) ones. That has adverse impacts on the utilisation of yield potential due to increased risk of:

- Availability of water (enlargement of dry areas),
- Water and wind erosion,
- Lodging of cereal stands,
- Leaching of nutrients, especially NO_3 ions,
- Occurrence of pests and diseases,
- Influence of terms of crop management measures.

This has been reflected in increased variability of grain yields in recent years (Figure 1).

Simulation of climate change impact

To assess whether in terms of grain yield positive fertilization effect of CO2 concentration prevail over the negative impact of increased temperatures and changes in other meteorological elements the simulations of yield formation using growth models CERES-Wheat and CERES-Barley was performed. These models were parameterized for the current climate using the results of variety small plot field trials performed by the Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture. Meteorological data was subsequently replaced by the outputs of the GCMs (Global Climate Models), which represent the expected climate. Evaluation methodology was described in detail by Trnka *et al*. (2004ab). Basic scenario parameters used for the evaluation of the employed circulation models are listed in Table 2. Figure 2 presents the simulation results corresponding to the variation of emission SRES-A2 scenario and three GCMs (ECHAM - b, HadCM – c and VCAR - d) for winter wheat and spring barley. The maps show the differences between the yield levels in the period 1961-2000 (map a) and 2050 (maps b, c, d).

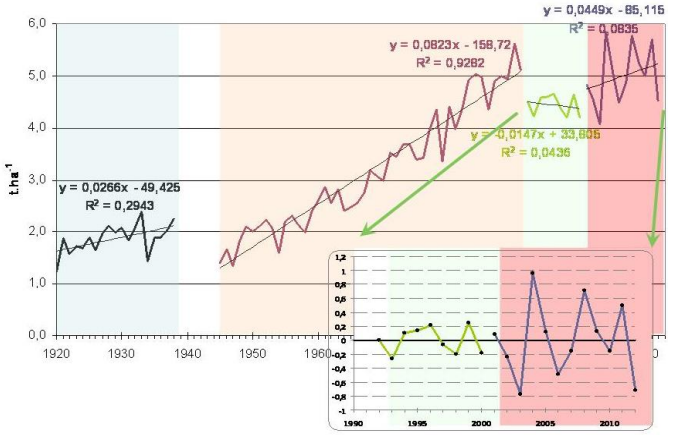


Figure 1: Development of wheat yield (t ha^{-1}) in the Czech Republic

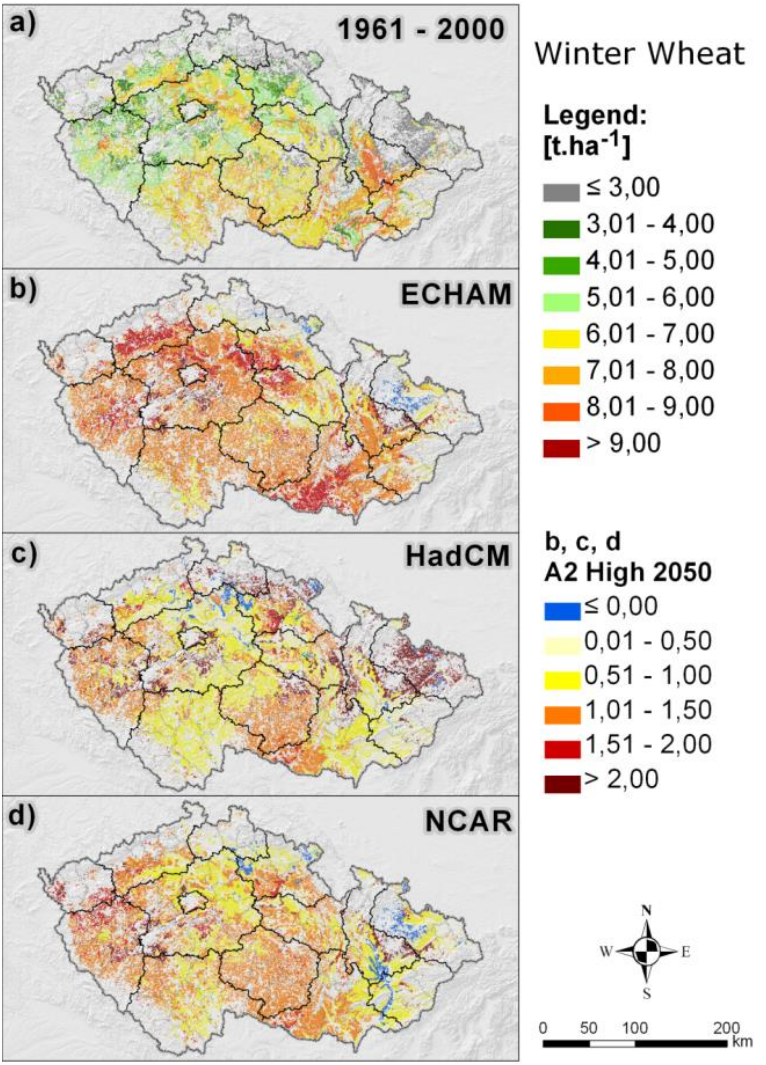
Table 2: Basic parameters used for the evaluation of models CERES-Wheat and CERES-Barley and for yield simulation presented in Figure 2

Characteristic	Source of information
Varieties used	Hana for winter wheat and Akcent for spring barley
Locations	7 stations for testing varieties, representing heterogeneity of soil-climatic conditions of the Czech Republic
Soil database	Comprehensive database - pedological soil survey (394 soil pits)
Climate database	Used for the period 1961-2000 from 125 meteorological stations in the Czech Republic
Database of arable land	Corine Land Cover (CLC2000) 100m- version 8/2005 (EEA,2005)
Emission scenario	SRES A2 (with a more rapid increase in greenhouse gases)
Global circulation models	ECHAM, HadCM and NCAR
Grid vector network	500 × 500 m
CO_2 con. for the initial period	350 ppm
Simulation	Attainable (potential) yield was simulated, excluding the negative impact of diseases and pests.
Software	ArcGIS using polygon layer of soil types

The performed analyses show:

- deficit in the water balance in major agricultural regions with negative consequences in arid areas and some positive effects in wet areas in particular years,
- asymmetric impact of climate change in different regions, negative effect on yield in dry areas and positive one in areas with suboptimal temperatures, sufficient rainfall and fertile soil,
- significant link between the occurrence of drought and variability of yields at the local and national level.

Even if the simulation results obtained were in recent years partly confirmed by the differences of grain yields in agricultural practice (Figure 3), it should be emphasized that the model is a tool to recognize the context but provides a simplified picture of reality. Therefore the knowledge of yield formation processes, yield potential utilisation and adaptation mechanisms is very important.


a)
1961 - 2000
b)
ECHAM
c)
HadCM
d)
NCAR
Winter Wheat
Legend:
[t.ha-1]
≤ 3,00
3,01 - 4,00
4,01 - 5,00
5,01 - 6,00
6,01 - 7,00
7,01 - 8,00
8,01 - 9,00
> 9,00
b, c, d
A2 High 2050
≤ 0,00
0,01 - 0,50
0,51 - 1,00
1,01 - 1,50
1,51 - 2,00
> 2,00
N
W
E
S
0 50 100 200
km

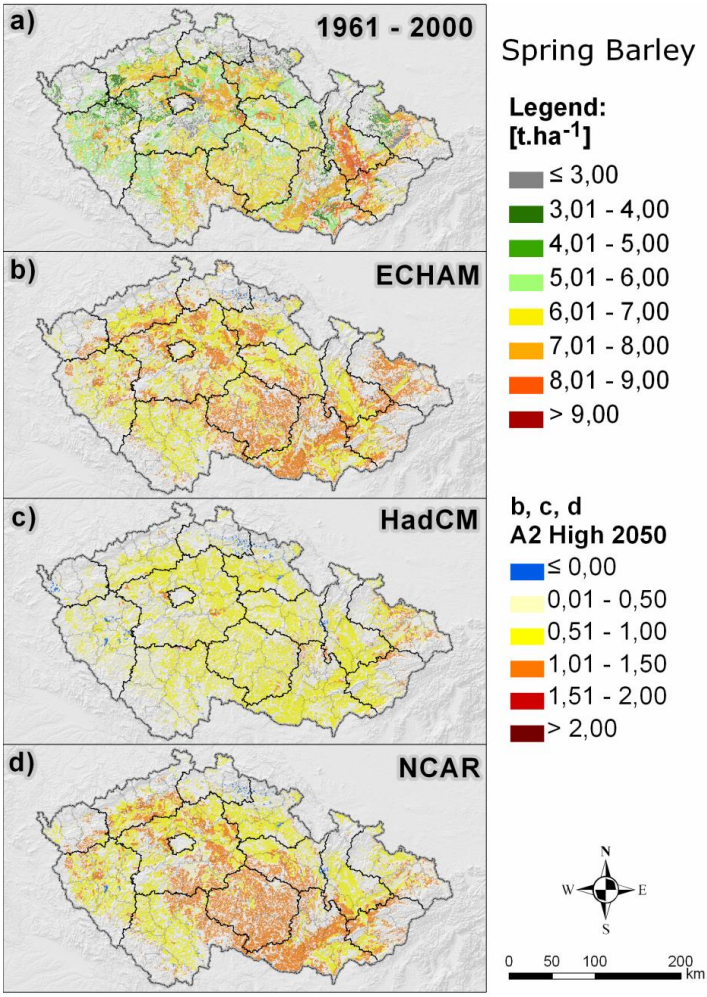


Figure 2: Attainable yield (t ha^{-1}) of winter wheat (left) and spring barley (right) in the Czech Republic for the climatic conditions in 1961-2000 (a) and the difference between this yield level and the simulated yields for 2050 according to the emission SRES-A2 variant and three global circulation models of climate change (ECHAM - b, HadCM - c, VCAR - d). The median of 99 simulation results for grid on arable land is depicted (Žalud *et al.*, 2009).

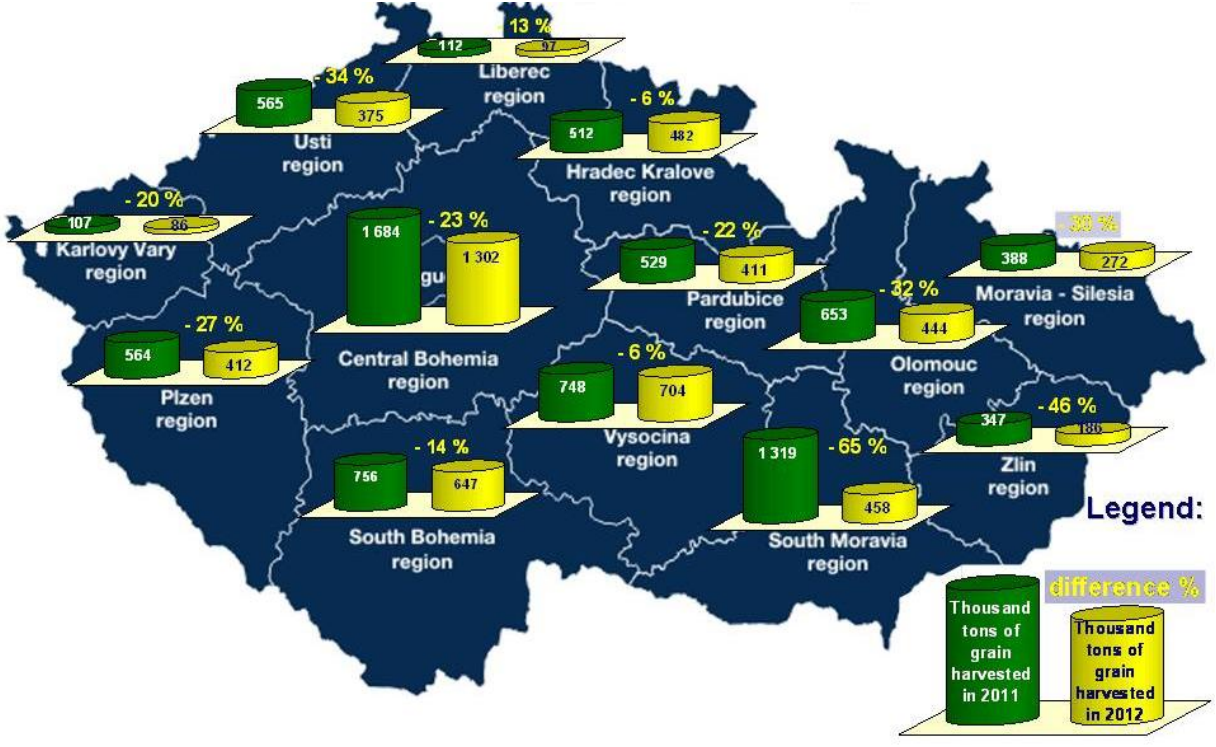


Figure 3: Comparison of cereal production (thousand tons) in individual regions of the Czech Republic (2012 versus 2011)

Fundamental considerations about yield formation

According to Evans and Fisher (1999) yield potential is defined as the yield of a cultivar when grown in environments to which it is adapted, with non-limiting nutrients and water and with pests, diseases, weeds, lodging and other stresses effectively controlled. As such, it is distinguished from potential yield, which is defined as the maximum yield which could be reached by crop in given environments, as determined, for example, by simulation models with plausible physiological and agronomic assumption.

Reynolds *et al.* (2011) proposed a conceptual platform for the synergistic combination of traits as a model for increasing the yield potential (Table 3). Of the listed traits, the following are important for adaptation to climate change:

a) in the source - light interception, canopy photosynthesis, heat tolerance,
b) in the sink - abort weak tillers, floret abortion, roots for resource capture, phenological pattern and lodging.

Table 3: Model of yield potential traits - a conceptual platform for combination of synergistic traits (Reynolds *et al.*, 2010)

SINKS (pre-grain filling):	SINK (grain filling)
• Increase partitioning to developing spike • Reduce floret abortion • Optimize phenological pattern • Lodging resistance	• Partitioning to grain (Rht) • Spike capacity • Abort weak tillers • Adequate roots for resource capture
SOURCE (pre-grain filling):	**SOURCE (grain filling):**
• Light interception • Radiation use efficiency (RUE) • Rubisco • C4 type traits	• Canopy photosynthesis • cellular (e.g. heat tolerance) • Light distribution • N distribution/partitioning • Spike photosynthesis

The use of vegetation and production factors and biological potential of varieties is conditioned by activities of both the breeders and the growers of field crops. The aim of breeders should be to create a variety of high and stable yield and required grain quality. The aim of growers is to utilize such biological potential. Stability of grain yield and quality is achieved by the breeder through homeostasis of a variety and by the grower through ensuring stability of the environment, i.e. the modification of farming practices, and optimization of crop management.

The role of breeding and crop management in utilization of the potential yield can be explained based on the interaction of G × E × M (Fig. 4), where:

- G = variety and its biological potential,
- E = environmental components not influenced or partly influenced by the grower: E_E -soil and climatic conditions of the site, E_W - weather, E_E - prices of inputs and outputs,
- M = environmental components influenced by the grower (crop management as a set of measures used during the growing season and modified according to the requirements of a variety, the site conditions, course of weather, the intensity of farming, the way of production use, the prices of inputs and outputs, etc.)

Optimization of the system (harmonization of all components based on their importance and functions) should be directed to:

- Maximum biological potential of yield and production quality utilisation,
- Maximum profitability of inputs,
- Reduction of the negative impacts of farming on the environment.

In practice it means the choice of the proper crop variety and decision about consecutive crop management measures that should be performed in the right place, at the right time, and at the right intensity.
The roles of individual components of the system in yield creation are shown in Figure 5. The graphic representation shows that the utilized level of the variety yield potential (G) is limited by uncontrollable environmental components (E). Crop management practices (M) should eliminate the negative effects of environmental components by the realization of potential yield, the level of which is in ideal conditions identical with yield potential.

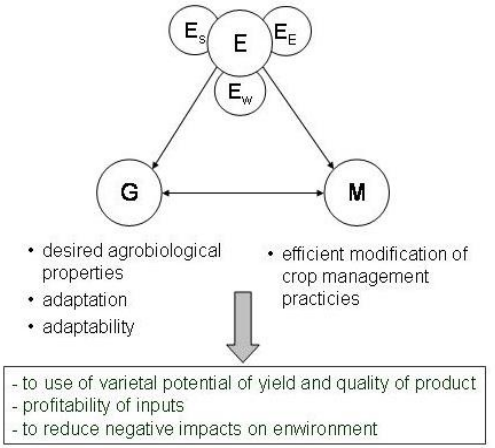


Figure 4: The interaction G × E × M

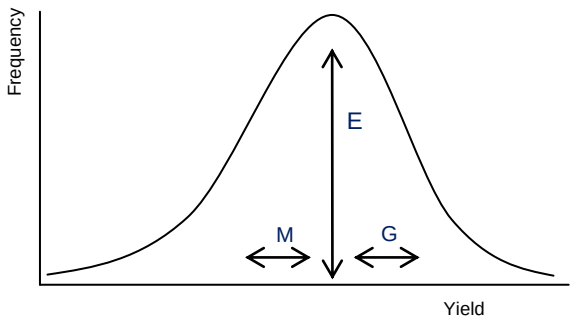


Figure 5: The role of individual components of the interaction G × E × M

Climate change increases the role of environment (E) in this system, i.e. increases the importance of uncontrollable environmental factors and thus the risk of negative effects (damage of crop stands, lower effectiveness of cropping measures). The knowledge of adaptation to the negative impacts of climate change is therefore of great importance.

Adaptability and formation of yield elements

Grasses in general, and thus the cereals own high level of adaptability due to their modular structure (Arber, 1941; White, 1979; Porter, 1983ab). Classic wheat morphotype (Fig. 5) responds to changes of environment (ability of resources) using few (three) levels of branching (hierarchical structures - tillers in tillering node, spikelets in the spike, grains in the spikelets) and grain filling. These metameric organs (Fig. 6) allow plants to respond to environmental changes during their growth and development (Acevedo *et al.*, 2002). Hierarchical organisation of plants (Nicolis *et al.*, 1977) ensures their reproduction even in unfavourable conditions (Miralles and Slafer, 2007), when increase of apical dominance and inter-and intra-plant competition and decrease of crop yield occur. On the other hand, high yield in favourable conditions is associated with the decrease of apical dominance and competition in the stand. Thus, adaptability relies on the formation, growth, and reduction of metameric organs used by plants to respond to environmental changes (Masle-Meynard and Sebillotte, 1981ab; Reynolds *et al.*, 2005). Cereal plants can thus be investigated as developing modular systems and their growth can be described analogously to the processes of population type; and source × sink theory can be used to explain the regulation processes at plant level (Kren *et al.*, 1992; Kren, 2012).

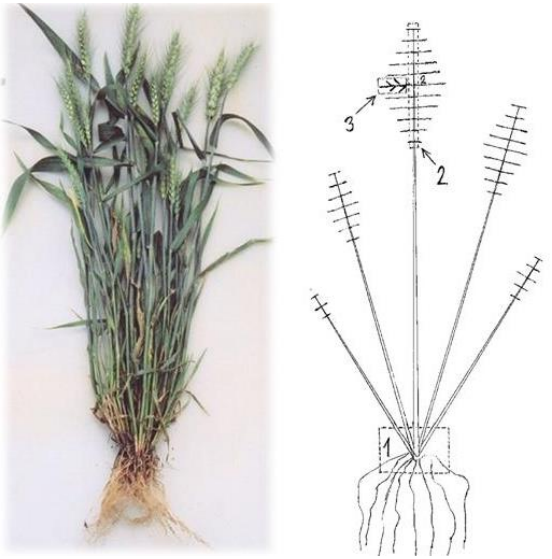


Figure 5: The modular structure of cereal plant (wheat) and its hierarchical organization

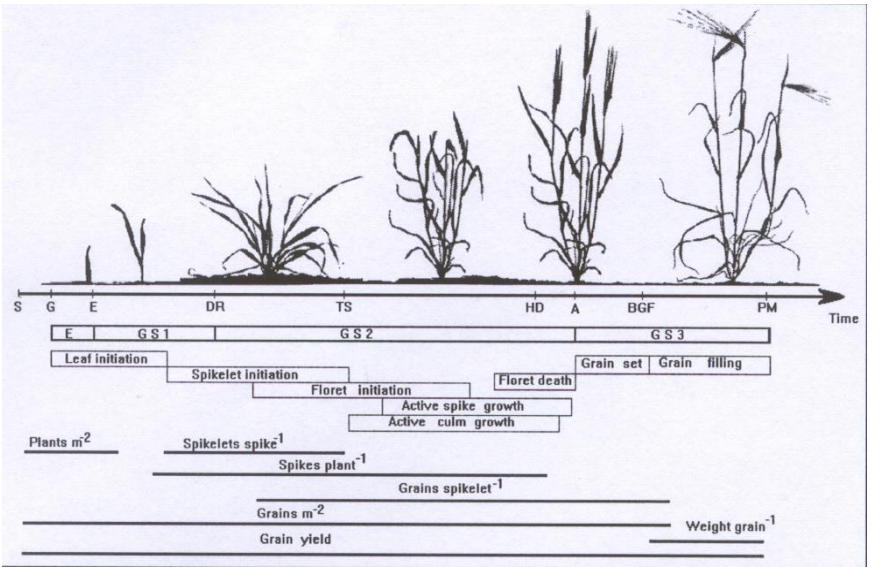


Figure 6: The course of cereal plant growth within the population (Acevedo *et al.*, 2002)

Adaptation possibilities

Basic possibilities of adaptation to the negative impacts of climate change and their mitigation during the grain yield formation are shown in Table. 4.

Table 4: The main issues to be addressed in climate change by utilization of cereal yield potential

Issue	Ways of dealing	
	Breeding	**Crop management**
Drought	Earliness Optimize phenological pattern Large root system	Choice of crop Suitable previous crops Minimum soil tillage Early sowing Nitrogen application
Frosts without snow	Frost resistance	Term of sowing Growth regulators Balanced crop nutrition
Increased frequency of extreme weather	Adaptability Lodging resistance Resistance to diseases and pests	Application of fertlizers, growth regulators and pesticides Timely modification of croping measures

Breeding

Breeding for higher grain yield resulted in changes of plant proportions, stand architecture (stand density increases) and extended duration of the canopy assimilation (Austin *et al.*, 1980). A significant increase in yield potential has been associated with the achievement of a number of physiological and morphological changes in plants. The consequence was a significant increase in grain weight in spike and shortening of straw (increased harvest index value). These improved the resistance to lodging and increased the number of ears per unit area. Since the mid-1990s, the upward trend in yields and production has begun to slow mainly due to environmental and energy limits. The trend in decreasing yield stability and a gradual slowing down or stopping shortening of straw in new varieties has also been observed. Further shortening of the stem is genetically feasible, but currently it is constrained by ecological limits (Foulkes *et al.*, 2011).

It is also becoming apparent that a higher yield can be achieved more easily when formed by a higher proportion of the polysaccharide (starch) components of grains and a lower proportion of the protein component. This is probably related to the amount of metabolic energy that the plant needs for the synthesis of a unit amount of protein and starch, and this difference may enhance the increase in the concentration of CO_2 in the atmosphere in the future (Nátr, 2000).

Cereal varieties should have the following properties that allow adaptation and mitigation of the negative impacts of climate change:

- Lower transpiration coefficient, more powerful and deeper root system or faster growth and earlier ripening,
- Resistance to frost and low temperatures in winter and during regeneration periods,
- Resistance to drought in the tillering-earing stage,
- Lower level of inter- and intra-plant competition,
- Resistance to lodging (stem length is probably ecologically limited),
- Resistance to selected biotic harmful agents,
- Adaptability to climatic extremes (probably negatively correlated with the increase of harvest index and potential yield).

Cereal growers should take the above properties into consideration during decisions making concerning varieties and varieties assortment. It should be noted that varieties performing all these requirements are hard to find, and if they do, unfortunately they usually provide low but stable yields (*universal organism usually shows average performance)***.**

Crop management

Decision making about crop measures is a crucial farming activity. Farmers spend most of the working time with implementation of crop management practices. The basic problem, which has to be solved, is the balance of production factors in space and time, i.e. making them available to the needs of developing crops while controlling crop structure according to their levels. In doing so, growers face a number of agronomic, economic and administrative problems:

- Implementation of crop measures in right agrotechnical terms, according to the needs of stands depending on the weather,
- Achieving good prices of inputs and output,
- Compliance with all accounting and administrative requirements.

From this point of view the crop management practices feature economically implemented agronomic knowledge in mostly uncontrolled environments. Impacts of climate change affect terms and methods of crop management practices and result in their efficiency and in the level of yield potential utilisation.

From the view of the above considerations about the grain yield formation and of the increasing importance of E in the G × E × M system (as a result of climate change), it would be useful to create varietal crop management practices. This is complicated by difficult orientation of growers in numerous registered varieties and in their various properties. On the other hand, it is worth highlighting the stagnation of the rising trend in the potential yield of new varieties in small plot field experiments and in practice (Ahlemeyer und Friend, 2012). Therefore, the concept based on the optimization of all three components of G × E × M interaction, in particular of the links between E × G (choice adaptable varieties) and E × M (cropping measures modified according to the weather), seems to be promising.

Crop management practices should be implemented as a coherent set of optimized cropping measures for specific site conditions and for a certain way of using the produced grain. It is important to:

- Determine the economically efficient intensity of growing dependent on the changing prices of seeds, agrochemicals, agricultural machinery and production.
- Be flexible in diagnosing the state of crop stand and subsequent modification of cropping measures according to weather changes (adaptability).

It should be noted that with the increasing importance of uncontrollable environmental components (E) as a result of climate change high intensification is economically and ecologically risky.

This situation can be solved by the establishing and improving the early warning systems (e.g. agrometeorological monitoring).

Conclusions

We can assume that breeding and growing of field crops always include the endeavour to eliminate the impact of climatic and weather conditions on soil and growth processes.

The utilisation of yield potential of cereal cultivars under the conditions of changing climate requires both the grown cultivars and the growers' activities to be more adaptable.

Successful implementation of this approach in practice requires broad knowledge and experience including the need to solve often opposed biological or agronomic and economic requirements.

Acknowledgements

This study was supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, projects No. QI111A133 and QJ1310055.

References

ACEVEDO, E.; SILVA, P.; SILVA, H., 2002: Wheat growth and physiology. In: Bread wheat improvement and production, Edited by B.C.; Curtis; S. Rajaram; H. G. Macpherson; FAO Plant Production and Protection Series, Roma, http://www.fao.org/docrep/006/Y4011E/y4011e06.htm#TopOfPage.

AHLEMEYER, J.; FRIEDT, W., 2012: Winterweizenerträge in Deutschland stabil auf hohem Niveau. Welchen Einfluss hat der Züchtungsfortschritt? *Getreide Magazin* **6**, 38 –41.

ARBER, A., 1941: The interpretation of leaf and root in the angiosperms. *Biol. Rev*. 16, 81–103.

AUSTIN, R.B.; BINGHAM, J.; BLACKWELL, R.D.; EVANS, L.T.; FORD, M.A; MORGAN, C.L.; TAYLOR, M., 1980: Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci. Camb*. **94**, 675–689.

EVANS, L.T.; FISCHER, R.A., 1999: Yield potential: Its definition, measurement, and significance. *Crop Sci.* **39 (6)**, 1544–1551.

FISCHER, R.A., 2009: Crop Physiology. Eds. Sadras V., Calderini D. Elsevier, 23–54.

FOULKES, M.J.; SLAFER, G.A.; DAVIES, W.J.; BERRY, P.M.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; MARTRE, P.; CALDERINI, D.F.; GRIFFITHS, S.; REYNOLDS, M.P., 2011: Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. *J. Exp. Bot.* **62**, 469–486.

KREN, J.; VAN KEULEN, H.; GRASHOFF, C., 1992: Grain growth in oats: experimentation and modeling. Research report, Centre for Agrobiological Research (CABO-DLO), Wageningen, The Netherlands, 132 pp.

KŘEN, J., 2012: Assessment of cereal stand structure and its changes during the growing season, Review, Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendeleianae Brunensis, LX, 3, 243–249.

MASLE-MEYNARD, J.; SEBILLOTTE, M., 1981a: Etude de l'hétérogénéité d'un peuplement de blé d'hiver. I. Notion de structure du peuplement (Study on the heterogeneity of a winter-wheat stand. 1. Notion of stand structure). *Agronomie* **1** (3), 207–215.

MASLE-MEYNARD, J.; SEBILLOTTE, M., 1981b: Etude de l'hétérogénéité d'un peuplement de blé d'hiver. II. Origine des différentes categories d'individus du peuplement: éléments de description de se structure. (Study on the heterogeneity of a winter-wheat stand. 2. Study on the different sorts of individuals of the stand – factors allowing the description of its structure). *Agronomie* **1** (3), 216–224.

MIRALLES, D.J.; SLAFER, G.A., 2007: Sink limitations to yield in wheat: how could it be reduced? *J. Agric. Sci.* **145** (2), 139–149.

NÁTR, L., 2000: Koncentrace CO_2 a rostliny (CO_2 concentration and plants). ISV publishing house, Praha, 257 pp., ISBN 80-85866-62-5.

NICOLIS, J.S.; PROTONATORIOS, E.N.; VOULODEMOV, I., 1977: Control Markov chain models for biological hierarchies. *J. Theor. Biol.* **68**, 563–581.

OLESEN, J.E.; CARTER, T.R.; DIAZ-AMBRONA, C.H.; FRONZEK, S.; HEIDMANN, T.; HICKLER, T.; HOLT, T.; MINGUEZ, M. I.; MORALES, P.; PALUTIKOF, J.; QUEMADA, M.; RUIZ-RAMOS, M.; RUBAEK, G.; SAU, F.; SMITH, B.; SYKES, M., 2007: Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climatic Change* **81**, 123–143.

PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F; PALUTIKOF, J.P.; VAN DER LINDEN, P.J.; HANSON, C.E. (EDS). 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541–580.

PORTER, J.R., 1983a: A modular approach to analysis of plant growth. I. Theory and principles. *New Phytologist* **94**, 183–190.

PORTER, J.R., 1983b: A modular approach to analysis of plant growth. II. Methods and results. *New Phytologist* **94**, 91–200.

REYNOLDS, M.P.; PELLEGRINESHI, A.; SKOVMAND, B., 2005: Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat. *Annals Appl. Biol.* **146** (1), 39–49.

REYNOLDS, M.P., 2010: Climate change and crop production. CIMMYT, CABI series in climate change; v.1: 258 pp. ISBN 978-1-84593-633-4.

REYNOLDS, M.P.; BONNETT, D.; CHAPMAN, S.C.; FURBANK, R.T.; MANES, Y.; MATER, D.E.; PARRY, M.A.J., 2011: Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies *J. Exp.* **62(2)**, 439-452

THOMAS, C.D.; CAMERON, A.; GREEN, R.E.; BAKKENES, M.; BEAUMONT, L.J.; COLLINGHAM, Y.C.; ERASMUS, B.F.N.; FEREIRA DE SIGUEIRA, M.; GRAINGER, A.; HANNAH, L.; HUGHES, L.; HUNTLEY, B.; VAN JAARSVELD, A.S.; MIDGLEY, G.F.; MILES, L.; ORTEGA-HUERTA, M.A.; TOWN-SEND, PETERSON, A.; PHILLIPS, O.L.; WILLIAMS, S.E., 2004: Extinction risk from climate change. *Nature* **427**, 145–148.

TRNKA, M.; DOBROVSKÝ, M.; SEMERÁDOVÁ, D.; ŽALUD, Z., 2004a: Projection of uncertanities in climate change scenarios into expected winter wheat yields. *Theoretical and Applied Climatology* **77**, 229–249.

TRNKA, M.; DOBROVSKÝ, M.; ŽALUD, Z., 2004b: Climate change impact and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Climate Change* **64**, 227–255.

WHITE, J., 1979: The plant as a metapopulation. *Annual Review of Ecology and Systematics* **10**, 109–145.

ŽALUD, Z. ed., 2009: Climate change and Czech agriculture – impacts and adaptations (in Czech). Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, II, 10, 155 pp.

Anpassung an Klimaveränderungen im mitteldeutschenTrockengebiet

DIETER ORZESSEK, ANNETTE DEUBEL
Hochschule Anhalt, Bernburg (Saale)
Kontakt: a.deubel@loel.hs-anhalt.de

Zusammenfassung

Mit einer Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur um 0,6 °C in einem Zeitraum von 20 Jahren, einer Vorverlegung und Verlängerung der Vegetationsperiode, einer Zunahme heißer Tage und Verschiebung der Niederschlagsverteilung zugunsten der Herbstmonate sind klimatische Veränderungen in Bernburg deutlich nachweisbar. Im Rahmen der angewandten Forschung wurde an der Hochschule Anhalt untersucht, inwieweit eine Anpassung der Saatzeiten oder der N-Düngungsstrategien bei Getreide erforderlich sind. Während die Saatzeiten erheblich ertragsrelevant waren, blieb der Einfluss einer unterschiedlichen zeitlichen Verteilung der N-Düngung am Standort gering. In einem Dauerversuch wurden Langzeiteffekte der in der Praxis immer mehr verbreiteten Mulchsaat gegenüber konventioneller Bodenbearbeitung geprüft. Bei vergleichbarem Ertragsniveau ergaben sich Vorteile im Humusgehalt und biologischer Aktivität. Die Ausbildung von Nährstoffgradienten zeigt jedoch Anpassungsbedarf im Bereich der Grunddüngung.

Klimatische Veränderungen können den Anbau von Fruchtarten mit höherem Wärmeanspruch und besserer Trockentoleranz interessant machen. Gute Ergebnisse wurden beim Anbau von Durum für die Teigwarenindustrie erzielt. Auch Sojabohnen und Körnerhirse zeigten Potenziale für einen regionalen Anbau. Da Winterungen durch längere Vegetationszeit und bessere Nutzung der Winterfeuchte ertragsstärker sind, ist die Einführung von Winterformen bei Fruchtarten, die bisher nur im Sommeranbau etabliert sind, ein wichtiger Beitrag zur Ertragssicherung. Große Fortschritte wurden beim Anbau von Winterdurum erzielt. Winterhafer besitzt dagegen noch nicht die erforderliche Winterfestigkeit. Bei Wintererbsen und Winterackerbohnen war das Ertragsniveau der geprüften Sorten unbefriedigend.

Das Intensitätsniveau im Getreideanbau ist in trockenen Regionen auf das Erreichen hoher Qualitätseigenschaften ausgerichtet. In Zusammenarbeit mit internationalen Kooperationspartnern werden optimale Dünge- und Pflanzenschutzstrategien geprüft.

Einführung

Das mitteldeutsche Trockengebiet erstreckt sich von der Magdeburger Börde über die Querfurter Platte bis in das Thüringer Becken. Typisch für diese Landschaften sind sehr gute Böden mit sehr guten Potenzialen für hohe Qualitäten bei pflanzlichen Produkten, aber auch geringe Jahresniederschläge um 500 mm und darunter. Durch Trockenperioden oft bereits im Frühjahr und fast regelmäßig im Vorsommer entstehen erhebliche Ertragsschwankungen. Der Standort Bernburg ist charakteristisch für das mitteldeutsche Trockengebiet. Als Besonderheiten ist die Lage im Regenschatten des Harzes zu nennen sowie hohe pH-Werte der Böden, die in Verbindung mit Trockenperioden die Aufnahme von Phosphor und Mikronährstoffen erschweren. Mit einer Masterarbeit von Böttcher (2012) wurden die klimatischen Veränderungen in den letzten 30 Jahren untersucht (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Veränderung ausgewählter Klimaparameter zwischen den Messperioden 1961-1990 und 1981-2010 am Standort Bernburg (Böttcher, 2012)

Kennziffer	1961-1990	1981-2010	Differenz
Jahresmitteltemperatur	9,1 °C	9,7 °C	+ 0,6 °C
Jahresniederschläge	464 mm	511 mm	+47 mm
Beginn der thermischen Vegetationsperiode	15.03.	09.03.	-6 Tage
Dauer der thermischen Vegetationsperiode	244 Tage	254 Tage	+10 Tage
Sommertage	35 Tage	45 Tage	+10 Tage
Heiße Tage	6 Tage	10 Tage	+ 4 Tage

	Winter Dez.-Feb.	Frühjahr März-Mai	Sommer Juni-Aug.	Herbst Sept.-Nov.
Temperaturanstieg (°C)	0,6	0,9	1,1	0,2
Zunahme der Niederschläge (mm)	10,6	9,9	4,2	22,1

Die Jahresdurchschnittstemperatur erhöhte sich innerhalb von 20 Jahren um 0,6 °C, wobei die Temperatur der Hauptvegetationszeit überdurchschnittlich stieg. Die Niederschlagsmenge stieg dagegen hauptsächlich im Herbst. Es wurde ein zeitigerer Vegetationsbeginn im Frühjahr festgestellt. Die Vegetationszeit verlängerte sich um 10 Tage. Gleichzeitig erhöhte sich aber auch die Anzahl der Sommertage sowie der heißen Tage, was eine Zunahme von Stressbedingungen für Pflanzenbestände bedeutet. Diese sehr spürbare Klimaveränderung erfordert Anpassungsmaßnahmen im Pflanzenbau, wobei die Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzenbestände im Rahmen der Bestandesführung eine herausragende Rolle spielen.

Die Jahreswitterung hat einen enormen Einfluss auf die Ertragsfähigkeit der Kulturen. So schwankte der Wintergerstenertrag bei gleicher Bestandesführung zwischen 2005 und 2008 zwischen 49 und 103 dt/ha, der Winterroggenertrag zwischen 67 und 107 dt/ha, der Ertrag von Wintertriticale zwischen 55 und 123 dt/ha. Feldversuche müssen daher stets über mindestens drei Jahre fortgeführt werden, um verlässliche Aussagen treffen zu können.

Material und Methoden

Standort und Bodenbedingungen

Bernburg liegt am Südrand der Magdeburger Börde im Regenschatten des Harzes, ca. 80 m über NN. Der Boden ist als Löss-Schwarzerde (schluffiger Lehm) klassifiziert mit einer Bodenwertzahl von 86-100 und verfügt über eine nutzbare Feldkapazität von 220 mm in 1 m Tiefe, einen Humusgehalt der Krume von 2,5-3,0 % und einen pH-Wert von 7,5.

Anpassung von Aussaatzeiten und Aussaatmengen bei Getreide in Verbindung mit N-Düngungsstrategien

Der Einfluss der Saatzeit in Kombination mit unterschiedlichen N-Düngungsstrategien wurde in einem dreifaktoriellen Versuch in den Winterweizensorten Brilliant und Tommi geprüft. Die Aussaat erfolgte als Frühsaat Mitte September, Normalsaat Mitte Oktober bzw. Spätsaat Mitte November. Die N-Düngung wurde in drei Gaben appliziert mit Betonung der 1. Gabe zu Vegetationsbeginn bzw. mit Betonung der zweiten Gabe zum Schossen.
In der dritten Variante wurden erste und zweite Gabe mit einer ammonium-stabilisierten Düngung (Alzon®46) zusammengefasst. Alle Varianten wurden in vier Wiederholungen angelegt.
Ein vergleichbarer Versuch wurde mit den Winterdurumsorten Auradur, Wintergold sowie drei Zuchtstämmen durchgeführt. Die Aussaatmenge betrug in der Frühsaat (Mitte September) 300, in der Normalsaat (Mitte Oktober) 400 und in der Spätsaat (Mitte November) 450 Körner / m^2. Neben einer dreigeteilten Standardvariante wurden auch hier eine schosserbetonte N-Düngung sowie eine stabilisierte N-Düngung geprüft.

Einsatz wassersparender Methoden der Bodenbearbeitung

Seit 1992 existiert ein großflächiger Dauerversuch zu konservierender Bodenbearbeitung. Fünf Fruchtfolgeglieder (Körnermais – Winterweizen – Wintergerste – Winterraps – Winterweizen) werden auf je 1,2 ha großen Parzellen nacheinander, aber auch jährlich parallel nebeneinander angebaut. Eine Hälfte jeder Großparzelle wird gepflügt (18–30 cm), die andere konservierend bearbeitet (Grubber, 12–15 cm). Alle Koppelprodukte verbleiben auf dem Feld.

Die Bestandsführung erfolgt innerhalb der Bodenbearbeitungsvarianten in zwei Intensitätsstufen: intensiv (ortsübliche, auf hohe Erträge und Qualitäten ausgerichtete N-Düngung und bedarfsgerechter Pflanzenschutz) und extensiv (um 50 % reduzierte N-Düngung, Verzicht auf Fungizide). Grunddüngung sowie Einsatz von Herbiziden und Insektiziden erfolgen unabhängig von der Intensitätsstufe nach Bedarf. Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen sind stets in beiden Bearbeitungs-varianten gleich. Neben den Erträgen wurde der Einfluss der Bodenbearbeitung auf physikalische, chemische und biologische Bodeneigenschaften geprüft.

Prüfung von Produktionsverfahren für Arten mit höherem Wärmeanspruch und besserer Trockentoleranz

In Zusammenarbeit mit der Erzeugergemeinschaft „Qualitätshartweizen Vorharz“ wurden Versuche zum Durumanbau durchgeführt. Dabei geht es zum einen um die Eignung verschiedener in Deutschland oder der EU zugelassener Sorten sowie noch in der Prüfung befindlicher Zuchtstämme für die hiesigen klimatischen Bedingungen. Gleichzeitig wurden aber auch verschiedene Aussaatzeiten und N-Düngungsvarianten geprüft. Schwerpunkt ist neben Ertragsstabilität das Erreichen der notwendigen Qualitätsstandards für die Produktion hochwertiger Teigwaren. Dreijährige Ergebnisse wurden dazu in einer Masterarbeit von Fischer und Döhler (2011) ausgewertet.

Seit 2009 wird der Anbau von Sojabohnen unter den mitteldeutschen Boden- und Klimabedingungen geprüft. Schwerpunkt ist die Selektion für die hiesigen klimatischen Verhältnisse geeigneter Sorten, die Ertragsstabilität, eine gute Beerntbarkeit und ausreichend hohe Proteingehalte versprechen. Seit 2012 beteiligt sich die Hochschule Anhalt daher an den Landessortenprüfungen für Soja. Ziel ist, auch in solch einem nördlichen Anbaugebiet Proteingehalte und -qualitäten zu erzeugen, die eine Vermarktung in der Lebensmittelindustrie ermöglichen. Daher wurde auch geprüft, ob sich durch eine Start-N-Gabe zur Saat mit 40 kg N/ha (Förderung der Jugendentwicklung), eine N-Düngung zur Blüte mit 40 kg N/ha (Unterstützung der Kornfüllungsphase) oder auch verschiedene Beimpfungsvarianten positive Effekte erzielen lassen.

Feldversuche laufen auch zum Anbau von Körnerhirse. Auch hier wurden verschiedene Sorten und Zuchtsstämme verglichen. Die Höhe der N-Düngung wurde von 50-150 kg N/ha variiert.

Verstärkter Einsatz von Winterformen zur besseren Ausnutzung der Winterfeuchtigkeit

Die oben beschriebenen Versuche zum Durumanbau beinhalten sowohl klassische Sommersorten, als auch frostresistente Sorten und Zuchtstämme, die für den Winteranbau geeignet sind.
Auch der Anbau von Winterhafer wurde am Standort getestet.
Die Etablierung von Wintersorten könnte auch beim Anbau von Körnerleguminosen Ertragshöhe und Stabilität verbessern. Daher wurden im Versuchsjahr 2011/12 erstmalig Wintererbsen (James und RLH 07070) sowie Winterackerbohnen (Hiverna) im Vergleich zu Sommererbsen (Rocket) angebaut. Die Aussaat der Winterungen erfolgte am 30.9.2011, die der Sommererbse am 7.3.2012. Analog zur Sojabohne wurden die Effekte einer Rhizobien-Beimpfung sowie die einer N-Gabe von 40 kg/ha zu Vegetationsbeginn oder zur Blüte geprüft

Sicherung eines optimalen Intensitätsniveaus bei Getreide

Über gemeinsame Versuche mit der Nationalen Universität für Umwelt- und Lebenswissenschaften Kiew sowie der Mendel-Universität Brno wurden Untersuchungen zur Optimierung des Intensitätsniveaus zu Weizen geführt.
Im deutsch-ukrainischen Weizenanbauversuch wurden die Sorten JB Asano, Genius, Artemida und Stolichna verglichen. Die Aussaat erfolgte mit 300 Körnern/m^2 Ende September-Anfang Oktober. Es wurden zwei N-Düngungsvarianten (60+80+60 kg N/ha zu Vegetationsbeginn, BBCH 31/32, BBCH 39-49 und reduziert auf 60+50 kg N/ha zu Vegetationsbeginn und BBCH 31/32) verglichen.
Im deutsch-tschechischen Weizenversuch wurden Paroli und die tschechischen Sorten Federer, Jindira, Seladon und Bohemia angebaut. Die Aussaat erfolgte mit 300 Körnern/m^2 Anfang-Mitte Oktober. Zwei N-Düngungsvarianten (60+60+40 kg N/ha und 80+60 kg N/ha sowie einmalige und zweimalige Fungizidbehandlung wurden geprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Einfluss von Aussaatzeiten und Aussaatmengen bei Getreide in Verbindung mit N-Düngungsstrategien.

Die Aussaatzeiten hatten erheblichen Einfluss auf die Erträge (Abb. 1+2). Beim Winterweizen lag die Spätsaat ca. 20 dt unter dem Ertrag von Normal- und Frühsaat. Im Winterdurum fielen die Mindererträge bei Spätsaat geringer aus. Allerdings sind zum Ausgleich der fehlenden Zeit für die Bestockung deutlich höhere Saatmengen erforderlich. Frühsaaten können insbesondere bei Winterdurum das Auswinterungsrisiko erhöhen und sind hier nicht zu empfehlen.
Die Wirkung unterschiedlicher N-Düngestrategien war dagegen begrenzt.

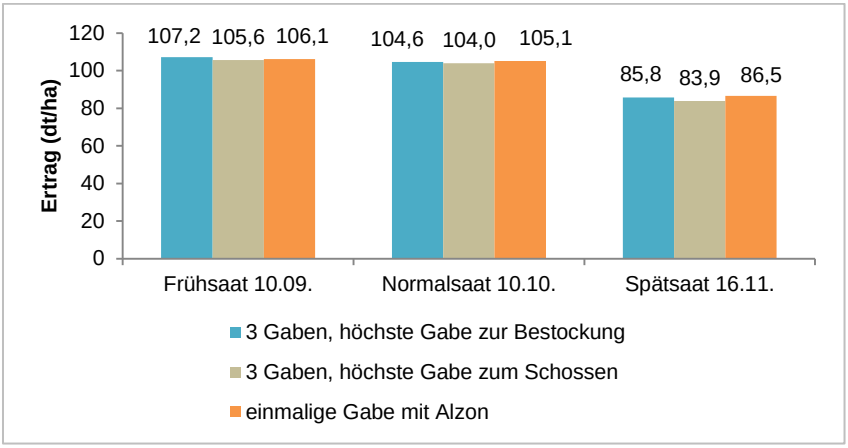


Abb. 1: Einfluss von Aussaatzeiten und N-Düngungsstrategien auf den Ertrag von Winterweizen (Mittel von zwei Sorten, Vorfrucht Hafer)

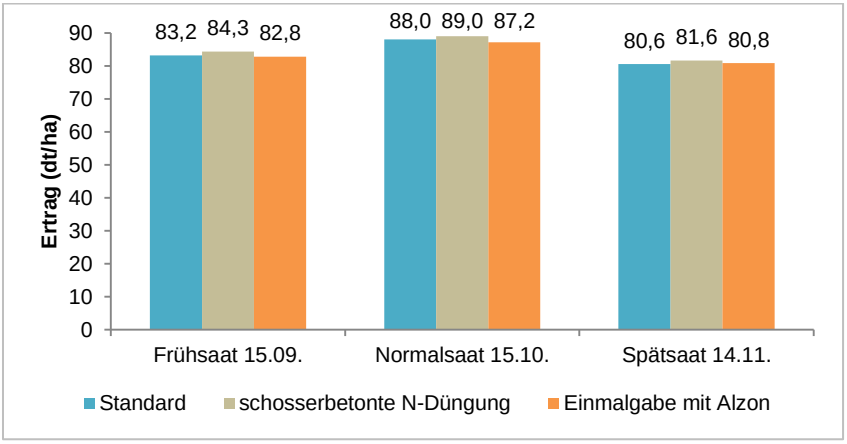


Abb. 2: Einfluss von Aussaatzeiten und N-Düngungsstrategien auf den Ertrag von Winterdurum (Mittel aller Sorten 2009/2010)

Einsatz wassersparender Methoden der Bodenbearbeitung

In der Praxis haben pfluglose Bodenbearbeitungssysteme erheblich an Bedeutung gewonnen, in erster Linie um Energie und Arbeitszeit zu sparen, aber auch um Böden vor Erosion und unproduktiver Wasserverdunstung zu schützen.
Im Dauerversuch waren die Erträge mit Pflug und Mulchsaat im langjährigen Mittel vergleichbar. Allerdings entstanden durch langjährigen Verzicht auf wendende Bearbeitung erhebliche Tiefengradient im K-, aber auch P-Gehalt (Tab. 3, Deubel

et al. 2011). Das Verfahren der Unterfußdüngung wird unter diesen Bedingungen an Bedeutung gewinnen (Deubel und Orzessek 2011).

Tab. 3: Gradientenbildung unter konservierender Bodenbearbeitung
(Relativwerte 0-15 cm und 15-30 cm im Verhältnis zum Mittel beider Schichten)

	Bodentiefe cm	CAL-P %	CAL-K %	TOC %
5 Jahre konservierende Bearbeitung	0-15	104,6	132,9	106,7
	15-30	95,4	67,1	93,3
16 Jahre konservierende Bearbeitung	0-15	107,8	139,1	111,7
	15-30	92,2	60,9	88,3
LSD (P≤0.05) Dauer kons. Bearbeitung		3,9	5,8	2,8
LSD (P≤0.05) Bodentiefe		8,5	23,2	3,8

Bei Bodenfeuchtemessungen fiel vor allem eine veränderte Verteilung des Bodenwassers im Tiefenprofil auf. Bedingt durch eine höhere Lagerungsdichte der Krume wurde bei konservierender Bodenbearbeitung mehr Wasser im Krumenbereich gehalten, was in Trockenperioden vorteilhaft für die Pflanzenbestände sein kann. Differenzen in der Wassernutzungseffizienz waren dagegen gering (Deubel und Orzessek 2012).
Ein positiver Effekt des Pflugverzichtes war eine Erhöhung des Humusgehaltes in der obersten Bodenschicht verbunden mit einer höheren mikrobiellen Biomasse. Auch Regenwürmer finden günstigere Bedingungen, auch wenn Differenzen in Abhängigkeit von der Jahreswitterung in Zusammenhang mit der jeweils angebauten Fruchtart größer waren als der Einfluss der Bodenbearbeitung (Abb. 3).

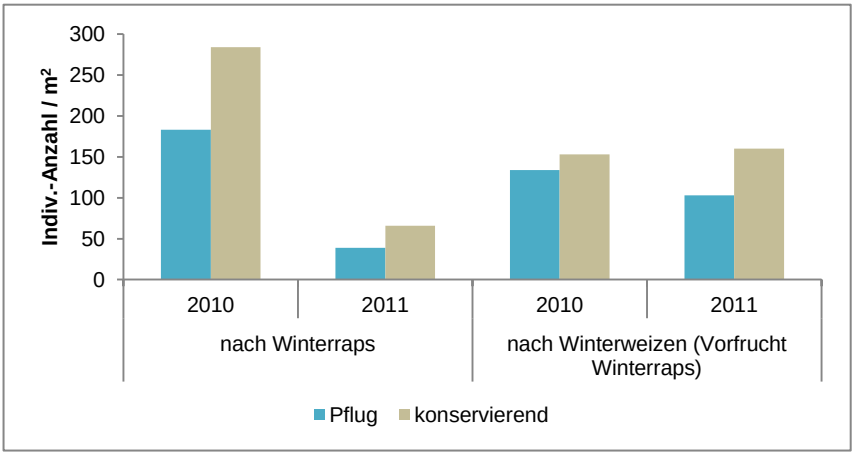


Abb. 3: Einfluss der Bodenbearbeitung auf das Vorkommen von Regenwürmern

Produktionsverfahren für Arten mit höherem Wärmeanspruch und besserer Trockentoleranz

Bei einer fortschreitenden Klimaerwärmung verbunden mit zunehmenden Trockenperioden können Fruchtarten interessant werden, die einen höheren Wärmeanspruch und eine bessere Trockentoleranz aufweisen. Seit einigen Jahren hat sich im mitteldeutschen Raum der Anbau von Hartweizen etabliert. Etwa die Hälfte der deutschen Durumanbauflächen liegt im Bereich der Magdeburger Börde. Im Mittel der Versuchsjahre wurden durchaus gute Erträge erzielt (Abb. 4).

Eine hohe Rentabilität hat Durum jedoch nur, wenn die hohen Qualitätsansprüche der Verarbeiter erfüllt werden. Hier ist eine züchterische Verbesserung der Stabilität wichtiger Qualitätsparameter wie Fallzahl und Glasigkeit wünschenswert. Versuche zur Optimierung der N-Düngung und zu Fungizidstrategien sollen zu einer Optimierung der Anbauverfahren beitragen.

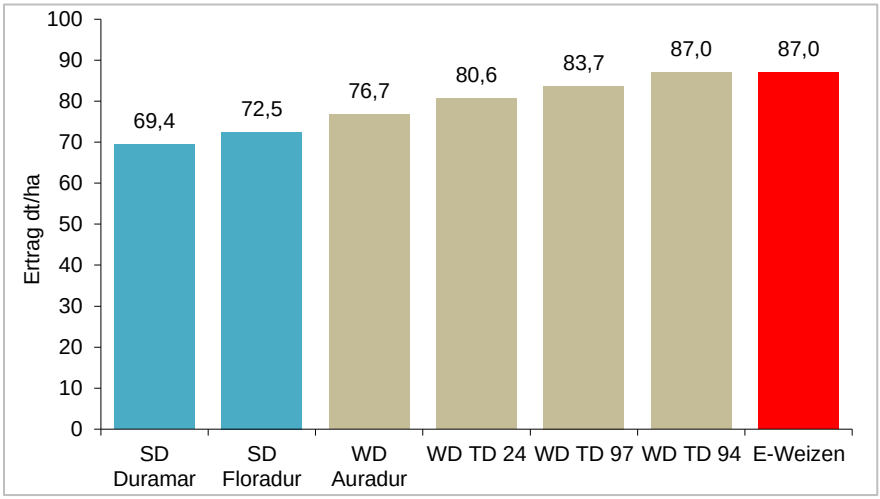


Abb. 4: Durumerträge am Versuchsstandort Bernburg bei ausgewählten Sorten (Mittel 2009-2011)

Auch die Sojabohne könnte für die Region interessant werden. Vor allem für die Lebensmittelindustrie sind garantiert gentechnikfreie Partien aus heimischem Anbau gefragt. Zudem wäre Soja als Leguminose eine echte Bereicherung für die in Marktfruchtbetrieben üblichen getreidebetonten Fruchtfolgen. Bisher beschränkt sich der Anbau weitgehend auf klimatisch begünstigte Gebiete in Südwestdeutschland. Einige Sorten sind aber auch im mitteldeutschen Raum in der Lage, respektable Erträge zu erzielen (Abb. 5). Hinsichtlich Sorteneignung und Optimierung der Anbauverfahren für die konkreten Standortbedingungen sind jedoch noch viele Fragen offen.

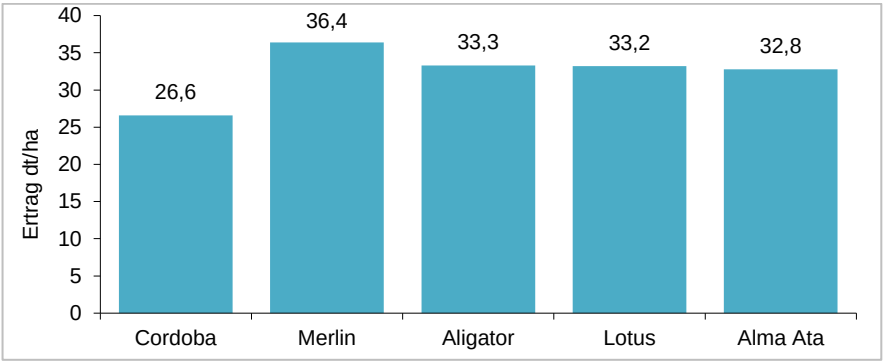


Abb. 5: Sojabohnenerträge in Bernburg 2011

Körnerhirse ist insbesondere durch ihre hohe Trockentoleranz und Spätsaatverträglichkeit interessant. Längst nicht alle geprüften Sorten und Zuchtstämme erwiesen sich für den Anbau unter hiesigen Klimabedingungen als geeignet (Abb. 6). Einige reiften viel zu spät ab. Die besten Varianten erzielten jedoch Erträge nahe 90 dt, was das Potenzial dieser Fruchtart zeigt.

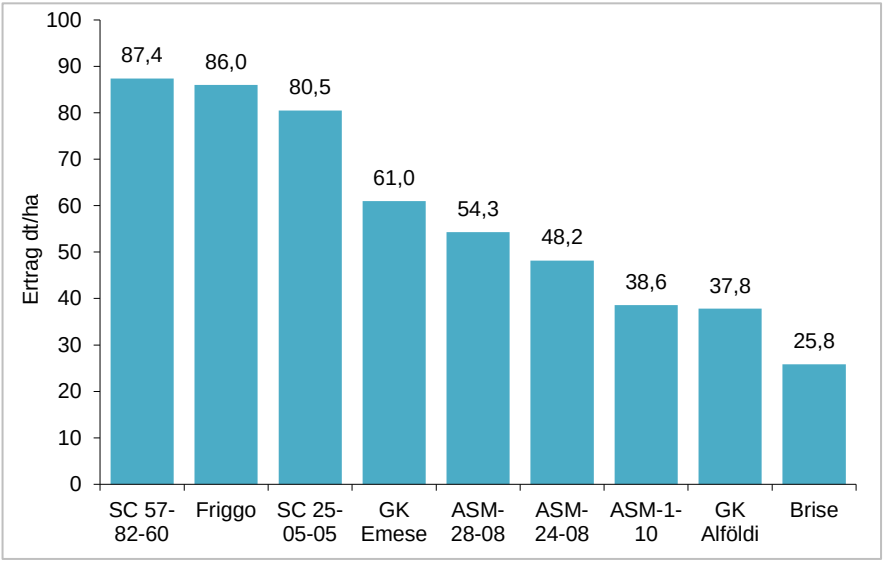


Abb. 6: Erträge bei Körnerhirse nach Sorten, Bernburg 2011

Ertragsleistung von Winterformen

Bedingt durch eine längere Vegetationszeit und die bessere Ausnutzung der Winterniederschläge erzielen Winterkulturen in der Region in der Regel deutlich höhere und stabilere Erträge als die entsprechenden Sommerformen.

Bei Hartweizen gibt es im Gegensatz zum Weichweizen aber keine echten Winterformen, die eine ausgeprägte Vernalisation für den Übergang in die generative Phase brauchen. Durch züchterische Bearbeitung ist es in den letzten Jahren jedoch gelungen, Genotypen mit ausreichend hoher Frosttoleranz für den Überwinterungsanbau in gemäßigten Klimaten zu selektieren. 2011 wurde mit „Wintergold“ die erste Winterdurumsorte in Deutschland zugelassen. Mehrjährige Versuche zeigten fast immer eine deutliche ertragliche Überlegenheit der Winter- gegenüber den Sommersorten (Abb. 7).

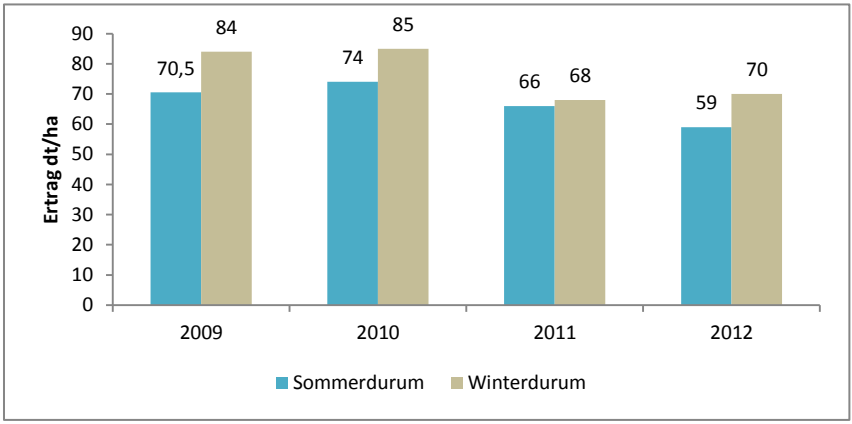


Abb. 7: Kornerträge von Sommer- und Winterdurum, Bernburg, Mittel aller geprüften Sorten

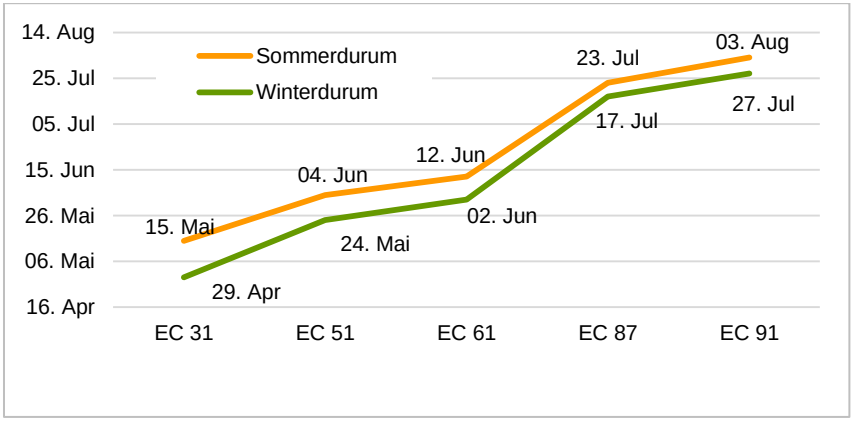


Abb. 8: Entwicklungsverlauf von Sommer- und Winterdurum (Fischer und Döhler 2011)

Das größte Qualitätsrisiko im Durumanbau liegt in Ernteverzögerungen durch ungünstige Witterungsbedingungen. Winterdurum zeigte über den gesamten Entwicklungsverlauf einen zeitlichen Vorsprung gegenüber den Sommersorten (Abb. 8), wird somit auch eher druschreif. Eine geschickte Kombination des Anbaus von Winter- und Sommersorten kann so Ausfallrisiken minimieren und das Zeitfenster für eine fristgerechte Durumernte deutlich erhöhen.
Während neue Winterdurumsoren eine interessante Ergänzung zu etablierten Sommersorten darstellen, ist die Winterhärte von Winterhafer noch zu gering, um einen Anbau in Mitteldeutschland zu empfehlen.
Der Anbau von Körnerleguminosen hat gegenwärtig in Deutschland kaum noch Bedeutung, da Erträge und zu erzielende Erlöse gegenüber anderen Kulturen zu gering und unsicher sind. Wegen der herausragenden Bedeutung der Leguminosen hinsichtlich Fruchtfolgegestaltung und nachhaltiger Ressourcennutzung, strebt das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz mit der im Dezember 2012 veröffentlichten Eiweißpflanzenstrategie (BMELV 2012) eine Förderung des heimischen Leguminosenanbaus an. Geeignete Winterformen könnten einen wesentlichen Beitrag zu mehr Ertragssicherheit leisten.
Hier lässt der Züchtungsfortschritt jedoch noch zu wünschen übrig. Obwohl keine nennenswerten Auswinterungsschäden auftraten, konnte im Jahr 2012 keine der geprüften Wintersorten die Ertragsleistung von Sommererbsen erreichen (Abb. 9).

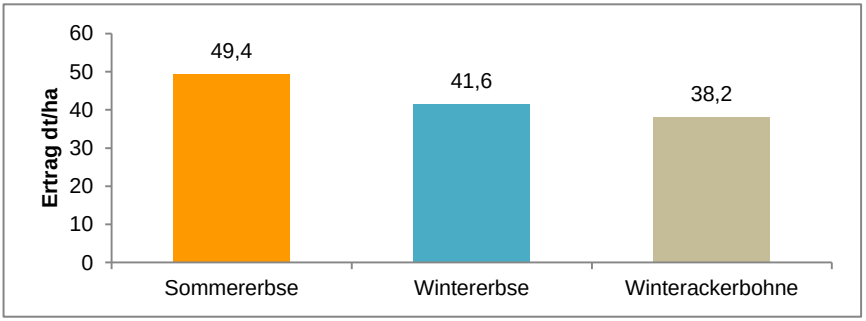


Abb. 9: Ertragsvergleich bei Körnerleguminosen, Bernburg 2012

Auswirkung des Intensitätsniveaus im Getreideanbau

Im mitteldeutschen Raum begrenzt die verfügbare Niederschlagsmenge während der Vegetationszeit die erreichbaren Naturalerträge. Schwerpunkt insbesondere im Winterweizenanbau ist daher das Erreichen hoher Qualitäten mit entsprechenden Preiszuschlägen. Dafür ist sowohl die richtige Sortenwahl, als auch eine ausgewogene Dünge- und Pflanzenschutzintensität erforderlich.
Die in einem Gemeinschaftsversuch mit der Universität Kiel geprüften ukrainischen Sorten erreichten unter den hiesigen Klimabedingungen nicht ganz das Ertragsniveau der deutschen Vergleichssorten.

Sehr viel deutlicher war jedoch der Ertragsrückgang mit reduzierter Stickstoffdüngung, der umso größer ausfiel, je höher das Ertragsniveau der jeweiligen Sorte war (Abb. 10).

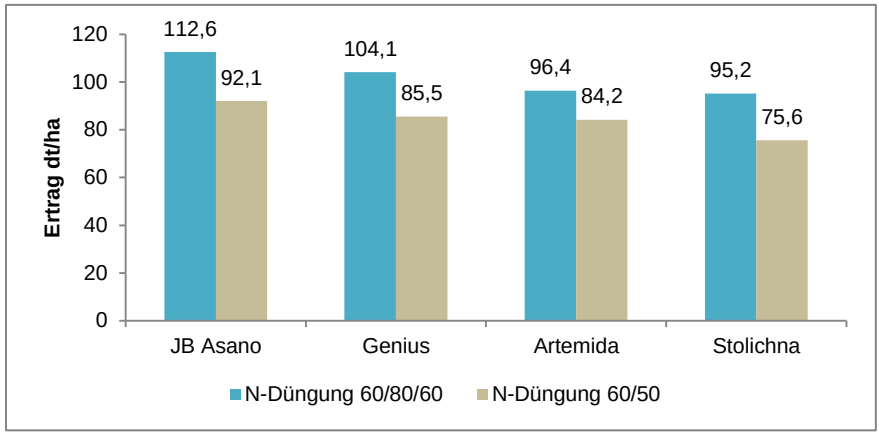


Abb. 10: Erträge im deutsch-ukrainischen Weizenanbauvergleich nach Sorten

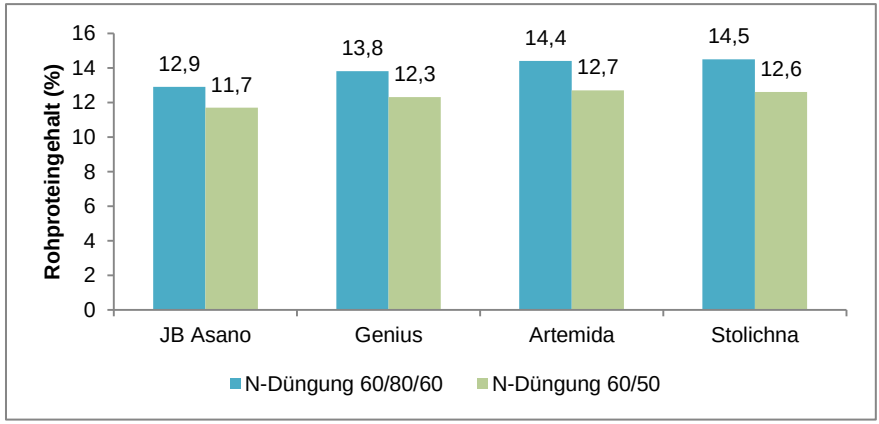


Abb. 11: Rohproteingehalte im deutsch-ukrainischen Weizenanbauvergleich nach Sorten

Auch die Proteingehalte waren mit reduzierter N-Düngung für Qualitätsweizen unbefriedigend (Abb. 11). Die ertragsstärkste Sorte JB Asano erreichte nicht einmal Backqualität. Mit einer dreigeteilten N-Düngung in Höhe von 200 kg N / ha erreichten die ukrainischen Sorten hohe Proteingehalte. Bei dem erzielten Ertragsniveau reichte diese Menge jedoch nicht aus, um bei JB Asano A- und bei Genius die angestrebte E-Qualität zu erreichen.

Neben einer bedarfsgerechten Ernährung kommt auch der Gesunderhaltung der Bestände eine entscheidende Rolle zu. Bei entsprechendem Befallsdruck können mehrere Fungizidmaßnahmen notwendig und wirtschaftlich sein, um hohe Erträge und Qualtäten abzusichern (Abb. 12).

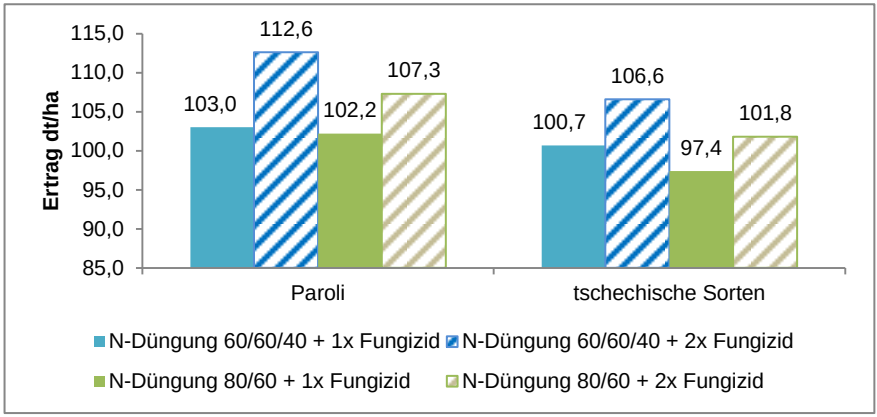


Abb. 12: Erträge im deutsch-tschechischen Weizenanbauvergleich in Abhängigkeit von N-Düngung und Fungizideinsatz 2012

Fazit

Klima und Witterung haben einen entscheidenden Einfluss auf die Ertragsbildung und auf die Qualität in der Pflanzenproduktion. Da sich der Prozess der Klimaerwärmung fortsetzt, sind Anpassungsstrategien in der praktischen Landwirtschaft unumgänglich. Anpassungsstrategien müssen in enger Partnerschaft zwischen der angewandten Forschung der Überleitung und der Umsetzung erfolgen. Dabei ist das komplexe Zusammenspiel aller wesentlichen Produktionsfaktoren zu berücksichtigen. Bei der Erarbeitung von Anpassungsstrategien muss die vertikale Produktionskette von der Züchtung bis zur Verarbeitung pflanzlicher Erzeugnisse einbezogen werden. Klimaveränderungen sind ein globales Problem. Deshalb sollte insbesondere in der Forschung eine engere internationale Zusammenarbeit der wissenschaftlichen Einrichtungen gesichert werden.

Literatur

BMELV, 2012: Eiweißpflanzenstrategie des BMELV. Stand 27.11.2012, 14 S., http://www.bmelv.de

BÖTTCHER, F., 2012: Die agrarmeteorologische Beschreibung des Standortes Bernburg-Strenzfeld als Managementwerkzeug für optimierten Pflanzenbau. Masterarbeit, Hochschule Anhalt, Bernburg.

DEUBEL, A.; HOFMANN, B.; ORZESSEK, D, 2011: Long-term effects of tillage on stratification and plant availability of phosphate and potassium in a loess chernozem. *Soil Till. Res*. **117**, 85-92.

DEUBEL, A.; ORZESSEK, D., 2011: Grunddüngung bei pflugloser Bodenbearbeitung. Gibt es Anpassungsbedarf? *Landwirtschaft ohne Pflug* **9/10** 2011, 39-43

DEUBEL, A.; ORZESSEK, D., 2012: Einfluss konservierender Bodenbearbeitung auf den Verlauf der Bodenfeuchte und die Wassernutzung durch Mais und Weizen. In: Merbach, W., Herbst, F., Müller, S. (Hrsg.): Landwirtschaft und Agrarwissenschaften im ökonomischen und ökologischen Spannungsfeld. Verlag Köster, Berlin, S. 59-65.

FISCHER, T; DÖHLER, T., 2011: Untersuchung zur Auswirkung unterschiedlicher Anbaustrategien bei Durum im mitteldeutschen Trockengebiet. Masterarbeit, Hochschule Anhalt, Bernburg.

Nährstoffverteilung im Boden nach langjähriger pflugloser Bodenbearbeitung und ihre Konsequenzen für die P-Düngung im Trockengebiet

W. ZORN[1], S. WAGNER[1], M. HEUBACH[2], H. SCHRÖTER[1]
[1] Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena
[2] Heubach-Schröder KG, Elxleben
Kontakt: wilfried.zorn@tll.thueringen.de

Zusammenfassung

Langjährige pfluglose, nicht wendende Bodenbearbeitung führt zur P- und K- sowie Humusanreicherung im Bearbeitungshorizont und zu deren Reduzierung in der verlassenen „Unterkrume“. Insbesondere das im Boden wenig mobile Phosphat reichert sich in 0 bis 10 cm Tiefe an, während die P-Gehalte in den darunter liegenden Bodenschichten sinken. Bei der häufig niedrigen bis sehr niedrigen P-Versorgung der Böden ist bei Austrocknung der oberen Bodenschicht eine bedarfsgerechte Ernährung der Pflanzen stark gefährdet.
Die Unterfußdüngung wasserlöslicher Phosphate zu Getreide und Raps kann die aktuelle P-Ernährung der Kulturen mit reduziertem P-Düngereinsatz auch bei ungünstiger P-Dynamik im Boden kostengünstig absichern. Die platzierte P-Düngung zu Getreide und Raps besitzt große Potenziale, da die P-Düngung bei Bedarf mit weiteren Nährstoffen (N, K, S, Mg, Mikronährstoffe) kombiniert werden kann und eine verbesserte Ausnutzung der P-Düngung erwarten lässt.
Forschungsbedarf besteht noch zur Ermittlung der optimalen Düngemittelablage (Tiefe, Abstand zur Saatreihe) sowie zur Beantwortung der Frage, ob bei platzierter P-Düngung langfristig eine P-Düngung in Höhe der Abfuhr bei Gehaltsklasse A und B ohne Ertragsminderung möglich ist.

Problemstellung

Viele Landwirte in Thüringen und anderen Ackerbauregionen haben in den letzten 20 Jahren die Nährstoffe Phosphor und Kalium restriktiv gedüngt. Infolge dessen ist die Versorgung vieler Ackerstandorte mit beiden Nährstoffen stark rückläufig. Parallel dazu hat der Umfang der pfluglosen Bodenbearbeitung zugenommen. Verschiedene Untersuchungen belegen eine zunehmende Differenzierung der Nährstoff- und Humusgehalte in der ehemaligen Krume der Pflugbearbeitung. Für die Ackerbaugebiete Thüringens liegen erste Ergebnisse von Herold *et al.* (2004) vor. Die Autoren fanden nach langjähriger pflugloser Bewirtschaftung einen deutlichen Nährstoffgradienten in Abhängigkeit von der Bodentiefe.
Im vorliegenden Beitrag sollen die Auswirkungen der pfluglosen Bodenbearbeitung und langjährig restriktiver P- und K-Düngung auf die Nährstoffverfügbarkeit im Boden dargestellt und erste Aussagen zur Wirkung einer platzierten P-Düngung zu Wintergetreide auf P-armen Böden abgeleitet werden.

Nährstoffbilanzen und Nährstoffversorgung Thüringer Böden

Die suboptimale P- und K-Düngung, der infolge gesunkener Tierbestände geringere Nährstoffrückfluss aus der Tierhaltung sowie der der verstärkte Anbau von Marktfrüchten mit höherem Nährstoffexport aus den Betrieben haben zu langjährig negativen P- und K-Bilanzen geführt. Abbildung 1 zeigt die mittleren N-, P- und K-Salden von einer Stichprobe von 54 Thüringer Landwirtschaftsbetrieben im Zeitraum 1997 bis 2010.

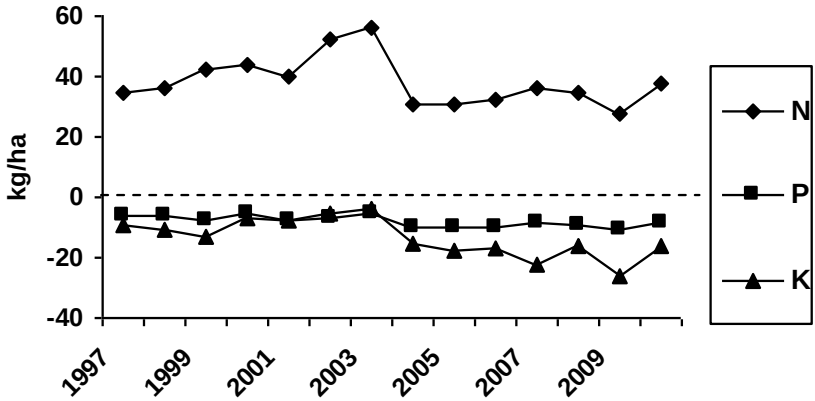


Abb. 1: Mittlere N-, P- und K-Salden von 54 Thüringer Landwirtschaftsbetrieben in den Düngejahren 1997 bis 2010

Aus den langjährig negativen P- und K-Salden resultiert eine Abnahme der Nährstoffversorgung der Ackerböden (Tab. 1). Besonders dramatisch ist die Entwicklung der P-Gehalte. Im Untersuchungszeitraum 2007 bis 2009 waren 46 % der Ackerfläche nur niedrig bzw. sehr niedrig mit diesem Nährstoff (Gehaltsklassen A und B: ≤ 4,8 mg P_{CAL}/100g Boden) versorgt.

Tab. 1: Nährstoffversorgung Thüringer Ackerböden 2007 – 2009

Parameter	Flächenanteile (%) in den pH- und Gehaltsklassen[1)]				
	A	B	C	D	E
pH	2	20	44	27	7
P	15	31	24	15	15
K	2	15	29	31	23
Mg	1	12	22	21	44

[1)] A = sehr niedrig, B = niedrig, C = anzustrebend/mittel, D = hoch, E = sehr hoch nach Zorn et al, 2007.

Umfang der Anwendung pflugloser Bodenbearbeitungsverfahren in Thüringen

Eine repräsentative Stichprobe zeigt, dass 19 % der Thüringer Landwirtschaftsbetriebe permanent ohne Pflug wirtschaften (Tab. 2). Nur 3 % der Betriebe führen die Grundbodenbearbeitung ausschließlich mit dem Pflug durch. Die Mehrzahl der Landwirte (78 %) setzt situationsbezogen den Pflug oder pfluglose Verfahren ein, wobei der innerbetriebliche Anteil der konservierenden Bodenbearbeitung überwiegt. Insgesamt erfolgt auf einem großen Anteil der Schläge die Grundbodenbearbeitung ohne Pflug.

Tab. 2: Anwendung von Bodenbearbeitungsverfahren in 119 Thüringer Landwirtschaftsbetrieben mit 89.000 ha Ackerland (2006 – 2009)

Verfahren	Anteil %
permanent Pflug	3
Pflug/pfluglos alternierend	78
permanent pfluglos	19

Wirkung pflugloser Bodenbearbeitung auf die Nährstoffdynamik im Boden

Auf 13 Ackerstandorten mit mindestens sechsjähriger pflugloser Bodenbearbeitung wurden Untersuchungen zur Kennzeichnung der Nährstoffdynamik in den Bodenschichten 0 – 10 cm, 10 – 20 cm und 20 – 30 cm durchgeführt.

Während sich die mittleren pH-Werte und die Mg-Gehalte (nach Schachtschabel) der einzelnen Bodentiefen nur wenig unterscheiden, sinken die CAL-löslichen P- und K-Gehalte (P_{CAL} bzw. K_{CAL}) mit zunehmender Bodentiefe. Die K_{CAL}-Gehalte der Böden befinden sich überwiegend im mittleren bis sehr hohen Versorgungsbereich (Gehaltsklassen C bis E).

Zur Charakterisierung der P-Dynamik in den verschiedenen Bodenschichten wurden neben dem P-Gehalt nach der CAL-Methode (Schüller, 1969) folgende Kenngrößen bestimmt bzw. berechnet:

- Oxalatlösliches P (P_{ox}), Fe (Fe_{ox}) und Al (Al_{ox}) (nach Schwertmann, 1964)
- Phosphor-Speicherkapazität (PSC) und Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) berechnet in Anlehnung an Eckhardt und Leinweber (1997) bzw. Schoumans und Groenendijk (2006):
    - PSC (mmol/kg) = 0.5 x (Al_{ox} + Fe_{ox})
    - DPS (%) = 100 x P_{ox} / PSC
    - P-Freisetzungsrate nach Floßmann und Richter (1982).

Die Bestimmung des wasserlöslichen P-Gehaltes (Boden : Wasser = 1 : 20) sowie der Freisetzungsrate nach Floßmann und Richter (1982) zeigt, dass P-Intensität und P-Kinetik mit zunehmender Bodentiefe stärker abnehmen als das CAL-lösliche Phosphat.

In den Bodenschichten unter 10 cm Tiefe liegt damit eine erheblich niedrigere chemische P-Verfügbarkeit als im Bearbeitungshorizont bei pflugloser Bodenbearbeitung vor (Tab. 3).

Tab. 3: pH-Wert sowie P-, K- und Mg-Gehalt im Boden nach mindestens 6 Jahren pflugloser Grundbodenbearbeitung (Mittel von 13 Standorten, Bodenarten: sL - T)

Tiefe cm	pH	P_{CAL}	P_{H2O} 1:20[1)]	$P_{freisetzbar}$[2)]	K_{CAL}	Mg
		mg/100g (rel.)		mg P/100g *min (rel.)	mg/100g	
0 – 10	6,8	6,9 (100)	0,60 (100)	64,8 (100)	26	20,2
10 – 20	7,0	4,3 (62)	0,22 (37)	28,0 (43)	18	19,7
20 - 30	7,0	2,5 (36)	0,12 (20)	10,7 (17)	11	19,3

[1)] 1. Fraktion nach Floßmann u. Richter (1982)
[2)] P-Freisetzungsrate nach Floßmann u. Richter (1982)

Das P-Bindungsvermögen (PSC) und der P-Sättigungsgrad (DPS) geben Hinweise auf die P-Sorption im Boden. Parallel zum CAL-löslichen P-Gehalt gehen auch die oxalatlöslichen P-Gehalte mit größerer Bodentiefe zurück. Die Gehalte an Al_{ox}, Fe_{ox} und PSC der Bodenschichten unterscheiden sich nur relativ gering. Jedoch sinkt die P-Sättigung (DPS) mit zunehmender Bodentiefe und bestätigt die reduzierte P-Verfügbarkeit unterhalb von 10 cm Tiefe (Tab. 4).

Tab. 4: P_{ox}-, Fe_{ox}- und Al_{ox}-Gehalte (n. Schwertmann, 1964) sowie daraus abgeleitete Größen im Boden nach mind. 6 Jahren pflugloser Grundbodenbearbeitung (Mittel von 13 Standorten)

Tiefe cm	P_{ox}	Al_{ox}	Fe_{ox}	PSC	DPS
	mmol/kg				%
0 – 10	13,3	47,1	41,8	44,5	30,9
10 – 20	11,5	47,9	42,2	45,1	26,5
20 - 30	9,3	49,1	40,6	44,8	21,6

Eine ähnliche Differenzierung zwischen den verschiedenen Bodentiefen zeigt sich auch hinsichtlich des C- und N-Gehaltes (Tab. 5). Die Gehalte an Gesamt- (C_{org}, N_{gesamt}) sowie heißwasserlöslichem C und N (C_{hwl}, N_{hwl}) nach Schulz *et al.* (2003) gehen mit zunehmender Bodentiefe zurück. Dieser Zusammenhang deutet auf einen geringeren Anteil umsetzbarer Humusfraktion in 20 – 30 cm Tiefe hin.

Tab. 5: C_{org}-, N_{gesamt}- sowie heißwasserlöslicher C- und N-Gehalt (C_{hwl}, N_{hwl}) im Boden nach mind. 6 Jahren pflugloser Grundbodenbearbeitung (Mittel von 13 Standorten)

Tiefe cm	C_{org}	C_{hwl}	N_{gesamt}	N_{hwl}
	% (rel.)	mg/kg (rel.)	% (rel.)	mg/kg (rel.)
0 – 10	3,01 (100)	746 (100)	0,22 (100)	95 (100)
10 – 20	2,59 (84)	636 (85)	0,18 (82)	67 (71)
20 - 30	2,16 (70)	430 (58)	0,14 (64)	46 (48)

Platzierte P-Düngung in pfluglosen Systemen

Die P-Unterfußdüngung zu Mais stellt seit vielen Jahren eine Standardmaßnahme in der landwirtschaftlichen Praxis dar. Die platzierte P-Düngung führt im Jugendwachstum der Pflanzen zu einer erhöhten Konzentration an wasserlöslichem P im Wurzelbereich und verbessert auch bei ungünstigen Bedingungen für die P-Aufnahme die P-Ernährung der Pflanzen.

Platzierte P-Düngung im Feldversuch Elxleben/Thüringen

In einem ersten Feldversuch zu Wintergerste wurde als Reaktion auf die gesunkene P-Versorgung der Böden die Wirkung einer platzierten P-Düngung zu Wintergetreide in pfluglosen Bodenbearbeitungssystemen mit niedriger P-Versorgung im Boden untersucht. Der Versuchsstandort (30 % Ton, 1,8 % C_{org}, 1,0 % $CaCO_3$) war niedrig mit P versorgt (Tab. 6).

Tab. 6: pH-Werte und P-Gehalte im Boden im P-Düngungsversuch zu Wintergerste (Elxleben, 2008/09)

Tiefe cm	pH	P_{CAL}-Gehalt	P_{H2O}-Gehalt
		mg P/100g	
0 – 10	6,5	2,5	0,40
10 – 20	6,6	1,8	0,24
20 - 30	6,9	1,1	0,15

Die platzierte Düngung mit Triplesuperphosphat (TSP) erfolgte parallel zur Aussaat zwischen jede 2. Reihe in eine Tiefe von ca. 10 – 12 cm. Weitere Versuchsvarianten waren die ortsübliche P-Düngung vor der Aussaat mit Einarbeitung in den Boden sowie die Frühjahrskopfdüngung.
Die P-Düngermengen betrugen jeweils 50 %, 100 % und 150 % der erwarteten P-Abfuhr (Frühjahrskopfdüngung ohne 150 %). Die Ergebnisse des Versuches zeigt Abb. 2.

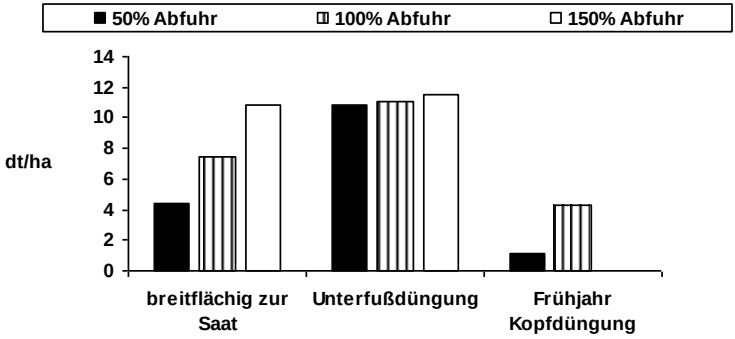


Abb. 2: Kornmehrertrag durch differenzierte P-Düngung (TSP) zu Wintergerste (Elxleben 2008/09, ohne P = 88 dt/ha; GD 5 % (t-Test) = 5,1 dt/ha)

Die steigende, breitflächig applizierte P-Düngung vor der Saat hatte zunehmende Kornerträge zur Folge. Die Variante 50 % der Abfuhr erzielte einen Kornmehrertrag im Vergleich zur unterlassenen P-Düngung von 4,4 dt/ha.
Die P-Düngung in Höhe der P-Abfuhr steigerte den Kornertrag um weitere 3,1 dt/ha. Erst eine P-Gabe von 150 % der P-Abfuhr erreichte das Ertragsniveau der drei P-Unterfußdüngungsvarianten, wobei die Ertragsdifferenzen zwischen den differenzierten P-Gaben sehr gering und nicht signifikant waren. Zum Erreichen eines hohen Ertragsniveaus reichte eine platzierte P-Düngung in Höhe von 50 % der P-Abfuhr aus. Die Ertragswirkung der Frühjahrskopfdüngung lag unter den Versuchsbedingungen unter der der breitflächigen P-Düngung vor der Saat sowie der platzierten P-Düngung.

Platzierte P-Düngung im Feldversuch Friemar/Thüringen

Im Jahr 2011 wurde auf dem Löß-Braunschwarzerdestandort Friemar ein statischer Versuch zur Prüfung der platzierten P-Düngung im Vergleich zur breitwürfigen P-Düngung vor der Saat sowie der Frühjahrskopfdüngung angelegt. Der Standort weist einen sehr niedrigen P-Gehalt auf (Tab. 7).

Tab. 7: pH-Werte und P-Gehalte im Boden im P-Düngungsversuch Friemar zu Versuchsbeginn 2011

Tiefe cm	pH	P_{CAL}-Gehalt	P_{H2O}-Gehalt
		mg P/100g	
0 – 10	6,2	1,6	0,31
10 – 20	6,1	1,1	0,22
20 - 30	6,1	0,9	0,14

Die Versuchsvarianten zeigt Tabelle 8. Als P-Düngemittel wird Triplesuperphosphat eingesetzt. Die Unterfußdüngung erfolgt zwischen jede Reihe mit 5 cm Abstand zur Saatreihe und in 8 - 10 cm Tiefe.

Tab. 8: Versuchsvarianten des P-Unterfußdüngungsversuchs Friemar

P-Applikation	P-Düngung in % der P-Abfuhr[1)]
ohne P (Kontrolle)	0
breitwürfig vor Saat	50, 100, 200
Unterfußdüngung	50, 100, 200
Kopfdüngung im Frühjahr	50, 100

[1)] für die P-Düngung des Winterweizens 2012 wurde eine P-Abfuhr von 35 kg P/ha angenommen (Kornertrag =100 dt/ha)

Im ersten Versuchsjahr wurde Winterweizen (JP Asano) angebaut. Das Versuchsjahr 2011/12 war insbesondere durch sehr niedrige Niederschläge zwischen Februar und der 2. Maidekade gekennzeichnet. Ab Ende Mai und im Juni fielen höhere Niederschläge. Bei der Bewertung der nachfolgend

aufgeführten Daten ist daher das extreme Niederschlagsdefizit in Frühjahr zu berücksichtigen. Bereits im Herbst 2011 waren deutliche Wachstumsunterschiede zwischen den Varianten ohne bzw. mit P-Düngung im Herbst zu erkennen, die sich im Frühjahr 2012 noch verstärkt haben.
Versuchs begleitend erfolgt der Einsatz der Pflanzenanalyse, um während des Wachstums die Wirkung der differenzierten P-Düngung zu erfassen. Die Probenahme geschah am 03.05.2012 noch vor dem Eintreten nennenswerter Niederschläge. Infolge des akuten Wassermangels haben die Pflanzen aller Prüfglieder den Richtwert für den optimalen P-Ernährungszustand nicht erreicht (Abb. 3). Sowohl bei breitwürfiger P-Düngung vor der Saat als auch nach P-Unterfußdüngung steigen die P-Gehalte der Pflanzen an. Dagegen erhöhte die Frühjahrskopfdüngung die P-Aufnahme des Weizens nur gering. Die P-Kopfdüngung kommt somit in trockenen Frühjahren nur unzureichend zur Wirkung.

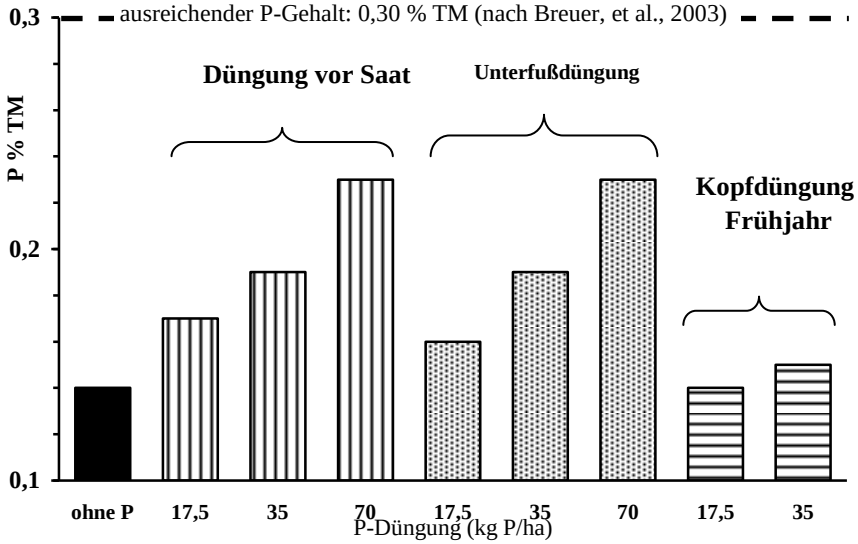


Abb. 3: Wirkung der P-Applikation (TSP) auf den P-Gehalt von Winterweizen (BBCH 31) im Unterfußdüngungsversuch Friemar 2012

Die Verbesserung des P-Ernährungszustandes führte auch zu einer höheren Schwefel- und Kaliumaufnahme (Abb. 4). Dieser Zusammenhang lässt eine Förderung des Wurzelwachstums durch die P-Düngung vermuten, die eine bessere räumliche Zugänglichkeit von S und K bewirkt.
Abbildung 5 zeigt die Kornerträge nach differenzierter P-Düngung. Auffallend sind die sehr hohen Mehrerträge bis >20 dt/ha einzelner P-Düngungsvarianten, die die Potenziale der P-Düngung auf sehr niedrig versorgten Boden in Trockenjahren

verdeutlichen. Bei einer P-Düngermengen von 50 % der Abfuhr war die Unterfußdüngung der breitwürfigen Düngung vor der Saat signifikant überlegen. Bei P-Düngung in Höhe von 100 % und 200 % der Abfuhr liegen keine signifikanten Unterschiede zwischen P-Unterfußdüngung und breitflächiger P-Düngung vor. In der Tendenz war die breitflächige P-Düngung der Unterfußdüngung leicht überlegen. Die P-Kopfdüngung zeigte im trockenen Frühjahr 2012 nur eine geringe Wirkung.

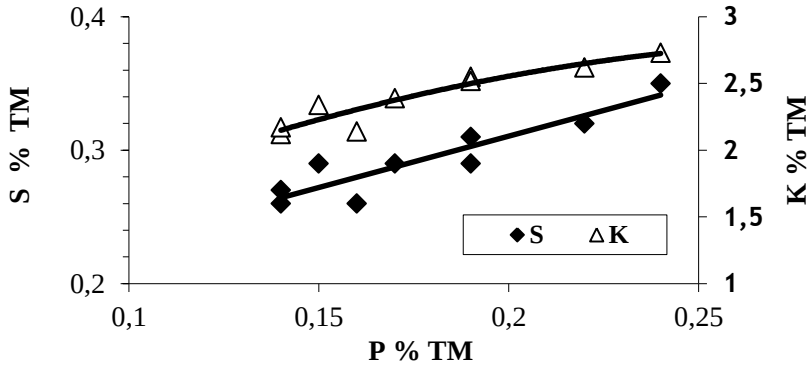


Abb. 4: S- und K-Gehalt von Winterweizenpflanzen (BBCH 31) in Abhängigkeit vom P-Gehalt (P-Unterfußdüngungsversuch Friemar 2012)

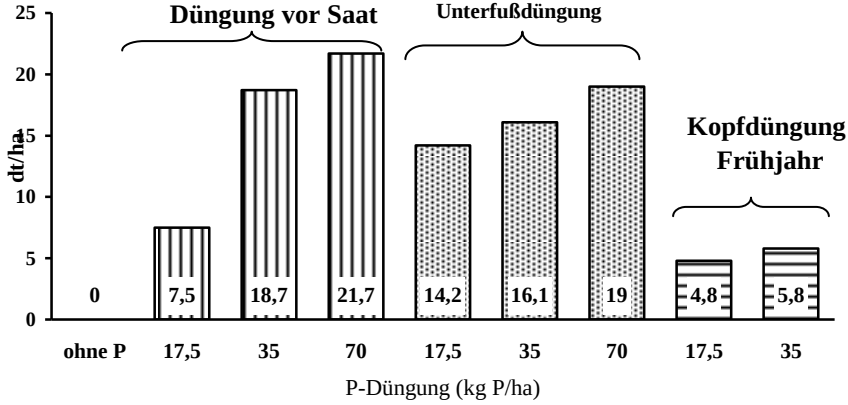


Abb. 5: Kornmehrertrag durch differenzierte P-Düngung (TSP) zu Winterweizen Friemar 2012 (ohne P: 91,9 dt/ha; $GD_{5\,\%}$ = 5,2 dt/ha)

Literatur

BREUER, J.; KÖNIG, V.; MERKEL, D.; OLFS, H.-W.; STEINGROBE, B.; STIMPFL, E.; WISSEMEIER, A.; ZORN, W., 2003: Die Pflanzenanalyse zur Diagnose des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen. Agrimedia, Bergen/Dumme.

ECKHARDT, K.-U.; LEINWEBER, P., 1997: P-Fraktionen zur Vorhersage von P-Austrägen aus landwirtschaftlich genutzten Böden. *Mitt. der Deutschen Bodenkundl. Ges.* **85**, II, 871-874.

HEROLD, L.; WAGNER, S.; LIPPOLD, T., 2004: Nährstoffgradienten im Boden bei pflugloser Bewirtschaftung und Schlussfolgerungen für die Probenahme. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena, 7 S. (download: http://www.tll.de/ainfo/pdf/stof1104.pdf).

FLOßMANN, R. UND RICHTER, D., 1982: Extraktionsmethode zur Charakterisierung der Kinetik der Freisetzung von P aus der festen Phase des Bodens in die Bodenlösung. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkde*. **26**, 703 – 709.

SCHÜLLER, H., 1969: Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk.* **123**, 48 – 63.

SCHOUMANS, O.F.; GROENENDIJK, P., 2006: Modeling soil phosphorus levels and phosphorus leaching from agricultural land in the Netherlands. *Journal of Environmental Qualitity* **29** (1), 116-116.

SCHULZ, E.; DELLER, B.; HOFFMANN, G., 2003: Heißwasserextrahierbarer Kohlenstoff und Stickstoff (A4.3.2). VDLUFA - Methodenbuch I. 4. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Bonn.

SCHWERTMANN, U., 1964: Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalatlösung. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk.* **105**, 194 – 202.

ZORN, W., HEß, H.; ALBERT, E.; KOLBE, H.; KERSCHBERGER, M.; FRANKE, G., 2007: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“. Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, Heft 7/2007.

Ergebnisse zur N-Düngung mit dem CULTAN-Verfahren auf verschiedenen sächsischen Standorten

E. ALBERT, W. SCHLIEPHAKE, M. GRUNERT
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Kontakt: Michael.Grunert@smul.sachsen.de

Zusammenfassung

Die vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) mehrjährig durchgeführten Versuche zur N-Injektionsdüngung (CULTAN) auf drei unterschiedlichen Standorten (Forchheim, V8; Pommritz, Lö4; Baruth, D3) zu Winterraps, Winterweizen und Wintergerste führten zu folgenden Ergebnissen:
Bei Winterweizen und Wintergerste wurden auf dem Lö- und dem V-Standort mit einer einmaligen N-Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn vergleichbare Erträge wie mit der Standard-N-Verteilung in drei Gaben erzielt. Auf dem leichten, trockenen D-Standort in Baruth erwies sich vor allem in Jahren mit ausgeprägter Frühsommertrockenheit die Injektionsdüngung der konventionellen N-Düngung überlegen. Ein später Injektionstermin erst zu Beginn des Streckungswachstums (EC 31) war gegenüber dem zu Vegetationsbeginn in Pommritz und Forchheim ertraglich nicht von Nachteil. Auf dem leichten Boden in Baruth kam es bei dem späten Düngungstermin zu EC 31 jedoch zu einer zeitweiligen N-Unterversorgung mit negativen Auswirkungen auf die Ertragsbildung.
Bei Winterraps führte die N-Injektion im Frühjahr zu ebenbürtigen Erträgen wie die Standarddüngung mit zwei Gaben. Mit einer alleinigen Herbstinjektion konnten zwar in Einzeljahren wie 2012 ähnlich hohe Erträge wie mit der Frühjahrsdüngung erreicht werden, aber mit einem erhöhten Risiko, dass ein Teil des gedüngten Stickstoffs während des Winters verloren geht. Im Hinblick auf das Erreichen der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und aus Gründen der Ertragsstabilität kann die Injektion der gesamten N-Menge im Herbst nicht empfohlen werden. Die Injektion einer Teilmenge im Spätherbst in Verbindung mit einer KAS-Gabe im Streckungswachstum lieferte auf den sorptionsstarken Standorten Pommritz und Forchheim gute Erträge. Eine Kombination von Herbstinjektion und Streudüngung im Frühjahr bietet sich daher vor allem auf nicht auswaschungsgefährdeten Standorten an, die zu Vegetationsbeginn häufig nicht befahrbar sind. Durch die Injektion einer Teilgabe im Herbst ist eine ausreichende N-Versorgung zu Vegetationsbeginn gegeben, so dass die Anschlussgabe erst zu Beginn des Streckungswachstums bei meist guter Befahrbarkeit auszubringen ist. Ein weiterer Vorteil ergibt sich daraus, dass die späte Frühjahrsgabe sensorgestützt appliziert werden kann.

Einleitung

In den letzten Jahrzehnten haben in Mitteldeutschland Trockenperioden in den für die Ertragsbildung der Winterungen besonders wichtigen Monaten April, Mai und Juni deutlich zugenommen. Mit fortschreitendem Klimawandel ist damit zu rechnen, dass sich dieser für das Ertragsgeschehen ungünstige Niederschlagstrend künftig weiter verstärkt. Steigende Temperaturen in Verbindung mit abnehmenden Niederschlägen in diesem Vegetationsabschnitt führen zu einer zunehmend negativen klimatischen Wasserbilanz und damit zu einer früheren Abnahme der Bodenwasservorräte. Hinzu kommt, dass Starkniederschläge mit hohem Erosionspotenzial wahrscheinlich vermehrt auftreten werden. Sie verbessern nur eingeschränkt die Bodenfeuchte. Längere Trockenperioden vermindern den Bodenwassergehalte und lassen die Bodenkrume von der Oberfläche beginnend austrocknen, wodurch die Nährstoffverfügbarkeit stark reduziert wird. Auch wenn den Pflanzen in tieferen Bodenschichten noch genügend Wasser zur Verfügung steht, kann die Nährstoffaufnahme aus dem oberen, nährstoffreichen Krumenbereich stark eingeschränkt sein, so dass eine optimale Nährstoffversorgung oft nicht mehr gegeben ist. Die Folgen sind Ertragsverluste sowie eine häufig ungenügende Verwertung des oberflächig ausgebrachten Stickstoffs. Mit Ausbringungsverfahren wie der Injektionsdüngung werden Düngerlösungen in tiefere, meist noch feuchte Bodenschichten appliziert, was unter derartigen Bedingungen die Nährstoffwirkung verbessern kann. Die Injektion von N-haltigen Flüssigdüngern in den Boden in Form von Ammonium wird auch als CULTAN-Verfahren (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) bezeichnet (Sommer, 2003). Da Ammonium (NH_4^+) auf Grund der Sorption an Tonkolloide und Huminstoffe eine geringe Mobilität im Boden aufweist und somit wenig auswaschungsgefährdet ist, bilden sich bei Einbringung von NH_4^+-haltigen Flüssigdüngern im Boden relativ stabile Depots. Vor allem auf sorptionsschwachen und flachgründigen Standorten kann dadurch das Auswaschungsrisiko reduziert werden. Die lokal hohen NH_4^+-Konzentrationen im Depot sind sowohl für Pflanzenwurzeln als auch für Bodenmikroorganismen toxisch. Mikrobielle Umsetzungsprozesse wie die Nitrifikation und Denitrifikation finden im zentralen Bereich des Depots nicht statt (Sommer, 2003; Kücke, 2003). Die Pflanzenwurzeln umwachsen das Depot und entleeren es allmählich von außen nach innen. Die von den Depots ausgehende starke Attraktionswirkung fördert zudem das Wurzelwachstum.

Da die NH_4^+-Aufnahme in Abhängigkeit von der Photosyntheseleistung bedarfsabhängig erfolgt, wird eine vegetative Fehlentwicklungen der Pflanzenbestände vermieden (Sommer, 2005). Weitere Vorteile des CULTAN-Verfahrens bestehen in der Möglichkeit des Zusammenfassens von mehreren N-Gaben, in der Einsparung von Arbeitszeit und Arbeitsgängen, in der sichereren N-Wirkung in Trockenphasen, in der sehr exakten Düngerausbringung ohne Streifenbildung sowie in der verminderten erosiven N-Verfrachtung nach Starkregenfällen.

Hinzu kommen Berichte und Beobachtungen über standfestere Bestände sowie gesündere und insgesamt weniger stressanfällige Pflanzen. Ein entscheidender Nachteil dieses Verfahrens ist jedoch, dass die gesamte N-Düngermenge meist zu einem frühen Vegetationszeitpunkt verabreicht wird, ohne dass eine Anpassung an den späteren Vegetationsverlauf und die jahresbedingte unterschiedliche Biomassebildung vorgenommen werden kann. Besonders auf Standorten mit hohem N-Nachlieferungspotenzial (z. B. nach organischer Düngung, auf humusreichen Böden) gestaltet sich die N-Düngebedarfsermittlung oft schwierig, da die jeweiligen N-Optima erhebliche Jahresunterschiede aufweisen können.
Am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie werden seit 2005 Versuche zur Injektionsdüngung angelegt, um der landwirtschaftlichen Praxis ergebnisgestützte Anwendungsempfehlungen geben zu können. Über die dabei erzielten Ergebnisse wird nachfolgend berichtet.

Material und Methoden

Die Untersuchungen zur Injektionsdüngung mit Raps und Winterweizen werden auf drei unterschiedlichen Standorten durchgeführt. Forchheim im Erzgebirge ist geprägt durch ein feucht-kühles Klima der mittleren Berglagen. Der Gneis-Verwitterungsstandort in 565 m Höhe mit der Bodenart sandiger Lehm erhält im langjährigen Mittel 879 mm Niederschlag. Die Versuchsstandorte in Baruth und Pommritz im Landkreis Bautzen sind durch mäßig trockenes, mäßig warmes Binnenlandklima beeinflusst. Die Niederschlagshöhe auf dem anlehmigen Sandstandort in Baruth beträgt 626 mm. Der Standort Pommritz verfügt über einen tiefgründigen Löß-Lehm. Die Niederschlagssumme liegt bei 698 mm.

Tab. 1: Standortcharakteristik

	Versuchsstandort		
Parameter	**Baruth**	**Pommritz**	**Forchheim**
Landkreis	Bautzen	Bautzen	Erzgebirgskreis
Höhen über NN	151 m	230 m	565 m
Niederschläge (Mittel 1961 – 1990)	626 mm	698 mm	879 mm
Temperaturen (Mittel 1961 – 1990)	8,6 °C	8,6 °C	6,5 °C
Standorttyp	D 3/4	Lö 4	V 8
Bodenart	anlehmiger Sand	Lehm	sandiger Lehm
mittlere Ackerzahl	30	61	33

An allen drei Standorten werden Injektionsdüngungsversuche mit Winterweizen (Sorte: Türkis) und Winterraps (Sorte: Adriana) und in Baruth zusätzlich ein Versuch mit Wintergerste (Sorte: Lomerit) durchgeführt.

Für die Injektionsdüngung kam bis Herbst 2009 (Wintergetreide) bzw. Herbst 2010 (Winterraps) der Flüssigdünger Domamon L 26® zum Einsatz. Seit 2011 wird bei allen Injektionsversuchen Ammoniumsulfatlösung (ASL) mit einem N-Gehalt von 8 % verwendet.
Die Versuche wurden mit einer 3-Meter-Injektionsdüngungsmaschine angelegt, welche eine Punkt-Injektion in 8 bis 10 cm Tiefe ermöglicht. Bei einer Reihenweite von 25 cm und einem Abstand von 12,5 cm werden so 28 Depots/m^2 angelegt.

Ergebnisse

Wintergetreide

Das Ertragsniveau der drei Versuchsstandorte wird stark von deren Bodengüte beeinflusst. Erwartungsgemäß wurden die höchsten Weizenerträge auf dem Löss-Standort in Pommritz und die geringsten auf dem anlehmigen Sandboden in Baruth erzielt. Auf dem Letzteren war zudem die Ertragsvariabilität in den einzelnen Jahren wegen der geringeren nutzbaren Feldkapazität besonders groß. Auf dem Verwitterungsstandort in Forchheim wurde trotz der relativ geringen Ackerzahl von 33 ein beachtliches Ertragsniveau erreicht. Die in dieser Region vergleichsweise hohen Niederschläge in Verbindung mit kühleren Temperaturen begünstigen die Ertragsbildung.
In den Versuchen wurden neben der mit Stickstoff ungedüngten Kontrolle und der Vergleichsvariante mit drei N-Teilgaben zwei zeitlich variierte Injektionsdüngungstermine geprüft. Die Ergebnisse zeigen, dass die variierte N-Applikation im Mittel der vier Versuchsjahre in Pommritz und Forchheim keine Ertragsunterschiede bewirkte (Tab. 2). Diesen Ergebnissen zufolge können auch mit einer N-Injektion zu Vegetationsbeginn vergleichbare Erträge wie mit der Standard-N-Verteilung erreicht werden. Auf der Grundlage von Versuchsergebnissen aus Nordrhein-Westfalen empfiehlt SOMMER (2005) besonders bei Winterweizen eine Injektion nicht zu Vegetationsbeginn, sondern erst zu Beginn des Streckungswachstums (EC 31).
Unter sächsischen Bedingungen war auf dem leichten Boden in Baruth die Injektion zum Schossen gegenüber der zu Vegetationsbeginn mit signifikanten Ertragsverlusten verbunden. Der späte Düngungstermin führte hier zu einer zeitweiligen N-Unterversorgung mit negativen Auswirkungen auf die Ertragsbildung. Auf den beiden Standorten Pommritz und Forchheim mit höherem Ertragspotenzial und stärkerer N-Nachlieferung erwies sich hingegen der späte Düngungstermin als nicht nachteilig. Aus diesen Ergebnissen ist abzuleiten, dass bessere Standorte im Hinblick auf den Düngungstermin ein größeres Kompensationsvermögen aufweisen. Neben der Ertragswirksamkeit sind bei Winterweizen die Effekte der differenzierten N-Düngung auf den Rohproteingehalt von besonderer Bedeutung, da dieser die Backqualität wesentlich mitbestimmt.

Tendenziell lagen die Rohproteingehalte bei einer einmaligen Injektion zu Vegetationsbeginn auf etwas niedrigerem Niveau als bei der Standarddüngung mit drei KAS-Gaben. Bei dem späten Injektionstermin zu EC 31 hingegen erreichten die Rohproteingehalte im Vergleich zu der Bezugsvariante sogar etwas höhere Werte (Tab. 3).

Ebenso wie der Winterweizen reagierte die auf dem anlehmigen Sand in Baruth angebaute Wintergerste in allen vier Versuchsjahren mit leichten Ertragsvorteilen auf die Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn. Der späte Injektionstermin führte jedoch zu geringeren Erträgen (Tab. 4). Die Betrachtung der Einzeljahre bringt zum Ausdruck, dass die variierte N-Applikation besonders 2009 stärkere Ertragsunterschiede verursachte.

So lagen die Gerstenerträge im Prüfglied mit drei KAS-Gaben bei 67,6 dt/ha und in dem mit der N-Injektion zu Vegetationsbeginn bei 71,2 dt/ha. Auch beim Winterweizen wurden im Jahr 2009 die höchsten Erträge in der Variante mit der N-Injektion zu Vegetationsbeginn erzielt. Als Ursache dafür wird die ausgesprochen lange Trockenperiode im Frühjahr 2009 angesehen. Im gesamten April fielen mit 3,4 mm nur unbedeutende Niederschläge. Erst Ende Mai verbesserten ergiebige Regenfälle nachhaltig den Bodenwasserhaushalt. Vor allem die zweite N-Gabe konnte unter diesen Bedingungen nur unzureichend zur Wirkung kommen. Anders war die Situation im Jahr 2010. Nach den Düngungsapplikationen durchfeuchteten die Niederschläge immer wieder die Bodenkrume.

Infolge dessen konnte der in drei Gaben auf die Bodenoberfläche ausgebrachte Kalkammonsalpeter gut wirken, so dass geringere Ertragsunterschiede zwischen der Standard-N-Düngung und der N-Injektion zu Vegetationsbeginn auftraten.

In weiteren, hier nicht dargestellten Prüfgliedern wurde auch die N-Herbstinjektion auf ihre Ertragswirkung untersucht. Bei beiden Getreidearten blieben vor allem auf dem leichten Boden in Baruth und auf dem flachgründigen Verwitterungsstandort in Forchheim positive Ertragseffekte aus. Aus Gründen des Wasserschutzes und der N-Effizienz wird daher eine pauschale N-Herbstinjektion zu Wintergetreide abgelehnt.

Winterraps

Der Anbau von Winterraps ist unter Praxisbedingungen wegen der relativ geringen N-Abfuhr mit dem Samenertrag oft mit hohen N-Bilanzüberschüssen verbunden. Im Hinblick auf den Wasserschutz gilt daher Raps als besonders kritische Fruchtart. Effiziente Düngungsstrategien, die eine gute Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs ermöglichen, sind deswegen bei dieser Kultur besonders bedeutungsvoll.

Zu Winterraps wurden verschiedene Injektionsdüngungstermine sowie Kombinationen aus N-Injektion und Streudüngung geprüft. Als Vergleich diente die praxisübliche Variante mit zwei KAS-Gaben. Da die Herbstinjektion zu Winterraps in der Praxis immer mehr zunimmt, wurden auch zwei Varianten mit einer Herbstdüngung geprüft.

In den Versuchen erfolgte die Herbstinjektion erst zum Ende der Vegetationsperiode, um ein Überwachsen der Bestände zu vermeiden. In der Praxis wird die Injektion, häufig im Interesse der Technikauslastung, teilweise schon kurz nach der Aussaat durchgeführt.

Sowohl im Ertragsniveau als auch in ihrer Reaktion auf die differenzierte N-Applikation unterschieden sich die drei Versuchsstandorte. Auf dem fruchtbaren Lö-Standort Pommritz ist der Einfluss der variierten N-Düngung vergleichsweise gering, so dass es kaum Ertragsunterschiede zwischen den gedüngten Varianten gab. Die Erträge der Variante mit einer ausschließlichen Herbstdüngung schnitten jedoch gegenüber den Vergleichsprüfgliedern etwas schlechter ab (Tab. 5). Prüfglieder mit einem hohen N-Angebot zu Vegetationsbeginn führten im Mittel der Jahre zu den höchsten Erträgen. In Baruth war das Ertragsniveau des Winterrapses deutlich niedriger als in Pommritz. Wegen des geringen Speichervermögens erwies sich hier die N-Herbstinjektion gegenüber der N-Düngung im Frühjahr als ungünstiger. Die Ertragsdifferenz betrug immerhin 4,2 dt/ha.

Auf dem Verwitterungsstandort in Forchheim wurde ebenso wie in Pommritz im Mittel der vier Jahre ein hohes Ertragsniveau erreicht. Ähnlich wie in Baruth und Pommritz war auch auf dem Verwitterungsstandort die Herbstapplikation meist nicht vorteilhaft. Den Ergebnissen zufolge kann die alleinige Herbstinjektion in Einzeljahren durchaus zu ähnlich hohen Erträgen führen wie die Frühjahrsdüngung. Es besteht jedoch ein erhöhtes Risiko, dass der gedüngte Stickstoff während des Winters verloren geht. Diese Situation ist vor allem dann gegeben, wenn ungünstige Bedingungen im Herbst, wie z. B. 2010, nur eine schwache Bestandesentwicklung und eine geringe N-Aufnahme bis zum Vegetationsende ermöglichen. Besonders im Hinblick auf das Erreichen der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie sind die N-Auswaschungsverluste weiter zu minimieren. Aus den genannten Gründen kann die Injektionsdüngung der gesamten N-Menge im Herbst nicht empfohlen werden.

Eine Kombination einer Herbstinjektion mit einer Streudüngung im Frühjahr bietet sich besonders für sorptionsstarke, nicht auswaschungsgefährdete Standorte an, die zu Vegetationsbeginn häufig nicht befahrbar sind.

Durch die Injektion einer Teilgabe im Herbst ist eine ausreichende N-Versorgung zu Vegetationsbeginn gegeben, so dass die Anschlussgabe erst zu Beginn des Streckungswachstums bei meist guter Befahrbarkeit ausgebracht werden muss. Außerdem ist es möglich, die späte Frühjahrsgabe sensorgestützt zu applizieren, um so die N-Effizienz weiter zu verbessern. Vor allem auf heterogenen Standorten ergeben sich durch Berücksichtigung der unterschiedlichen N-Ernährungszustände deutliche Vorteile. Die Option einer sensorgestützten N-Düngung im Frühjahr ist hingegen bei einer alleinigen Herbstdüngung nicht gegeben. Hinzu kommt, dass bei einer ausschließlichen N-Düngung im Herbst die Bemessung der N-Gabe ohne Kenntnis des Witterungsverlaufes im Winter und Frühjahr erfolgt.

Der Vorteil der Frühjahrsdüngung besteht gerade darin, dass die gebildete Biomasse und die in ihr gespeicherte N-Menge bei der Bemessung der N-Düngung berücksichtigt werden kann. Sie ist neben der standortabhängigen Ertragserwartung und den meist geringen N_{min}-Gehalten die den N-Düngebedarf wesentlich bestimmende Einflussgröße.

Bisher in Deutschland durchgeführte Versuche zeigten, dass die N-Injektionsdüngung für verschiedene Hauptfruchtarten geeignet ist (Kücke, 2003; Weimar, 2003 und 2013; Felgentreu, 2003; Maier et al., 2011). So wurden für Winterweizen, Winterroggen und Winterraps im Vergleich zur konventionellen Düngung gleich hohe oder höhere Erträge nach N-Injektion ermittelt (Boelcke, 2003; Donath *et al*., 2009; Felgentreu, 2003; Kücke, 2001 und 2003; Weimar, 2013). Die unter sächsischen Standortbedingungen erzielten Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Injektionsdüngung vor allem auf leichten, trockenen Standorten sowie in Jahren mit ausgeprägter Frühjahrstrockenheit eine durchaus sinnvolle Alternative zur Applikation mit festen Düngern darstellt (Albert und Farack, 2012; Farack und Albert, 2011; Schliephake und Müller, 2013).

In weitergehenden Versuchen werden Auswirkungen der Injektionsdüngung auf Ertragsstabilität, N-Verwertung und Auswaschungsverluste auch bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung untersucht.

Die N-Injektion ist inzwischen ein in Sachsen praxiserprobtes Verfahren, das 2012 auf etwa 11.000 ha zur Anwendung kam.

Tab. 2: Wirkung unterschiedlicher N-Applikation auf den Ertrag von Winterweizen (Mittel aus 4 Jahren)

		N-Applikation [kg/ha]			**Ertrag bei 86 % [dt/ha]**		
Prüfglied		**1. N-Gabe**	**2. N-Gabe**	**3. N-Gabe**	**Baruth**	**Pommritz**	**Forchheim**
1	ohne N-Düngung	0	0	0	33,4	57,0	50,1
2	Streuen	66*$_{(KAS)}$	50 $_{(KAS)}$	50 $_{(KAS)}$	61,4	101,2	94,3
3	Injektion	166*$_{(Inj.)}$	0	0	63,2	102,3	93,2
4	Injektion	0	166*$_{(Inj.)}$	0	57,8	101,2	95,9
GD (5% gepoolt)					4,3	1,6	1,4

*1. N-Gabe bedarfsabhängig; Mittelwert der 4 Jahre und 3 Standorte

Tab. 3: Wirkung unterschiedlicher N-Applikation auf den Rohproteingehalt von Winterweizen (Mittel aus 4 Jahren)

Prüfglied		N-Applikation [kg/ha]			Rohproteingehalt [%]		
		1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forch-heim
1	ohne N-Düngung	0	0	0	10,2	9,4	10,6
2	Streuen	66*(KAS)	50 (KAS)	50 (KAS)	15,3	13,0	12,7
3	Injektion	166*(Inj.)	0	0	15,3	12,8	12,8
4	Injektion	0	167*(Inj.)	0	15,6	13,7	13,2

*1. N-Gabe bedarfsabhängig; Mittelwert der 4 Jahre und 3 Standorte

Tab. 4: Wirkung unterschiedlicher N-Applikation auf den Ertrag von Wintergerste (Baruth)

Prüfglied		N-Applikation [kg/ha]			Ertrag bei 86 % [dt/ha]				
		1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	2009	2010	2011	2012	Mittel
1	ohne N-Düngung	0	0	0	38,8	65,8	33,2	52,3	**47,5**
2	Streuen	60*(KAS)	50 (KAS)	50 (KAS)	67,6	95,5	68,4	86,9	**79,7**
3	Injektion	160*(Inj.)	0	0	71,2	97,2	70,2	88,7	**81,8**
4	Injektion	0	160*(Inj.)	0	54,4	91,9	62,0	78,8	**71,8**
								GD (5%)	**3,0**

*2009 und 2011: + 5 kg N/ha sowie 2012: -5 kg N/ha

Tab. 5: Wirkung unterschiedlicher N-Applikation auf den Ertrag von Winterraps (Mittel aus 4 Jahren)

Prüfglied		N-Applikation [kg/ha]			Ertrag bei 91 % [dt/ha]		
		Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1	ohne N-Düngung	0	0	0	23,8	37,7	35,6
2	Streuen	0	100 (KAS)	100 (KAS)	39,7	51,5	55,0
3	Injektion	200 (Inj.)	0	0	35,5	51,0	51,5
4	Injektion	0	200 (Inj.)	0	38,0	52,9	54,2
5	Streuen	0	200 (KAS)	0	38,9	53,1	55,3
6	Injektion/ Streuen	100 (Inj.)	0	100 (KAS)	38,1	53,7	53,7
7	Injektion/ Streuen	0	100 (Inj.)	100 (KAS)	40,0	51,2	53,1
		GD (5% gepoolt)			1,6	1,6	1,7

Literatur

ALBERT, E.; FARACK, K., 2012: Cultandüngung von Getreide und Raps – Erfahrungen aus Sachsen. *Neue Landwirtschaft*, Heft **2/2012**, S.46-49

BOELCKE, B., 2003: Effekte der N-Injektionsdüngung auf Ertrag und Qualität von Getreide und Raps in Mecklenburg-Vorpommern. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Landbauforschung Völkenrode, 45 – 54.

DONATH, S.; DÖHLER, J.; GROßMANN, I.; SCHULZ, R.; GRUBER, S.; CLAUPEIN, W.; MÜLLER, T., 2009: Ammonium-Depot-Düngung zu Winterweizen im Feldexperiment. Kongressband 2009, *VDLUFA-Schriftenreihe* **65**, 407-413

FARACK, K.; ALBERT, E., 2011: Verbesserung der Nährstoffeffizienz durch Injektionsdüngung unter Berücksichtigung des Klimawandels. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, *Landwirtschaft und Geologie*, Heft **12/2011**, 51 S.

FELGENTREU, C., 2003: Erste Ergebnisse beim Einsatz des Injektionsdüngeverfahen bei Winterraps in Brandenburg. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Landbauforschung Völkenrode, 55 – 60.

KÜCKE, M., 2001: Biomasseproduktion und N-Effizienz von Winterweizen und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung - Feldversuchsergebnisse 2001. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft, 245, 81-92.

KÜCKE, M., 2003: Biomasseproduktion und N-Effizienz von Winterweizen und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung – Feldversuchsergebnisse 2001. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Landbauforschung Völkenrode, 81 – 92.

MAIER, J.; MÜLLER-SÄMANN, K.; HÖLSCHER, T.; BISCHOFF, W.-A.; SCHWARZ, A., 2011: Platzierung von Harnstoff-Ammoniumsulfat-Lösung bei Mais und Kartoffel am Oberrhein. Endbericht zum Projekt Nr. 2008-2. Neue Wege der Stickstoffdüngung bei Mais und Kartoffel – mehr Effizienz für Landwirtschaft und Umwelt mit dem CULTAN-Verfahren. 131 S

SCHLIEPHAKE, W.; MÜLLER, P., 2013: Strategien zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz im Hinblick auf die EU-Wasserrahmenrichtlinie, den Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 2013, 93 S.

SOMMER, K., 2003: Grundlagen des "CULTAN"-Verfahrens. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Landbauforschung Völkenrode, 1 – 22.

SOMMER, K., 2005: CULTAN-Düngung. Physiologisch, ökologisch, ökonomisch optimiertes Düngungsverfahren für Ackerkulturen, Grünland, Gemüse, Zierpflanzen und Obstgehölze. Verlag Thomas Mann, Gelsenkirchen.

WEIMAR, S., 2003: Untersuchungen zur N-Düngung nach dem CULTAN-Verfahren bei Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln in Rheinland-Pfalz. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Landbauforschung Völkenrode, 23 – 44.

WEIMAR, S., 2013: Stickstoff richtig platzieren. *DLG-Mitteilungen*, Frankfurt, H. 1, 74-76.

Agrochemische und biotechnologische Methoden des Sojabohnenanbaus in Weißrussland

V.N. Bosak[1], T.V. Koloskova[2], V.V. Bosak[3]
[1] Weißrussische Staatliche Technologische Universität
[2] Forschungszentrum für Bioressourcen
[3] Weißrussische Staatliche Universität für Wirtschaftswissenschaften
Kontakt: bosak1@tut.by

Zusammenfassung

In einem Feldversuch zum Sojabohnenanbau auf einer Fahlerde steigerte sich der Kornertrag durch Einsatz von Mineraldüngern um 0,52-1,78 t ha^{-1}, durch Einsatz von Spurenelementen um 0,18-0,43 t ha^{-1}, durch Einsatz von Bakterienpräparaten um 0,39-0,68 t ha^{-1}. Der Gesamtertrag der Sojabohnen betrug in den Düngervarianten 1,63 - 3,02 t ha^{-1}, der Proteingehalt 26,5 - 33,4 % und der Ölgehalt 17,0 - 20,2 %.

Einleitung

Sojabohne (*Glycine max* (L.) Merr.) ist eine der wichtigsten Nahrungs-, Industrie- und Futterpflanzen der Welt (Босак *et al.*, 2011, 2012; Давыденко *et al.*, 2004; Халецкий *et al.*, 2012; Recknagel *et al.*, 2012; Simon *et al.*, 2012).

Sojabohnen haben einen hohen Gehalt an Protein (30-40 %) und Pflanzenöl (17-25 %). 88-90 % des Sojaproteins ist in der wasserlösliche Fraktion, 2-5% in der salzlöslichen Fraktion. Sojaprotein hat auch gute Verhältnisse von nicht essentiellen und essentiellen Aminosäuren, die denen tierischer Proteine ähneln. Pflanzenöl von Sojabohnen besteht aus gesättigten, einfach ungesättigten und mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Sojabohne enthalten außerdem 9-12 % löslichen Zucker, 3-9 % Stärke, 3-6 % Zellulose sowie viele Vitamine (A, B_1, B_2, B_3, B_6, C, K, PP, P), Makro- und Mikroelemente.

In der Republik Belarus begannen die ersten Untersuchungen mit Sojabohnen im Jahre 1980. In den letzten 10 Jahren wurden breite Untersuchungen für Sojabohnenselektion und Sojabohnenagrotechnik durchgeführt. Zurzeit werden 13 Sorten von Sojabohnen in der Republik Belarus angebaut, darunter 9 weißrussische Sorten. Eine Reihe von neuen Sojabohnensorten wird weiter untersucht.

Ziel der Untersuchungen bestand darin, den Einfluss der Mineral- und Bakteriendünger auf die Sojabohnenproduktivität auf einer Fahlerde festzustellen.

Material und Methoden

Die Sojabohnenproduktivität wurde im Feldversuch (2008-2010) in der Nähe von Pinsk, Weißrussland (Belarus) untersucht.

Der Boden wurde als Sand-Lehm-Fahlerde ($Ap-A_2B_1-B_2-D$) charakterisiert. Die wichtigsten Eigenschaften des Ap-Horizonts: pH_{KCl} 5,9-6,2, P_2O_5-Gehalt – 170-180 mg kg^{-1} (0,2 M HCl), K_2O-Gehalt – 220-240 mg kg^{-1} (0,2 M HCl), Humusgehalt – 1,8-2,0 % (0,4 M $K_2Cr_2O_7$), B-Gehalt – 0,5-0,6 mg kg^{-1} (H_2O), Cu-Gehalt – 1,6-1,7 mg kg^{-1} (1 M HCl), Zn-Gehalt – 4,1-4,3 mg kg^{-1} (1 M HCl), Mo-Gehalt – 0,08-0,09 mg kg^{-1} (Oxalatpuffer).
Im Feldversuch zum Sojabohnenanbau wurden verschiedene Mineraldünger (Harnstoff, Kaliumchlorid und Ammoniumsuperphosphat) in Applikationsmengen $N_{10-70}P_{40}K_{90}$, Spurenelemente (Borsäure – 300 g ha^{-1}, Mangansulfat – 220 g ha^{-1}, Ammoniummolybdat – 100 g ha^{-1}, Flüssigkomplexdünger $N_5P_7K_{10}B_{0,15}Mo_{0,01}$ – 10 l ha^{-1}) sowie stickstofffixierende (*Bradyrhizobium japonicum,* ТУ BY 100289066.065-2010) und phosphatmobilisierende (*Agrobacterium radiobacter 225B СМФ,* ТУ РБ 10028966.022-2002) Bakterienpräparate untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Mineraldünger sind die wichtigsten Faktoren für die Erhaltung hoher und stabiler Erträge der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen in Belarus, darunter auch der Sojabohnen (Босак *et al.*, 2011, 2012; Давыденко *et al.*, 2004; Халецкий *et al.*, 2012; Sturm *et al.*, 1994).

Tab. 1: Einfluss der Mineraldünger auf die Sojabohnenproduktivität

Varianten	Korn-ertrag t ha^{-1}	Ertrags-steigerung, t ha^{-1}	Protein-gehalt, %	Öl gehalt, %	Tausend-korngewicht, g
		Sojabohnen „Pripjat“			
Ohne Dünger	1,18	–	25,1	20,4	139,4
$N_{10}P_{40}K_{90}$	1,80	0,62	26,5	20,2	142,8
$N_{30}P_{40}K_{90}$	2,40	1,22	27,9	17,8	148,3
$N_{50}P_{40}K_{90}$	2,85	1,67	31,8	17,5	149,1
$N_{70}P_{40}K_{90}$	2,96	1,78	33,1	17,0	151,3
GD_{05}	0,15		1,4	1,4	4,2
		Sojabohnen „Jaselda“			
Ohne Dünger	1,11	–	26,6	19,2	122,4
$N_{10}P_{40}K_{90}$	1,63	0,52	28,0	18,0	135,6
$N_{30}P_{40}K_{90}$	2,12	1,01	30,1	17,4	140,3
$N_{50}P_{40}K_{90}$	2,72	1,61	31,6	17,2	143,5
$N_{70}P_{40}K_{90}$	2,86	1,75	32,9	17,1	144,9
GD_{05}	0,14		1,4	1,5	3,9

Beim Sojabohnenanbau (Sorte „Pripjat“) auf einer Fahlerde hat die Mineraldüngeranwendung $N_{10-70}P_{40}K_{90}$ den Kornertrag um 0,62-1,78 t ha^{-1} gesteigert (Tab. 1).

Der Gesamtertrag der Sojabohnen „Pripjat“ in den Düngervarianten betrug 1,80-2,96 t ha^{-1}, der Proteingehalt 26,5-33,1 % und der Ölgehalt 17,0-20,2 %. In den Untersuchungen mit Sojabohnen der Sorten „Jaselda“ haben die Mineraldünger den Kornertrag um 0,52-1,75 t ha^{-1} erhöht. Der Gesamtertrag der Sojabohnen „Jaselda“ in den Düngervarianten auf der Fahlerde betrug 1,63-2,86 t ha^{-1}, der Proteingehalt 28,0-32,9 % und der Ölgehalt 17,1-18,0 %.

Spurenelemente sind ebenfalls notwendige Bestandteile des Düngungssystems im aktuellen Ackerbau. Die Körnerleguminosen sind sehr empfindlich gegenüber Mangel an Spurenelementen, vor allem von Molybdän, Bor und Mangan (Босак, 2012; Халецкий *et al.*, 2012; Hempler, 2001; Makowski, 2000).
Die Anwendung der Spurenelemente beim Sojabohnenanbau hat den Kornertrag (Sorte „Pripjat“) um 0,18-0,43 t ha^{-1} bei hoher Qualität der Körner gesteigert (Tab. 2).

Tab. 2: Einfluss der Spurenelemente auf die Sojabohnenproduktivität

Varianten	Kornertrag, t ha^{-1}	Ertragssteigerung, t ha^{-1}	Proteingehalt, %	Ölgehalt, %
Ohne Dünger	1,18	–	25,1	20,4
$N_{30}P_{40}K_{90}$	2,40	–	27,9	17,8
$N_{30}P_{40}K_{90}$ + Mn	2,58	0,18	32,3	18,2
$N_{30}P_{40}K_{90}$ + Mo	2,67	0,27	32,6	18,0
$N_{30}P_{40}K_{90}$ + B	2,70	0,30	30,7	17,5
$N_{30}P_{40}K_{90}$ + FD*	2,83	0,43	32,9	17,8
$N_{50}P_{40}K_{90}$	2,85	–	31,8	17,5
GD_{05}	0,15		1,4	1,4

* FD – $N_5P_7K_{10}B_{0,15}Mo_{0,01}$ (10 lha^{-1})

Die Anwendung der Bakterienpräparate aktiviert die biologische Bodenaktivität und sichert die Erzielung hoher Nutzpflanzenerträge mit guter Qualität (Босак, 2012; Халецкий *et al.*, 2012; Zimmer *et al.*, 2012).
Die Inokulation der Sojabohnensamen mit stickstofffixierenden (Soyariz) und phosphatmobilisierten (Phytostimofos) Bakterien hat den Kornertrag (Sorte „Pripjat“) um 0,39-0,68 t ha^{-1} erhöht (Tab. 3).
Die Sojabohne hat eine erhebliche Menge symbiotischen Stickstoffs fixiert: 33,4-119,0 kg ha^{-1} oder 28-38 kg pro 1 t Kornertrag.
Die Rentabilität der Mineraldüngeranwendung beim Sojabohnenanbau betrug in Abhängigkeit der Verwendungsrichtung (Futter- oder Industrienutzung) 106-387%.

Tab. 3: Einfluss der Bakteriendünger auf die Sojabohnenproduktivität

Varianten	Kornertrag, t ha^{-1}	Ertragssteigerung, t ha^{-1}	Proteingehalt, %	Ölgehalt, %
Ohne Dünger	1,24	–	25,6	20,4
$N_{10}P_{40}K_{90}$	1,91	–	26,9	20,2
Soyariz + $N_{10}P_{40}K_{90}$	2,59	0,68	32,4	18,2
$N_{30}P_{40}K_{90}$	2,54	–	28,2	17,8
Soyariz + $N_{30}P_{40}K_{90}$	2,93	0,39	33,4	17,6
Phytostimofos + $N_{30}P_{20}K_{90}$	2,61	–	29,0	19,8
$N_{50}P_{40}K_{90}$	3,02	–	31,5	17,5
GD_{05}	0,16		1,5	1,4

Literaturverzeichnis

Босак, В.Н., 2012: Оптимизация питания растений. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 203.

Босак, В.Н.; Скорина, В.В.; Колоскова, Т.В.; Алещенкова, З.М. *et al*., 2011: Применение удобрений при возделывании сои. Минск: БГТУ, 24.

Давыденко, О.Г.; Голоенко, Д.Е.; Розенцвейг, В.Е., 2004: Соя для умеренного климата. Минск: Тэхналогія, 173.

Халецкий, В.Н.; Пуховская, Л.И.; Давыденко, О.Г.; Голоенко, Д.В.; Розенцвейг, В.Е.; Босак, В.Н., 2012: Основные приемы возделывания сои в Республике Беларусь. Минск, 24.

Recknagel, J.; Nußbaumer, H.; Wilbois, K., 2012: Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland – Erste Ergebnisse eines BÖLN-Projekts. *Mitteilungen Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **24**, 335-336.

Simon, R.; Frank, H.; Hülsbergen, K.-J.: Energie- und Treibhausbilanz des Sojaanbaus unter Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen – Methodik und erste Ergebnisse. Mitteilungen *Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **24**, 337-338.

Sturm, H.; Buchner, A.; Zerulla, W., 1994: Gezielter düngen. Integriert-Wirtschaftlich-Umweltgerecht. DLG-Verlags-GmbH, 471 S.

Hempler, K., 2001: Spuren- und Sekundärnährstoffe im Pflanzenbau. Frankfurt, 2001, 64 S.

Makowski, N., 2000: Körnerleguminosen. Gelsenkirchen: Verlag Th. Mann, 2000, 856 S.

Zimmer, S.; Meßmer, M.; Haase, Th.; Mindermann, A.; Schulz, H.; Wilbois, K.-P.; Heß, J., 2012: Eignung von *Bradyrhizobien*-Impfpräparaten zur Inokulation von Sojabohnen. *Mitteilungen Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **24**, 341-342.

Wirkung der Mineralstoffversorgung auf die photosynthetische Aktivität von Apfelblättern unter den Bedingungen der Zentralen Schwarzerderegion Russlands

A.I. Kuzin[1,2], Y.W. Trunov[2], E.M. Tsukanova[2], N.S. Vyazmikina[2]
[1] Staatliche Agraruniversität Michurinsk
[2] Russisches Forschungsinstitut für Gartenbau I.V. Michurin, Michurinsk, Russland
Kontakt: kuzin@mgau.ru

Zusammenfassung

In den Apfelplantagen des Russischen Forschungsinstituts für Gartenbau I. V. Michurin und des Lehrbetriebs „Komsomolez“ der Staatlichen Agraruniversität Michurinsk wurde bei den Sorten/Unterlage-Kombinationen Welsy/B118, Synap Orlovskiy/B118, Zhigulevskoe/B396 und Zhigulevskoe/B118 die Wirkung verschiedener Formen der Mineraldüngung auf Chlorophyllgehalte, die gebildete Blattfläche sowie die Aktivität der Photosynthese untersucht.

Eine verbesserte Nährstoffversorgung führte zu einem Anstieg der Blattfläche um ca. 15-20 % sowie einer Zunahme der Chlorophyll-Gehalte um bis zu 12 %, was die biologische Kapazität und auch wirtschaftliche Produktivität der Pflanzen deutlich erhöhte.

Zur genauen Beurteilung der pflanzlichen Chlorophyll-Aktivität wurden Fluoreszenz-Messungen durchgeführt. Eine Optimierung der Nährstoffversorgung der Pflanzen zur Stabilisierung des funktionellen Status der Apfelbäume wird insbesondere bei Anwendung der Blattdüngung in Kombination mit Fertigation (Applikation von Mineraldünger mit Bewässerungswasser) erreicht.

Stichworte: Apfelbäume, Chlorophyll, Photosynthese, Mineralernährung, Blattdüngung

Einleitung

Die Photosynthese spielt eine entscheidende Rolle bei der Ertragsbildung der Kulturpflanzen. Die Assimilationskapazität der Blätter differiert in erheblichem Maße, selbst innerhalb einer Pflanze. Sie hängt sowohl von äußeren Faktoren (Licht, Luft- und Bodenfeuchtigkeit, Temperatur, Verfügbarkeit von mineralischen Nährstoffen) als auch vom inneren physiologischen Zustand der Pflanze ab, der sich im Lauf von Wachstum und Entwicklung verändert (Fuju, 1985). Die photosynthetische Aktivität und der Ertragsbildungsprozess sind sehr eng mit der Blattfläche und den Chlorophyll-Gehalten verbunden (Trunov, 2010). Darauf haben viele Faktoren einschließlich der Mineralernährung entscheidenden Einfluss.

Es besteht daher großes Interesse an Untersuchungen zur Wirkung veränderter Mineralstoffversorgung auf die Chlorophyll-Gehalt der Blätter und ihre photosynthetische Aktivität.
Je höher die photosynthetische Aktivität des Chlorophylls ist, desto größer ist die Menge der synthetisierten organischen Stoffe, die für das Fruchtwachstum zur Verfügung stehen. Daher ist es sehr wichtig, die Chlorophyllgehalte während der Wachstumsperiode auf hohem Niveau zu halten.
Insbesondere ein Mangel an Stickstoff und Phosphor wirkt sich stark auf die Chlorophyll-Gehalte und die Intensität der Photosynthese aus. Am deutlichsten ist die Wirkung von Stickstoffmangel.
Es gibt eine enge Korrelation zwischen Chlorophyll-Gehalt und Gesamtstickstoff-gehalt der Pflanzen. Stickstoff als Strukturbestandteil beeinflusst die Chemie der Photosynthese und die Elektronen-Transport-Systeme. Phosphormangel reduziert die ATP-Synthese.
Daher ist die Optimierung der Mineralstoffversorgung ein sehr bedeutender Faktor für die Vergrößerung des photosynthetischen Potentials. Der Hauptweg der Nährstoffversorgung ist die Aufnahme über die Wurzeln, die ca. 90 % der benötigten Menge an Makronährstoffen ausmacht. Die restlichen 10 % des Pflanzenbedarfs können über Blattdüngung zugeführt werden. Eine wesentlich größere Bedeutung hat die Blattdüngung im Bereich der Mikronährstoffe. Bis zu 80 % der benötigten Menge an essentiellen Spurenelementen können so abgestimmt auf die phänologischen Phasen fristgerecht zugeführt werden. Blattdüngung kann eine ausgewogene Nährstoffversorgung über die Wurzel nicht ersetzen, aber eine wichtige Ergänzung sein (Trunov *et al.*, 2011).

Material und Methoden

In den Apfelplantagen des Russischen Forschungsinstituts für Gartenbau I. V. Michurin wurden Blattflächen, und Chlorophyllgehalte und die Aktivität der Photosynthese bei den Sorte/Unterlage-Kombinationen Wealthy/B-118, Synap Orlowski/B-118, Zhigulewskoje/B-396 und Zhigulevskoje/B-118 bei unterschiedlichem Niveau der Mineralstoffversorgung gemessen. Es wurden verschiedene Systeme der Blattdüngung ohne Bodendüngung, mit üblicher Bodendüngung und mit Fertigation kombiniert.
Die Blattapplikationen erfolgten in der frühen Knospenphase, im Rosenknospen-stadium, in der Phase der Vollblüte, zu Blühende, bei Walnussgröße der Früchte und im Laufe der Fruchtfüllung (insgesamt 9 Behandlungen).

- Komplex Master beruht auf Empfehlungen der AgroMaster GmBH, dem Vertreiber von Valagro-Präparaten in Russland
- System 1 – beinhaltet eine mehrfache Behandlung mit Megafol, einem Blattdünger auf Aminosäurebasis.
- System 2 beinhaltet eine mehrfache Behandlung mit Calbit C (Calcium-Komplex mit 15% CaO)
- System 3 kombiniert eine mehrfache Behandlung mit Calbit C + Megafol.

Außerdem eingesetzt wurden Boroplus (11 % B), Master (18 % N, 18 % P, 18 % K, 3 % Mg, 4 % S, 0,07 % Fe, 0,03 % Mn, 0,01 % Zn, 0,005 % Cu, 0,001 % Mo), Akwarin (14 % N, 4,3 % P, 23,2 % K, 1,5 % Mg, 1,5 % S), Edagum (Mischung von Humin- und Fulvosäuren 40-50 g l^{-1}), Ammoniumnitrat (34,4 % N), Tripelsuperphosphat (46 % P_2O_5), Kaliumchlorid (60% K_2O).
Chlorophyll-Gehalte wurden im alkoholischen Extrakt mit einem Photocolorimeter bestimmt. Als Maß für die Chlorophyllaktivität dient das Verhältnis zwischen maximaler variabler Fluoreszenz und maximaler Fluoreszenz des Chlorophyll a im Assimilationgewebe (F_v/F_m), gemessen mit dem Gerät IFSR-2 nach Genty *et al*. (1989) mit Adaptierung für Obstbäume nach Tsukanova (2007).

Ergebnisse und Diskussion

Im Durchschnitt von 6 Untersuchungsjahren führte Mineraldüngung bei den Apfelsorten Wealthy und Synap Orlovskij zu einer tendenziellen Vergrößerung der Blattfläche. Bei Wealthy wurden gegenüber 4,3 m^2/Baum bei der ungedüngten Kontrolle 5,0-5,3 m^2/Baum gemessen, bei Synap Orlovskij 7,1-7,4 m^2/Baum gegenüber 6,3 in der Kontrolle (Tab. 1).
Der Chlorophyll-Gehalt der Blätter der Sorte Wealthy stieg durch Mineraldüngung von 139,3 (Kontrolle) auf 145,2-166,2 mg/100 g FM, bei Synap Orlovskij von 147,7 (Kontrolle) auf 145,2-153,8 mg/100 g FM.
Die Unterschiede im Chlorophyll-Gehalt der beiden Sorten sind durch biologisch-genetische Besonderheiten zu erklären. Synap Orlovskij ist eine stärker wachsende Sorte, die mehr Blätter auf einem Baum hat als die Sorte Wealthy.
Die höchsten Chlorophyll-Gehalte wurden bei beiden Sorten in den Mineraldüngungsvarianten $N_{90}K_{90}$, $N_{180}K_{180}$, $N_{180}P_{90}K_{90}$ und $N_{180}P_{180}K_{180}$ erreicht.
Um den Zustand der Pflanzen und ihre Produktivität korrekt zu bewerten, reicht die Messung des Chlorophyll-Gehaltes nicht aus. Man muss auch die Dynamik der photosynthetischen Aktivität der Blätter und die Stabilität des Allgemeinzustandes der Pflanzen im Laufe Vegetationsperiode berücksichtigen.
Eine wichtige Bedeutung hat hierbei der durchschnittliche Kennwert der Aktivität der Photosynthese innerhalb der Vegetationsperiode (F_v/F_m). Das Optimum dieses Kennwertes für Apfel ist 0,77±0,02 relative Einheiten (r.E.) (Tsukanova, 2007). In unseren Versuchen mit Zhigulevskoje/B-118 und Zhigulevskoje/396 wurden Werte etwas unterhalb des Optimums gemessen (0,65-0,70 r.E. bei Pflanzen auf Unterlage B-396 und 0,56-0,66 auf Unterlage B-118 (Tab. 2)).

Tabelle 1: Wirkung der Mineraldüngung auf die Photosynthese-Kapazität von Apfelbäumen auf Unterlage B-118

	Blattfläche, m^2/Baum	Chlorophyll-Gehalt, mg / 100 g FM	Ernteertrag, t/ha
Wealthy			
Kontrolle	4,3	139,3	4,49
$N_{90}K_{90}$	5,1	145,2	5,90
$N_{180}K_{180}$	5,3	148,8	6,42
$N_{180}P_{90}K_{90}$	5,1	153,8	6,50
$N_{180}P_{180}K_{180}$	5,0	152,5	6,54
LSD ($p \leq 0,05$)			0,53
Synap Orlovskij			
Kontrolle	6,3	147,7	5,88
$N_{90}K_{90}$	7,1	157,6	7,78
$N_{180}K_{180}$	7,4	159,2	8,19
$N_{180}P_{90}K_{90}$	7,4	160,8	8,18
$N_{180}P_{180}K_{180}$	7,2	166,2	8,61
LSD ($p \leq 0,05$)			0,62

Die Optimierung von Mineralversorgung stabilisierte den Funktionzustand der Pflanzen. Deutlich wird das durch die geringe Variabilität der Photosynthese-Aktivität (F_v/F_m) (unter 0,0001 r.E.). Das Blattdüngungssystem 3 war bei Zigulevskoje/B-396 sowohl ohne Bodendüngung, mit Düngung und mit Fertigation am besten. Der Pflanzenzustand war jedoch in allen Varianten stabil. Im Versuche mit Zhigulevskoje/B-118 war die Behandlungen mit Edagum und Akwarin etwas besser als Blattdüngung zusammen mit Bodendüngung.

Bodendüngung $N_{180}K_{180}$ (Wealthy/B-118) und $N_{180}P_{90}K_{90}$ vergrößerte die Blattfläche um 22 % und die Chlorophyll-Gehalte um 21 %, was ein zusätzliches Potenzial für eine Erhöhung der Gesamtproduktivität der Bäume und auch der Ernte bedeutet.

Düngung mit Bewässerungswasser (Fertigation) zusammen mit System 3 auf B-396 und Düngung zusammen mit Edagum und Akwarin als Blattdüngung stabilisierte den Pflanzenzustand bei hohem Ertragsniveau.

Tabelle 2: Wirkung der Mineraldüngung auf die Aktivität der Photosynthese bei der Apfelsorte Zhigulevskoje auf den Unterlagen B-118 und B-396

			Aktivität der Photosynthese, F_v/F_m, r. E.			Variabilität der Photosynthese		
			Ohne hohes Ertrags-niveau	**Mit hohem Ertrags-niveau**	**Mittel**	**Ohne hohes Ertrags-niveau**	**Mit hohem Ertrags-niveau**	**Mittel**
			Zhigulevskoje/B-396					
1.	Kontrolle (ohne Düngung)	Ohne Blattdüngung	0,69	0,58	0,635	0,00169	0,04857	0,02513
2.		Komplex	0,68	0,57	0,625	0,00484	0,06187	0,03336
3.		System 1	0,69	0,61	0,650	0,00053	0,03761	0,01907
4.		System 2	0,69	0,65	0,670	0,00129	0,01263	0,00696
5.		System 3	0,69	0,55	0,620	0,00107	0,06815	0,03461
6.	Düngung ($N_{90}P_{30}K_0$)	Ohne Blattdüngung	0,65	0,58	0,615	0,00193	0,04224	0,02209
7.		Komplex	0,68	0,67	0,675	0,00350	0,00129	0,00240
8.		System 1	0,66	0,66	0,660	0,00622	0,01173	0,00898
9.		System 2	0,66	0,61	0,635	0,00530	0,01345	0,00938
10.		System 3	0,69	0,61	0,650	0,00014	0,03377	0,01696
11.	Fertigation ($N_{30}P_{10}K_0$)	Ohne Blattdüngung	0,68	0,57	0,625	0,00055	0,04873	0,02464
12.		Komplex	0,67	0,63	0,650	0,00158	0,02905	0,01532
13.		System 1	0,70	0,64	0,670	0,00063	0,01396	0,00730
14.		System 2	0,66	0,60	0,630	0,00075	0,03709	0,01892
15.		System 3	0,68	0,63	0,655	0,00060	0,01781	0,00921
			Zhigulevskoje/B-118					
1.	Kontrolle		0,59	0,60	0,595	0,01370	0,03909	0,02640
2.	Fruchtbehandlung		0,56	0,59	0,575	0,00795	0,03324	0,02060
3.	Akwarin 1%		0,63	0,53	0,580	0,00291	0,02298	0,01295
4.	$N_{90}P_{30}K_{120}$		0,63	0,63	0,630	0,00178	0,01498	0,00838
5.	$N_{90}P_{30}K_{120}$ + Fruchtbehandlung		0,64	0,64	0,640	0,00191	0,00930	0,00561
6.	$N_{90}P_{30}K_{120}$ +Akwarin1%		0,62	0,65	0,635	0,01510	0,02740	0,02125
7.	$N_{90}P_{30}K_{120}$+Edagum + Akwarin 1%		0,66	0,62	0,640	0,00057	0,01521	0,00789
8.	Edagum		0,66	0,63	0,645	0,00176	0,02832	0,01504
9.	$N_{90}P_{30}K_{120}$ + Edagum		0,66	0,67	0,665	0,00072	0,00039	0,00056
10.	$N_{90}P_{30}K_{120}$ + Fruchtbehandlung + Edagum + Akwarin1%		0,64	0,60	0,620	0,00247	0,05172	0,02710

Literaturverzeichnis

FUJU, J.A.; KENNEDY, R.A., 1985: Seasonal changes in the photosynthetic rate in apple trees in comparison between fruiting and non-fruiting trees. *Plant Physiology* **78**, 519-524.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J-M.; BAKER, N.R., 1989: The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta* **990**, 87-92.

TRUNOV, J.V.; KUZIN, A.I.; GREZNEV O.A., 2011: Einsatz von Düngemitteln in Obst. pp. 63-77. In: Das System der Apfelproduktion in Intensiv-Obstplantagen in Zentral-Russland. Trunov J.V. (ed.), Michurinsk. Woronezh (russ.).

TRUNOV, J.V., 2010: Mineralische Ernährung und Düngung der Äpfel. Mitschurinsk. – 398 p. (russ.)

TSUKANOVA, E.M., 2007: Expressdiagnostisches Verfahren zum Pflanzenzustand zur Erhöhung der Effektivität der Obst- und Beerenproduktion. In Autoreferat Habilitationsschrift. Mitschurinsk

Role of fertilizers and growth regulators in the improvement of winter wheat resistance to stress and yield

V. KALENSKI, S. KALENSKA, I. KACHURA, L. GONCHAR, A. MATVIENKO
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiew
Contact: inter@nauu.kiev.ua

Abstract
Yield of winter crops are strongly determined by the quality of sowing material and its presowing treatment that should provide not only protection from unfavorable environmental factors, but also stimulate initial plant growth. Due to advance in science in the last decades, absolutely new highly effective plant growth regulators were created. Hence it is necessary to estimate the effect of modern plant growth regulators on the plant organisms and their yielding capacity. Research on the peculiarities of modern plant growth regulators action on winter wheat plants and its influence on yield structure quantity and quality is presented in this article.
Keywords: Plant growth regulators, winter wheat (*Triticum aestivum* L.), mineral fertilizers, yielding capacity, grain quality.

Introduction
Yield of winter crops are strongly determined by the quality of sowing material and its presowing treatment that should provide not only protection from unfavorable environmental factors, but also stimulate initial plant growth. Many Ukrainian scientists put a high value to a presowing seed preparation (Анішин, 2009; Григор'єва, 2009; Калитка and Золотухіна, 2011; Пономаренко *et al*., 2003).
For presowing seat coating, usually mixtures are used which consists of growth regulators, micronutrients, pesticides and film forming agents. Micronutrients favors to water transport through the cell membranes, and are transported with the water flows to germ activate biochemical processes in it, enhance field germination and germ viability, promote stem and root growth. Micronutrients are also able to increase plant resistance to unfavorable environmental factors, such as low temperatures, drought and other (Пономаренко *et al*., 2003).
Intensive cultivation of agricultural crops aiming on high yields, considers a rather wide use of chemicals thus multifunctional compounds preferably are able to mitigate or eliminate chemical stress and optimize production processes.
Due to advance in science in the last decades, absolutely new highly effective plant growth regulators were created. Modern preparations directly influence physiological and biochemical processes in plant organisms and significantly increase yield and quality of crops through better realization of plants genetic potential and enhancing of plant resistance to stresses (Лозінськи, 2002; Рябчун and Іванова, 2002).

These biological preparations guarantee economy expediency of high amounts of nitrogen fertilizers and low rates of pesticides application and are “technological insurance” of crops against negative action of biotic and abiotic factors (Файт, 2005).

Materials and Methods

Experimental work was carried out during 2010-2012 years in the stationary trial of the Crop Science Department of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine on typical black soil.

A three-factorial field trial was established to improve the efficiency of complex chemicals in technology of winter wheat growing with different fertilization rates:

- Factor A – “Variety”: 1. Національна; 2. Brilliant.
- Factor B – “Fertilization”: 1. Control (treated with water); 2. Lamardor 400 FS, treatment of seed, 0.15 l/t; 3. Deimos, treatment of seed, 0.6 l/t; 4. Lamardor 400 FS + Deimos (0.15+0.6 l/t); 5. Deimos, treatment of seed, 0.6 l/t + Antistress, spraying on the crop in autumn, 1.5 l/ha; 6. Antistress, spraying on the crop in autumn,
  1.5 l/ha.

Lamardor 400 FS (Bayer Crop Science) is a fungicide for seed treatment. Active agents are protioconazole 250 g/l+ tebuconazole 150 g/l.

Deimos (PE «ПКФ «Импторгсервис») is a growth regulator with fungicide and antioxidant action suitable for seed treatment and spraying during vegetation. Active agent is a bio-mineral polymeric complex that consist of polymers with different molecular weight, a mixture of sodium and ammonium humates, bishofit, cydisept, dimethylsulfoxide, and extract from the leaves of stevia.

Antistress (PE «ПКФ «Импторгсервис») is a growth regulator wit cryo- and fungi-protective action and adaptogenic properties to plants overwintering. Active agents are humic acids, endophytic fungi, dimethylsulfoxide, glycerin, phosphorus (about 50%) and potassium (about 50 %).

Results and discussion

Fertilization with micro and macro nutrients has a significant influence on sugar contents of plants. Phosphorus and potassium fertilizers increase sugar contents whereas nitrogen fertilizers decrease sugar contents of plants.

Treatment of seed with Deimos favored the secondary root system development and enhanced tillering. Complex application of Deimos and Antistress increased sugar content in plants and the percentage of survived plants after overwintering (Table 1).

Presowing seed treatment of plants with Deimos increased field germination ability and the percentage of survived plants by 15 – 20 %.

Presowing seed treatment favored a more intense leaf area enlarging, slower tissues ageing and accumulation of dry matter in spike or more active assimilates redistribution.

Assimilation apparatus productivity and pigments content in the flag leaf had been also increased. It favored the development of such adaptive feature as high water retention ability of tissues that help to resist stress factors such as drought and high temperature.

Plant structural components formation is also defined by an effective functioning of root system (Fig. 1, 2). With application of Deimos, a more intensive development of root system in autumn period was observed.

The major part of secondary root system forms closer to soil surface that favors to more intense assimilation of water and nutrients.

Main elements of yield structure which forms biological backgrounds of yield are: amount of plants per square meter before harvesting, amount of productive tillers, amount of spikelets in spike, amount of grains per spike and 1000 grain weight (Table 2).

Application of mineral fertilizers and growth regulators significantly influence the amount of grains per spike. The control treatment achieved 18.6-29.1 grains per spike whereas the amount increased with application of fertilizers to 26.8-34.0 pcs. and to 36.6-39.0 pcs. with application of Deimos on the background of mineral fertilizers. In addition, the application of Deimos together with mineral fertilizers increased the grain weight per ear to 1.35-1.52 g, which is 0.2-0.7 g higher than control. Application of Antistress also improved yield structure indexes. Amount of grains per spike was 36.9-47.6 pcs. and weight of grain 1.28-2.11 g, depending on the variety.

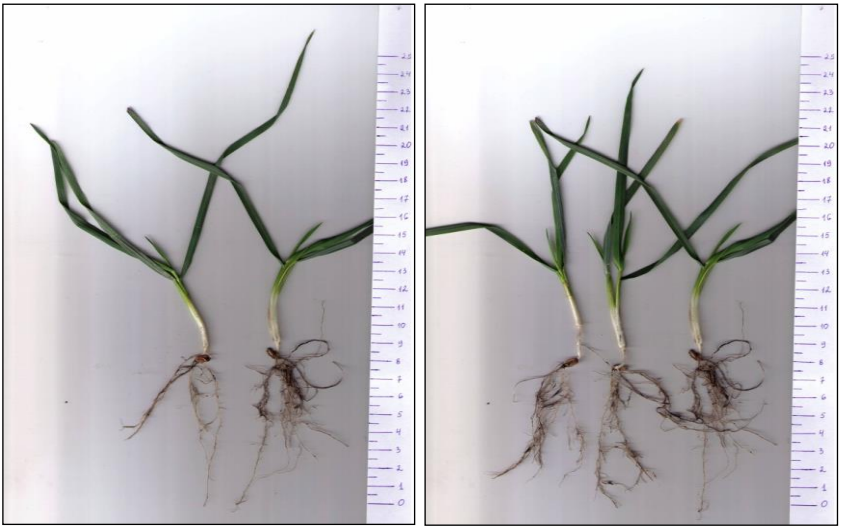
A main target of any improvement of crop cultivation technology is increase in yield. The yield quantity depending on estimated treatments is shown in the Table 3.

Table 1: Survival of winter wheat after overwintering, %

Variety	Variant	Control	$N_{30}P_{90}K_{90}$ $N_{30}N_{30}$	$N_{30}P_{120}K_{120}$ $N_{30}N_{30}N_{30}$
Brilliant	a. Control (water)	78.0	90.6	91.8
	b. lamardor	80.0	91.0	92.3
	c. Lamardor+ Deimos	81.5	92.0	98.0
	d. Deimos	80.5	91.8	97.7
	e. Deimos+ Antistress	85.0	97.0	98.5
	f. Antistress	81.0	93.0	94.0
Natsional'na	a. Control (Water)	83.7	92.7	93.0
	b. Lamardor	84.6	93.4	94.0
	c. Lamardor+ Deimos	86.0	94.0	95.0
	d. Deimos	85.6	93.0	99.0
	e. Deimos+ Antistress	88.0	95.0	99.5
	f. Antistress	86.0	94.0	95.0

a) b)

Figure. 1: General appearance of winter wheat plants (Natcionalna variety); a) to the left: seeds treated with Deimos; to the right – control; b) to the left: seeds treated with Deimos; to the right – seeds treated with Lamardor



a) b)

Figure 2: General appearance of winter wheat plants (Brilliant variety): a) to the left: control; to the right - seeds treated with Deimos; b) to the left: seeds treated with Lamardor; to the right – seeds treated with Deimos

Table 2: Structure of yield of winter wheat varieties depending on cultivation technology elements 2010-2011.

Parameter	Variant					
	Control (spraying with water)			Deimos		
	Control (Without fertilizers)	$N_{90}P_{90}K_{90}$	$N_{120}P_{120}K_{120}$	**Control (Without fertilizers)**	$N_{90}P_{90}K_{90}$	$N_{120}P_{120}K_{120}$
Natcionalna variety						
Amount of plants, pcs/m^2	244	264	280	260	300	332
General tillers amount, pcs/m^2	296	366	432	620	658	736
General tillering index	1.1	1.4	1.5	2.4	2.1	2.2
Productive tillers amount, pcs/m^2	164	508	810	279	808	1010
Productive tillering index	0.7	1.9	2.9	1.1	2.7	3.0
Spike length, cm	6.1	7.0	7.6	9.3	9.5	9.6
Amount of spikelets per spike, pcs.	13	18	18	18	18	18
Amount of grain per spike, pcs.	18.6	22.9	26.8	36.2	36.4	36.6
Weight of grain per spike, g	0.65	1.04	1.22	0.93	1.20	1.35
1000 grain weight, g	34.0	35.76	36.66	34.85	35.88	36.86
Brilliant variety						
Amount of plants, pcs/m^2	153	235	271	213	289	344
General tillers amount, pcs/m^2	304	788	1016	446	978	1198
General tillering index	2.0	3.3	3.8	2.1	3.4	3.5
Productive tillers amount, pcs/m^2	274	757	1007	399	880	1188
Productive tillering index	1.8	3.2	3.7	1.9	3.0	3.5
Spike length, cm	6.5	7.0	7.8	7.3	7.7	8.6
Amount of spikelets per spike, pcs.	16	16	16	15	16	18
Amount of grain per spike, pcs.	29.1	33.8	34	29	33	39
Weight of grain per spike, g	1.07	1.38	1.46	1.19	1.45	1.52
1000 grain weight, g	31.3	33.9	35.0	35.7	36.2	36.8

Table 3: Yield of winter wheat, t/ha

Variety	Variant	Control	$N_{30}P_{90}K_{90}$ $N_{30II+30IV}$	$N_{30}P_{120}K_{120}$ $N_{30II+30IV+30VII}$
Brilliant	a. Control (water)	2.55	4.77	6.00
	b. Lamardor	2.94	5.32	6.52
	c. Lamardor+ Deimos	3.05	6.34	7.56
	d. Deimos	2.92	5.25	6.80
	e. Antistress	2.89	5.20	6.41
	f. Deimos+ Antistress	3.12	6.82	7.71
Nacionalna	a. Control (Water)	2.20	4.25	5.77
	b. Lamardor	2.66	5.21	6.39
	c. Lamardor+ Deimos	2.94	6.06	7.21
	d. Deimos	2.61	5.86	6.51
	e. Antistress	2.34	5.70	6.12
	f. Deimos + Antistress	3.08	6.56	7.42

Maximal grain yield of winter wheat (6.8 t/ha and 6.5 t/ha for Brilliant variety and Nacionalna variety, respectively) was achieved with application of $N_{30}P_{120}K_{120}+N_{30(II)}+N_{30(IV)}+N_{30(VII)}$ and presowing treatment of seeds with Deimos. In comparison, yields of control treatments were 2.55 and 2.20 t/ha, respectively. Application of daimos increased the yield by 0.37 and 0.41 t/ha in average for Brilliant variety and Nacionalna variety, respectively.

This equates to a yield increase by 10-15% and 15-20 % by presowing treatment of seeds with Deimos if applied together with mineral fertilizers. Treatment of seeds with Deimos and plants with Antistress on the background of mineral fertilizers increased yields by 20-30 %.

Conclusions

During the autumn vegetation, morphological differences between the plants were observed depending on fertilization and complex chemicals application. Significant differences in development of root system and intensity of tillering (side shoots formation) were observed. At the end of vegetation time in autumn, the amount of tillers per plant was 5-6 with seed treatment with Deimos compared to 1-2 in control treatments. Application of growth regulators and mineral fertilizers had strong positive effects on plant survival after overwintering. Percentage of survived plants was up to 8% and 12.6% higher than control with application of growth regulators and mineral fertilizers, respectively. Application of fertilizers increased the yield by 3.45-3.53 t/ha. Application of fertilizers in complex with antistress chemicals and plants growth regulators led to yield increases of more than 5 t/ha.

Reference list

Анішин, Л.А., 2009: Ефективність регуляторів росту за різних доз та способів їх внесення на посівах пшениці озимої: посібник українського хлібороба. – Київ. С. 105-106.

Григор'єва, Т.М, 2009: Вплив регуляторів росту на урожайність ячменю ярого в умовах північного Степу України. Інститут зернового господарства. –. – Бюл. №36. С. 114-120.

Калитка, В.В.; Золотухіна, З.В., 2011: Продуктивність пшениці озимої за передпосівної обробки насіння антистресовою композицією [Електронний ресурс] –Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua /portal/chem_biol/nvnau_agro/2011_162_1/11zzv. pdf.

Лозінський, М.В., 2002: Проблема підвищення зимостійкості сортів озимої пшениці. Вісник БДАУ. – Вип. 24. – Біла Церква, С. 145 – 151.

Пономаренко, С.П.; Анишин, Л.А;. Жилкин, В.О; Грицаенко, З.М., 2003: Технологии применения РРР в земледелии. Справочное пособие. К. 54 с.

Рябчун; Н.І.;. Іванова, В.М., 2002: Стійкість нових сортів озимої пшениці до несприятливих умов зимівлі. Адаптивная селекция растений. Теория и практика: Тезисы межд. конф. 11–14 нояб. 2002 г., Харьков, ИР им. В. Я. Юрьева. 2002. С. 28 – 29.

Файт, В.І., 2005: Морозостійкість і урожайність окремих сортів озимої пшениці. Вісник аграрної науки. №11. С.25 – 29.

Präzisierung der Stickstoffdüngung zu verschiedenen Stadien des Weizens in Abhängigkeit von Standort und Bestandesentwicklung

H. SCHÖNBERGER[1], B. BAUER[2]
[1] N.U. Agrar GmbH
[2] IfBP e.V., Schackenthal
Kontakt: NU-agrar@NU-agrar.de

Zusammenfassung

Die Stickstoffdüngung sichert den Stickstoffbedarf der Pflanzen für die notwendige Proteinbildung. Gleichzeitig hat Stickstoff eine Steuerungsfunktion für die Ausbildung der Ertragsorgane. Aus diesem Grund ist die stadienbezogene Stickstoffdüngung ein wesentlicher Baustein der Bestandesführung (Hanus u. Schönberger, 1979, Schönberger, 1981, Schönberger, 1983).
In langjährigen Feldversuchen wurden die Grundlagen für die Präzisierung der stadien-bezogenen Stickstoffdüngung erarbeitet, die durch die N.U. Agrar GmbH bereits seit Jahren in die Praxis eingeführt wurde (N.U. Agrar INFO). Das Verfahren beruht auf der Ermittlung des Stickstoffbedarfes in den Phasen des Bestandesaufbaus, der Ausbildung der Ertragsorgane und während der Kornfüllung unter Berücksichtigung des mineralischen Stickstoffvorrates (N_{min}, Scharpf, 1977) und der Mineralisation (N_{mob}, Schönberger, 1983). Die Terminierung der Düngung orientiert sich an kritischen Stadien der Bestandes- und der generativen Entwicklung (Harms, 1982, Kropf, 1992).

Einleitung

Die Ertragsbildung des Getreides vollzieht sich in den Phasen der Bildung der vegetativen Masse (Blätter, Triebe), der Anlage und Ausbildung der Speicherorgane (ährentragende Halme mit Karyopsen) und der Kornbildung und Kornfüllung (Harms, 1982). Durch die Stickstoffdüngung wird der Mengenbedarf für die notwendige Proteinbildung ergänzt. Gleichzeitig greift aber die Stickstoffdüngung in die phytohormonelle Regulation ein und steuert auf diese Weise die Ausbildung der Ertragsorgane und die Translokation der Assimilate in die Speicherorgane (Hanus und Müller, 1984, Bauer, 2004, Bauer, 2006).
Die Stickstoffdüngung lässt sich somit nicht allein auf die Kalkulation des Mengenbedarfes reduzieren. Für die Ertragsbildung entscheidend ist vielmehr auch die Terminierung der Stickstoffdüngung (Darwinkel, 1983).Die Aufteilung der Stickstoffdüngung ist die logische Konsequenz, um sich der witterungsbedingt unterschiedlichen Entwicklung der Bestände anpassen zu können.
Mit der Startgabe (1. N-Gabe für den Bestandesaufbau) wird zu Beginn der Bestockung Einfluss genommen auf die Triebbildung und den Bestandesaufbau, ab dem 6-Blattstadium des Haupttriebes wirkt sich die Stickstoffdüngung nur noch auf die Bildung von Trieben höherer Ordnung sowie auf die Ährchenanlage aus.

Die 2. N-Gabe (für den Ertragsaufbau) wirkt sich auf die Triebreduktion aus. Je früher die 2. N-Gabe fällt, umso mehr spät angelegte Triebe bleiben erhalten.
In dichten Beständen darf deshalb die 2. N-Gabe nicht zu früh zum Wirken kommen. Ab der „Großen Periode“ (EC 32) kann auf die Reduktion von Ährchen- und Blütenanlagen Einfluss genommen werden. Damit erhält die Düngung zu diesem Termin ein besonderes Gewicht für die Ertragsbildung.
Mit der Spätgabe (3. N-Gabe für Kornbildung und Qualität) wird auf den Blüten- und Kornansatz, auf die Keimlings- und Endospermbildung und auf die spätere Qualität (Rohprotein-gehalt, Sedimentationswert) Einfluss genommen (Kropf, 1992).
Der Gesamtbedarf an Stickstoff setzt sich aus dem Aufnahmebedarf der Pflanzen und dem Reststickstoff im Boden zusammen, den die Pflanzen nicht ausnutzen. Für die Bemessung der jeweiligen Teilgaben sind vom Gesamtbedarf in einer Entwicklungsphase der mineralisierte Stickstoffvorrat (N_{min}) und der nachlieferbare Stickstoff (N_{mob}) zu berücksichtigen (Schönberger, 1983).
Durch die Teilung der Stickstoffdüngung werden die Risiken eines temporären Stickstoffüberschusses vermindert, der die Konkurrenz im Bestand verschärft und sich somit negativ auf die Ertragsstruktur auswirkt, das Lagerrisiko erhöht bzw. die Translokation von Assimilaten aus vegetativen Pflanzenteilen in die Ähren und Körner verzögert (Neben, 1980).

Entwicklung eines Verfahrens zur Präzisierung der Stickstoffdüngung

Theoretischer Ansatz

Auf der Basis langjähriger Feldversuche wurde in der N.U. Agrar GmbH ein praxistaugliches Verfahren zur Prognose der entscheidenden „kritischen Phasen“ der Entwicklung von Weizen-Beständen entwickelt. Die Prognose berücksichtigt den Witterungsverlauf nach dem Auflaufen des Weizens (Temperatursumme, Strahlungsintensität), den sortentypischen Anspruch an Vernalisation und Photoperiode sowie die voraussichtliche Folgewitterung.
Die Präzisierung der Höhe der N-Düngung zu den kritischen Terminen beruht auf der Berechnung des Aufnahmebedarfes und der Berücksichtigung von Zuschlägen in Abhängigkeit von Bodenart, Wassergehalt im Boden und Entwicklung des Wurzelwerkes. Von dem daraus ermittelten N-Bedarf wird das N-Angebot aus dem Boden abgezogen.
Dieses setzt sich zusammen aus dem bereits mineralisierten Stickstoffvorrat im Boden (N_{min}) und der Nachlieferung an Stickstoff aus der organischen Substanz des Bodens (N_{mob}). Der Stickstoffvorrat im Boden kann gemessen werden. N_{mob} wird anhand von Bodenparametern (Ackerzahl, Humusgehalt und -zusammensetzung, Strukturkenndaten, Bodenfeuchte) und Angaben zur Vorfrucht geschätzt.

Auf dieser Prognose der Bestandesentwicklung unter Berücksichtigung des Bestandesaufbaus, und der Messung des N_{min}-Vorrates im Boden sowie der Schätzung der N-Freisetzung aus dem Boden beruht das in den Beratungsbetrieben der N.U. Agrar GmbH seit 20 Jahren eingeführte und inzwischen immer mehr verfeinerte Verfahren zur Präzisierung der Stickstoffdüngung.

Tab. 1: Prognose des Entwicklungsverlaufes von Winterweizen in Abhängigkeit vom Aussaattermin auf dem Standort Bernburg (2012)

EC Stadium		Einfluss auf ...	früh	spät	Entwicklungs-stadium
EC 00			20.09.	01.11.	
EC 21	N1	Anlage der Seitentriebe & Ährchen	20.10.	01.04.	Beginn Bestockung
EC 25			20.03.	10.04.	Doppelring
EC 29/30	N2	Triebreduktion & Ährchenreduktion	20.04.	03.05.	Spitzenährchen
EC 31/32			03.05.	10.05.	Große Periode
EC 37/39	N3a	Blütenfertilität	16.05.	24.05.	Fahnenblatt
EC 39/49	N3b	Qualität	23.05.	01.06.	
EC 59/61			26.05.	04.06.	Ährenschieben
EC 71			25.06.	28.06.	Kornfüllung

Datenbasis

Grundlage für dieses Verfahren zur Präzisierung der Stickstoffdüngung bildeten langjährig durchgeführte Versuche mit der Stickstoffdüngung zu verschiedenen Entwicklungsstadien des Getreides, die in Hohenschulen (Lehrstuhl Allgemeiner Pflanzenbau, CAU Kiel), Dikopshof (Uni Bonn), Roggenstein (Dennert, TU München-Weihenstephan) und auf den Versuchsstandorten der N.U. Agrar GmbH in Flensburg, Langenstein-Böhnshausen und Untermerzbach sowie in Friedrichsthal (Versuchsring Ostholstein) durchgeführt wurden.
In diesen Versuchen wurden N_{min}-Werte gemessen und die N-Freisetzung aus dem Boden in den nicht mit Stickstoff gedüngten Kontrollparzellen ermittelt sowie vegetationsbegleitend Daten zur Bestandesentwicklung (Stadium, Triebe je Pflanze bzw. je m²) festgehalten und die Erträge mit der Ertragsstruktur erfasst.
Diese Versuche bildeten das Grundgerüst, das durch verfügbare Einzelergebnisse aus Versuchen mit verwertbarer Datengrundlage verschiedener Versuchsansteller (Landwirtschaftskammern, Landesanstalten, Ämter für Landwirtschaft) ergänzt und verdichtet wurde.

Tab. 2: Versuchsstandorte

Standort	Versuchsansteller	Lkr.	Boden	Zeitraum
Hohenschulen	CAU Kiel	Rendsburg	D 5, sL, AZ 55	1974 bis 1986
Weseby/ Maasbüll	N.U. Agrar GmbH	Schleswig	D 4, LS, AZ 48	1987 bis 2012
Friedrichsthal	Versuchsring	Ostholstein	D 6, L, AZ 65	1997 bis 2012
Dikopshof	Universität Bonn	Rhein-Erft-Kreis	Lö1, uL, AZ 85	1975 bis 1984
Langenstein	N.U. Agrar GmbH	Halberstadt	Lö2, uL, AZ 82	1994 bis 2012
Derenburg	N.U. Agrar GmbH	Wernigerode	D 4, lS, AZ 35	2001 bis 2012
Untermerzbach	N.U. Agrar GmbH	Hassberge	V 5, tS, AZ 35	1994 bis 2012
Roggenstein	TU Weihenstephan	Fürstenfeldbruck	D 5, sL, AZ 55	1981 bis 2006

Beispiele für die Präzisierung der N-Düngung zu Winterweizen

Parameter für die Stickstoffberechnung

In das Berechnungsschema der N.U. Agrar GmbH gehen für die **Startgabe (N1 für den Bestandesaufbau)** folgende Parameter ein:

- Zielbestand (Ähren je m²) in Abhängigkeit von Sorte und Standort
- Feldaufgang und Entwicklung bis Vegetationsbeginn im Frühjahr
- N-Aufnahme bis Abschluss der Ährenanlage („Spitzenährchen“)
- N-Konzentration in der Wurzelzone, um die N-Aufnahme zu gewährleisten.
- gemessener N_{min}-Vorrat im bis zum Schossen nutzbaren Wurzelraum
- prognostizierte N-Nachlieferung (N_{mob}) bis EC 31.

Für die **Ertragsdüngung (N2 für den Ertragsaufbau)** sind folgende Parameter notwendig:

- Ertragsziel und angestrebter Proteingehalt
- Bestandesentwicklung 14 Tage vor Abschluss der Ährenanlage
- N-Aufnahme bis zur Blüte in Abhängigkeit vom Ertragsziel und Proteingehalt
- N-Konzentration in der Wurzelzone
- gemessener N_{min}-Vorrat im gesamten Wurzelraum
- prognostizierte N-Nachlieferung (N_{mob}) bis EC 61.

Der **Termin der N2** wird aufgrund der Bestandesentwicklung festgelegt. Die Düngung erfolgt

- in EC 27/29, wenn der Bestand 14 Tage vor Abschluss der Ährenanlage weniger Triebe aufweist, als Ähren je m² angestrebt werden,
- in EC 30/31, wenn der Bestand zum o.g. Termin bis zu 50 % mehr Triebe gebildet hat, als später Ähren erwartet werden,
- in EC 31/32, wenn mehr als das Doppelte an Trieben vorhanden ist, als später Ähren notwendig sind.

Die **N-Spätdüngung (N3 für Ertrag und Qualität)** wird analog zu den vorherigen Schritten berechnet:

- Ertragsziel und Proteingehalt
- Bestandesentwicklung im Fahnenblattstadium
- N-Aufnahme nach der Blüte in Abhängigkeit von Ertragsziel und Proteingehalt
- N-Konzentration in der Wurzelzone
- gemessener N_{min}-Vorrat im gesamten Wurzelraum
- prognostizierte N-Nachlieferung (N_{mob}) bis zur Reife.

Der Termin für die Spätgabe orientiert sich an den Standortverhältnissen. Die Düngung erfolgt auf Trockenstandorten bereits in EC 32/37, auf Standorten gesicherter Wasserver-sorgung in EC 39/49. Eine Teilung der N3 ist aufgrund der Erfahrung auch bei hohen Düngergaben nur dann zweckmäßig, wenn genug Wasser für eine sichere Wirkung zur Verfügung steht.

Vorstellung der Beispielsschläge

Als Beispiel wurden Weizenschläge ausgewählt, die auf der Finne, in der Gemarkung Bad Bibra liegen. Der Boden ist als tonig-lehmiger Kalksteinverwitterungsboden mit 65 Bodenpunkten eingestuft.

Die Sorte „JB Asano“ wurde nach Raps am 15.09. mit 220 Körnern je m² bestellt. Bis zum Frühjahr hatte „JB Asano“ 4 kräftige Triebe mit 6 schwachen Trieben je Pflanze gebildet und bereits 25 kg/ha N in Spross und Wurzel aufgenommen. Auf dem 300 m hoch liegenden Standort können 100 dt/ha Weizenertrag geerntet werden, dazu ist ein Bestand mit 500 Ähren je m² notwendig.

Nach Zuckerrüben wurde am 25.10. die Sorte „Akteur“ mit 420 Körnern je m² gesät. Dieser Weizen lief erst im Dezember auf und hatte bis zum Frühjahr erst 3 Blätter je Pflanze gebildet und 3 kg/ha N aufgenommen. Der Einzelährentyp „Akteur“ benötigt 450 Ähren für ein Ertragsniveau von 80 dt/ha.

Die N_{min}-Gehalte lagen unter Weizen nach Raps bei 45 kg/ha, davon 25 kg/ha N in der Krume (0-30 cm). Unter dem Zuckerrübenweizen wurden 40 kg/ha N_{min} gemessen, davon die Hälfte in der Krume. Nach Raps wurde eine voraussichtliche N-Freisetzung aus dem Boden (N_{mob}) von 110 kg/ha N errechnet, nach Zuckerrüben von 90 kg/ha N.

Tab. 3: Gemessene N_{min}-Werte (2012) und berechnete N_{mob}-Werte des Beispielschlages

Vorfrucht	Aussaat	N_{min}	bis EC 31	bis EC 59	bis EC 75
Winterraps	15.09.	45	5	60	110
Zuckerrüben	25.11.	40	0	40	90

Tab. 4: Berechnung der Startgabe in Abhängigkeit von Sorte und Saattermin

Bodenart	**Kalksteinverwitterung RendzinaTL**	
Bodenpunkte	65	
Saatzeit	15.09.	25.10.
Sorte	JB Asano	Akteur
Zielähren/m²	500	450
N-Aufnahme		
bis EC 30/31	55	60
bis EC 32		
- aufgenommener N	25	3
= Sollaufnahme	30	57
+ Zuschlag für Rest-N	40	60
Aufdüngungsziel	70	117
- N_{min} (0 - 30 cm)	25	20
- N_{mob} (bis EC 30)	5	10
= Startgabe	**40**	**87**
(1. N-Gabe)	**HST**	**KAS/ASS**

Kalkulation der Teilgaben

Berechnung der Startgabe (1. N-Gabe)

Für 500 Ähren je m² muss der JB Asano 55 kg/ha N bis EC 31 aufnehmen. Nach Abzug von 25 kg/ha N, die der Weizen bereits im Herbst aufgenommen hat, bleiben noch 30 kg/ha N, die der Weizen noch bis EC 31 aufnehmen muss. Zusätzlich muss der Reststickstoff im Boden berücksichtigt werden, den die Pflanze nicht nutzen kann. Die Menge des Reststickstoff hängt ab

- von der Bodenart: Je bindiger der Boden ist, umso mehr Reststickstoff bleibt im Boden,
- vom Wassergehalt des Bodens: Je trockener, umso schlechter wird der Stickstoff im Boden verwertet,
- und von der Durchwurzelung des Bodens: Je intensiver, umso besser wird der Stickstoff im Boden ausgenutzt.

Im vorliegenden Fall ist von 40 kg/ha N in den oberen 30 cm des Bodens auszugehen, die der Weizen nicht verwerten kann.
Sollaufnahme und Reststickstoff stellen zusammen das Aufdüngungsziel (70 kg/ha N) dar, von dem der in der Krume (bis 30 cm) gemessene N_{min}-Wert und die berechnete voraussichtliche N-Nachlieferung bis zum Schossen (EC 30) abgezogen werden. Für den frühen Rapsweizen errechnet sich somit eine Startgabe von 40 kg/ha N.
Für den spät gesäten Rübenweizen lässt sich folgender Rechengang aufstellen: Die schwache Entwicklung des Bestandes zu Vegetationsbeginn erfordert, den N-Bedarf für den Bestandesaufbau bis EC 32 sicherzustellen, 60 kg/ha N für 450 Ähren je m². Davon können noch 3 kg/ha N abgezogen werden, die im Bestand im 3-Blattstadium bei 400 Pflanzen je m² enthalten sind. Zusammen mit dem Reststickstoff von 60 kg/ha N wegen der schwächeren Wurzelausbildung errechnet sich ein Aufdüngungsziel von 117 kg/ha N.
Davon werden der N_{min}-Wert in der Krume (20 kg/ha N) und die voraussichtliche N-Nachlieferung bis zur Anschlussdüngung (10 kg/ha N) abgezogen. Das ergibt eine Startgabe von 87 kg/ha N.

Berechnung der Ertragsdüngung (2. N-Gabe)

Die N-Aufnahme bis zur Blüte ergibt sich aus dem Bedarf für den Bestandesaufbau und für die Bildung der Ähren sowie dem N-Pool, der im Spross angelegt wird, um den hohen N-Bedarf der Karyopsen nach der Befruchtung sicherzustellen.
Die N-Aufnahme während des Schossens korreliert eng mit dem Ertragspotential, aber auch mit dem Rohproteingehalt im Korn.
Für den „JB Asano“ ergibt sich folgender Rechengang. Bei einer Ertragserwartung von 100 dt/ha und einer Soll-Bestandesdichte von 500 Ähren/m² soll der Bestand bis zur Blüte 160 kg/ha N aufnehmen. Zusammen mit dem Rest-Stickstoff im Wurzelraum von 70 kg/ha N ergibt sich ein Aufdüngungsziel von 230 kg/ha N, von dem der N_{min}-Gehalt im Wurzelraum (45 kg/ha N) und die voraussichtliche N-Freisetzung aus der organischen Substanz des Bodens (N_{mob} = 60 kg/ha N) abgezogen werden.
Der Saldo spiegelt den N-Düngungsbedarf für die 1. und 2. N-Düngung (125 kg/ha N) wider. Davon wird die Startgabe abgezogen, aus der Differenz ergibt sich der Düngerbedarf für die 2. N-Gabe (85 kg/ha N).
Der später gesäte „Akteur“ soll bis zur Blüte 155 kg/ha N für ein Ertragsniveau von 80 dt/ha mit 14,5 % Protein bei 450 Ähren je m² aufnehmen.
Daraus leitet sich ein Aufdüngungsziel von 225 kg/ha N ab, wenn 70 kg/ha Rest-Stickstoff angesetzt werden.
Nach Abzug von N_{min} (40 kg/ha N) und N_{mob} (40 kg/ha) verbleiben 145 kg/ha N für die Summe aus 1. und 2. N-Gabe. Nach einer Startgabe von 87 kg/ha N sind dann noch 58 kg/ha N als 2. N-Gabe notwendig.

Tab. 5: Berechnung der Ertragsdüngung (2. N-Gabe) zu Winterweizen in Abhängigkeit von Sorte und Saattermin

Bodenart	**Kalksteinverwitterung Rendzina TL**	
Bodenpunkte	65	
Saatzeit	15.09.	25.10.
Vorfrucht	Raps	Zuckerrüben
Ertragsziel	100	80
N-Aufnahme bis EC 59	160	155
+ nicht verwertbarer N im Wurzelraum	70	70
N-Bedarf bis EC 61	230	225
- Nmin (0 - 60 cm)	45	40
- Nmob (bis Blüte)	60	40
- N org. Düngung	0	0
1. + 2. N-Gabe	125	145
– Startgabe N1	40	87
= 2. N-Gabe	85	58

Termin der 2. N-Gabe (Ertragsdüngung)

Der Termin der 2. N-Gabe ergibt sich aus der Bestandesentwicklung, die 14 Tage vor Schossbeginn bonitiert wird. In schwach entwickelten Beständen muss die 2. N-Gabe bis Schossbeginn fallen. Optimale entwickelte Bestände werden in EC 31 gedüngt, wenn das Spitzenährchen aufgestellt wird. Üppige Bestände sollen die 2. N-Gabe erst in EC 31/32 erhalten, wenn die Triebreduktion bereits eingesetzt hat.

Berechnung der Spätdüngung (3. N-Gabe)

Für die Berechnung der Spätdüngung wird die voraussichtliche N-Aufnahme bis zur Teigreife in Abhängigkeit von der Bestandesentwicklung und des zum Zeitpunkt der Düngung noch realistische Ertragspotentials sowie des angestrebten Rohproteingehalts zugrunde gelegt. Dazu wird der Rest-Stickstoff berücksichtigt, der nach der Ernte im Boden verbleibt. Daraus ergibt sich der N-Gesamtbedarf.
Von diesem werden abgezogen der N_{min}-Wert im Wurzelraum und die kalkulierte N-Freisetzung bis Ende der N-Einlagerung (N_{mob}). Daraus ergibt sich der Gesamtdüngungsbedarf an Stickstoff, von dem die ersten beiden, tatsächlich gefallenen N-Gaben abgezogen werden, um die Höhe der Spätgabe festzulegen.
Die 3. N-Gabe wird in EC 37 gegeben, wenn das Fahnenblatt spitzt.
Für 95 dt/ha, die zum Zeitpunkt der Spätgabe noch als realistisch erschienen, mit 12,5 % Rohproteingehalt muss der „JB Asano“ insgesamt in Korn, Stroh und Wurzel 290 kg/ha N aufnehmen. Zusammen mit dem Rest-Stickstoff von 80 kg/ha N (meist trockener, toniger Boden) ergibt sich ein N-Gesamtbedarf von 370 kg/ha N. Nach Abzug von N_{min} (45 kg/ha N) und N_{mob} (110 kg/ha N) müssen 215 kg/ha N gedüngt werden. Davon werden die bereits gedüngten 135 kg/ha N abgezogen. Danach sind noch 80 kg/ha N als Spätgabe notwendig.

Für „Akteur“ ergibt sich folgender Spätdüngungsbedarf: Für den noch erreichbaren Ertrag von 75 dt/ha mit 14,5 % Eiweiß muss „Akteur“ insgesamt 250 kg/ha N aufnehmen. Mit dem Rest-Stickstoff von 80 kg/ha N müssen 330 kg/ha N zur Verfügung stehen.
Davon werden 40 kg/ha N_{min} und 90 kg/ha N_{mob} abgezogen. Daraus ergibt sich ein Gesamtdüngungsbedarf von 200 kg/ha N. Davon werden 145 kg/ha N abgezogen, die zum Starten und zum Schossen bereits gedüngt wurden. Danach sind noch 55 kg/ha N als Spätgabe notwendig.

Tab. 6: Berechnung der Spätdüngung (3. N-Gabe) zu Winterweizen in Abhängigkeit von Sorte und Saattermin

Bodenart	**Kalksteinverwitterung Rendzina TL**	
Bodenpunkte	65	
Saatzeit	15.09.	25.10.
Vorfrucht	Raps	Zuckerrüben
Ertragsziel t/ha (Proteingehalt)	9,5 (12,5 %)	7,5 (14,5 %)
N-Aufnahme gesamt	290	250
+ nicht verwertbarer N im Wurzelraum (Rest-N)	80	80
N-Gesamtbedarf	370	330
- N_{min} (Wurzelraum)	45	40
- N_{mob}	110	90
- N org. Düngung	0	0
N-Gesamtdüngungsbedarf	215	200
– bereits gedüngter N (N1 + N2)	135	145
Spätdüngung (Qualität)	80	55

Diskussion

Das beschriebene Verfahren bildet seit 1987 die Grundlage der Stickstoffdüngung in den Beratungsbetrieben der N.U. Agrar GmbH. Die dazu notwendigen Parameter wurden immer mehr verfeinert und erlauben eine Differenzierung der Düngung auch auf Teilschlägen.
Die Prognose der generativen Entwicklung und die Kenndaten der entwicklungsbezogenen N-Aufnahme haben sich als belastbar erwiesen. Nach wie vor sind die Parameter, die die N-Freisetzung aus dem Boden kennzeichnen, mit Unsicherheiten behaftet. Selbst die N_{min}-Gehalte sind größeren Schwankungen unterworfen, wenn die Probenahme bereits in einer Wachstumsphase erfolgt.
Um gravierende Fehleinschätzungen zu vermeiden, erfolgt für die Praxis ergänzend zu den Messungen eine laufende Berechnung der N-Freisetzung aus dem Boden auf der Basis von Bodenparametern und örtlichen Wetterdaten, um bei größeren Abweichungen Kontrolluntersuchungen durchzuführen.

Unterstützt wird das Verfahren deshalb durch die visuelle Erfassung der N-Versorgung der Pflanzen mit Hilfe eines Düngerfensters bzw. durch die Messung des N-Status der Pflanzen mit Hilfe eines kommerziellen Schnelltest.

Literatur

BAUER, B., 2004: Influence of different nitrogen forms on cytokinin transport and tillering in spring barley, Masterarbeit, Institut für Pflanzenernährung, Hohenheim

BAUER, B., 2012: Mit der N-Düngung die Bestockung steuern, *Top Agrar* **02/2012**

DENNERT, J., 2006: Versuche zur N-Düngung in Getreide auf dem Versuchsgut der TU München-Weihenstephan, 1984 bis 2006, pers. Mitt.

HANUS, H.; MÜLLER, R., 1984: Einfluß verschiedener N-Düngungssysteme auf den endogenen Gehalt an Cytokininen und Gibberellinen und die Ertragsbildung von Weizen. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* **97**, 241-256.

HANUS, H.; SCHÖNBERGER, H., 1979: Mit gezielter N-Düngung zu stabilen Getreideerträgen, *DLG-Mitteilungen* **1/1979**, 64-66.

HARMS, H., 1982: Organogenese und Ertragsbildung der Weizenähre in Haupt- und Nebentrieben in Abhängigkeit von N-Versorgung, Standraum und Saatzeit, Diss., Lehrstuhl Allgemeiner Pflanzenbau, Kiel 1982

HEYLAND, K.-U., 1986: Versuche zur N-Düngung des Lehrstuhl Spezieller Pflanzenbau auf dem Dikopshof, Datensammlung 1974 bis 2006

Landwirtschaftskammer Hannover: Versuchsberichte 1980 bis 1996

Landwirtschaftskammer Bonn: Versuchsberichte 1980 bis 2004

Landwirtschaftskammer Münster: Versuchsberichte 1980 bis 1996

KIRBY, E.J.M., 1985: Significant stages of ear development in winter wheat. In: Wheat growth and modeling. Vol. 86. Hrsg. Day, W., W. und R.K. Atkin. NATO advanced study series, Series A, Life Science, Plenum press, New York 7-24

KIRBY, E.J.M.; FARIS; D.G., 1972: Plant population induced growth correlations in the barley plant main shoot and possible hormonal mechanism. *J. Agric. Sci.* **21**, 787-789

KROPF, U., 1992: Vegetative und generative Entwicklung von Haupt- und Nebentrieben des Winterweizens (*Triticum aestivum* L., cv. Kanzler und cv. Ares) – Felderhebungen auf ausgewählten Standorten der Bundesrepublik Deutschland in den Vegetationsperioden 1986/87 und 1987/88. Diss., Lehrstuhl Allgemeiner Pflanzenbau , Kiel

NIEHOFF, K.-H., 1978: Möglichkeiten der Kompensation witterungsbedingter Schwankungen der Ertragsstruktur einiger Weizen- und Gerstensorten durch variierte N- Ernährung. Diss., Lehrstuhl Allgemeiner Pflanzenbau, Kiel

SCHARPF, H.-C., 1976: Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den N- Düngungsbedarf. Diss. Hannover

SCHÖNBERGER, H., 1981: Wie viel, wie oft und wann soll Stickstoff gedüngt werden? *DLG-Mitteilungen* **2/1981**, 60-65

SCHÖNBERGER, H., SCHOOP, P., 1981: Approvisionnement du sol en azotepour la culture du blèd`hiver dans differentes techniques de production en region climatique maritime froide du Schleswig-Holstein. Commission des Communantes Europèennes, Division VI F4 – Coordination da la Recherche Agronomique, Communications Scientifiques presentèes au Seminar de Toulouse (France), 68-82.

SCHÖNBERGER, H.; SLOTTA, U., 1983: Quantifizierung des Einflusses von Standort und Bestandesentwicklung auf den N-Bedarf von Winterweizen. *Landw. Forschung*, **Sonderheft 40**, 1983, 373-383.

Versuchsring Ostholstein 2012: Versuchsberichte 1998 bis 2011

Der Einfluss unterschiedlicher Bodenfeuchten auf gasförmige N-Verluste aus dem Boden nach Gärrestdüngung

FRIEDHELM HERBST[1], JÜRGEN AUGUSTIN[2], OLIVER SPOTT[3], WOLFGANG GANS[1]

[1] Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Professur für Pflanzenernährung, Halle

[2] Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. (ZALF), Institut für Landschaftsbiogeochemie Müncheberg

[3] Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ), Department Bodenphysik, Halle

Kontakt: friedhelm.herbst@landw.uni-halle.de

Zusammenfassung

In einem Mikroparzellenversuch unter Freilandbedingungen und einem Laborversuch wurde der Einfluss der Bodenfeuchte auf die Freisetzung von Ammoniak (NH_3) und Lachgas (N_2O) nach einer Gärrestapplikation untersucht. Dabei wurde die gegensätzliche Wirkung der Bodenfeuchte auf die Freisetzung beider Gase deutlich. Während eine zunehmende Bodenfeuchte die Freisetzung von Ammoniak verminderte, wurde die von Lachgas erhöht. Ergänzende Bodenuntersuchungen auf den N_{min}-Gehalt im Boden zu Versuchsende im Laborversuch ergaben, dass sowohl unter trockenen als auch feuchten Bodenbedingungen die N_{min}-Menge im Boden vermindert war. Unter trockenen Bodenbedingungen ist es vermutlich zu einer reduzierten Mineralisation von organisch gebundenem Stickstoff gekommen. Für den feuchten Boden ist als Hauptursache eine verstärkte Freisetzung von molekularem Stickstoff (N_2) anzunehmen, welcher unter anaeroben Bodenbedingungen durch die Reduktion von Lachgas gebildet wird.

Einleitung

Nach der Applikation von Düngestoffen, wie z.B. Gärresten, kommt es im Boden zu verschiedenartigen Umsetzungsprozessen, deren Ausmaß wesentlich von der Bodenfeuchte bestimmt wird. Diese Umsetzungsprozesse führen zur Bildung verschiedener klimarelevanter Gase (bspw. N_2O) und stellen darüber hinaus im Fall N-haltiger Gase einen Nährstoffverlust für die Pflanzenproduktion dar.

Im Rahmen eines FNR-Projektes zur Minderung der Freisetzung von klimarelevanten Gasen bei Einsatz von Gärresten aus Biogasanlagen wurde der Einfluss der Bodenfeuchte auf die Freisetzung der klimarelevanten Gase Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und Ammoniak (NH_3) erfasst. Nachfolgend wird die Freisetzung der N-haltigen Gase in zwei Versuchen dargestellt.

Material und Methoden

Es werden Ergebnisse eines Mikroparzellenversuches mit Maisanbau und eines ergänzenden Laborversuches ohne Pflanzenwuchs demonstriert.

Im Mikroparzellenversuch unter Freilandbedingungen am Standort Halle/Heide herrschten natürliche Witterungsbedingungen. Die Bodenfeuchte wurde durch eine zeitweise Abdeckung der Parzellen bzw. durch eine zusätzliche Wasserzufuhr variiert. Die Messung der Bodenfeuchte erfolgte zu den Gasmessterminen in 0-5 cm Bodentiefe mittels Sonde (ThetaProbe ML2). Die Freisetzung von Ammoniak wurde zu drei Terminen im täglichen Abstand im Zeitraum 13 Uhr bis 6 Uhr und von Lachgas zu acht Terminen im wöchtlichem Abstand für eine Stunde zwischen 10 und 14 Uhr geprüft. Dabei wurde vor dem vorletzten Messtermin die bis dahin trockene Variante befeuchtet, um den Effekt der Befeuchtung auf die Lachgasfreisetzung zu erfassen. Die Prüfvarianten sind in Tab. 1 und weitere Details zum Versuch in Tab. 2 aufgeführt.

Tab. 1: Prüfvarianten im Mikroparzellenversuch

Variante	Düngung	Bodenfeuchte nach Versuchsansatz	Abkürzung
1	ohne	natürlich	ohne Gärrest
2	Gärrest	natürlich	GR - normal
3	Gärrest	verringert durch zeitweise Abdeckung	GR - trocken
4	Gärrest	erhöht durch zusätzliche Wasserzufuhr	GR - feucht
4 Wiederholungen/Variante			

Der Laborversuch fand bei Raumtemperatur (21-23 °C) statt. Es wurden fünf verschiedene Bodenfeuchtevarianten geprüft. Nach der Applikation des Gärrestes blieb die Bodenfeuchte im Versuchsverlauf relativ konstant.

Die ermittelten Bodenfeuchtwerte stellen einen Mittelwert über die gesamte Bodenmasse (350 g Boden pro Gefäß) dar, so dass bei den Varianten mit hoher Bodenfeuchte eine vollständige Wassersättigung in Teilen des Bodens wahrscheinlich ist. Die Freisetzung von Ammoniak wurde im täglichen Intervall bis zum Erreichen der Nachweisgrenze erfasst (bis 9 Tage nach der Applikation).

Die Messung der Freisetzung von Lachgas erfolgte im Abstand von 1-3 Tagen bis 28 Tage nach der Applikation. Zu Versuchsende wurde im Boden der N_{min}-Gehalt (NH_4-N und NO_3-N) untersucht. Die Prüfvarianten sind in Tab. 3 und weitere Details zum Versuch in Tab. 4 aufgeführt. Die Kenndaten der geprüften Böden und Gärreste sind in Tab. 5 zusammengefaßt.

Tab. 2: Versuchsdaten des Mikroparzellenversuches

Gärrest	aus Biogasanlage Kleinwanzleben (aus Schweinegülle und Maissilage)
Düngermenge	äquivalent 30 t /ha bzw. 92 kg NH_4-N/ha, eingearbeitet
Mikroparzellen	50 cm Durchmesser = 0,2 m^2
Messzeitraum	17.5. – 5.7.2011 (49 Tage)
Messtermine	3 x NH_3, 8 x N_2O
Gasmesssystem	Gashauben mit 0,11 m^3, für NH_3: Glasschalen mit Borsäure, für N_2O: Vakuumflaschen
Gasanalysen	NH_3: mittels Borsäure und potentiometrischer Titration mit H_2SO_4 N_2O: gaschromatogaphisch (Messungen im ZALF Müncheberg)

Tab. 3: Prüfvarianten im Laborversuch

Variante	**Bodenfeuchte**	
1	Außenluft (Kontrollvariante)	
	vor der Gärrestapplikation	nach der Gärrestapplikation
2	0 % der maximalen Wasserkapazität	18 % der maximalen Wasserkapazität
3	14 % der maximalen Wasserkapazität	30 % der maximalen Wasserkapazität
4	24 % der maximalen Wasserkapazität	39 % der maximalen Wasserkapazität
5	37 % der maximalen Wasserkapazität	50 % der maximalen Wasserkapazität
6	48 % der maximalen Wasserkapazität	60 % der maximalen Wasserkapazität
3 Wiederholungen/Variante		

Tab. 4: Versuchsdaten des Laborversuches

Gärrest	aus Biogasanlage Bad Lauchstädt (aus Rindergülle und Maissilage)
Düngermenge	äquivalent 100 kg NH_4-N/ha, eingearbeitet
Messzeitraum	31.1. – 28.2.2011 (28 Tage)
Messtermine	10 x NH_3, 20 x N_2O
Gasmesssystem	Saugflaschen mit 1120 cm^3, Schlauchpumpe, für NH_3: Waschflaschen, für N_2O: Vials
Gasanalysen	NH_3: mittels Borsäure und potentiometrischer Titration mit H_2SO_4 N_2O: gaschromatogaphisch (Messungen im UFZ Leipzig-Halle)
Bodenanalyse	N_{min}: Bodenextraktion mit 0,0125 M $CaCl_2$ und Wasserdampfdestillation

Tab.5: Kenndaten der geprüften Böden und Gärreste

Kenndaten	Maßeinheit	Wert	
		Mikroparzellenversuch	**Laborversuch**
		Boden	
Bodenart		Lehm	sandiger Lehm
pH-Wert		7,5	6,4
N_{min}	mg /100 g	1,7	2,9
Gesamt-Stickstoff	%	0,111	0,116
Gesamt-Kohlenstoff	%	1,34	1,18
		Gärrest	
Trockensubstanz	%	8,2	8,8
pH-Wert		7,9	7,9
Ammonium-N	% in FM	0,307	0,304
Gesamt-Stickstoff	% in FM	0,600	0,563
Gesamt-Kohlenstoff	% in FM	3,21	3,12

Ergebnisse und Diskussion

Der Verlauf der Bodenfeuchte im Mikroparzellenversuch ist in Abb. 5 dargestellt. Zu Versuchsbeginn bestand zwischen den Varianten „normal“ und „trocken“ wegen ausgebliebener Niederschläge kein Unterschied. Die Variante „feucht“ zeigte in diesem Zeitraum aufgrund der Wasserzufuhr höhere Bodenfeuchtewerte. Deutliche Unterschiede zwischen allen 3 Varianten bestanden nur im Zeitraum zwischen 20 und 35 Tagen nach Versuchsbeginn. Am Versuchsende waren die Bodenfeuchtewerte in alle 3 Varianten nahezu identisch.

Der Einfluss der Bodenfeuchte auf die Ammoniak- und Lachgasfreisetzung nach einer Gärrestapplikation zeigte im Mikroparzellenversuch sowie im Laborversuch prinzipiell gleiche Tendenzen (Abb. 6-9).

Mit zunehmender Bodenfeuchte nahmen die Ammoniakfreisetzung ab und die Lachgasemission zu. Die besondere Bedeutung hoher Bodenfeuchte wird vor allem auch bei der Variante „trocken“ im Mikroparzellenversuch deutlich, bei der eine künstliche Befeuchtung am Ende des Versuchs zu einer deutlichen Zunahme der Lachgasfreisetzung führte (Abb. 7). In den Varianten „normal“ und „feucht“ erfolgte trotz ähnlicher Bodenfeuchtewerte zu Versuchsende ein deutlich verzögerter bzw. kein vergleichbarer Anstieg der Lachgasemissionen.

Die Ammoniakfreisetzung war nach der Applikation am höchsten und fiel danach kontinuierlich ab. Das Maximum der Lachgasfreisetzung wurde erst nach einigen Tagen bzw. Wochen erreicht.

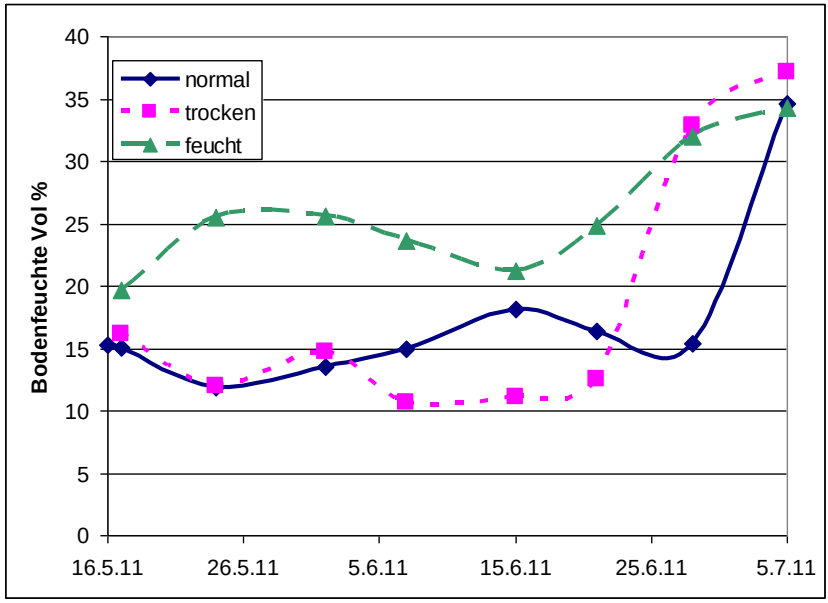
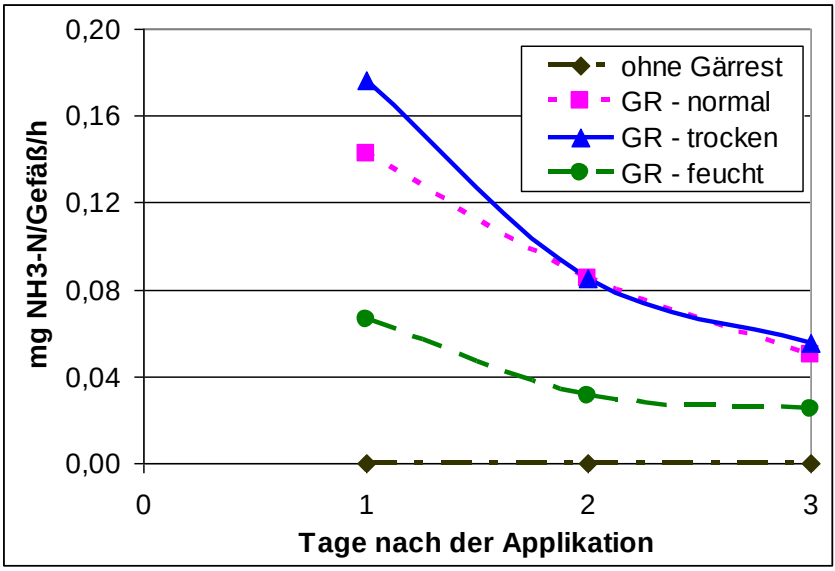


Abb. 5: Verlauf des Bodenfeuchtegehaltes im Mikroparzellenversuch



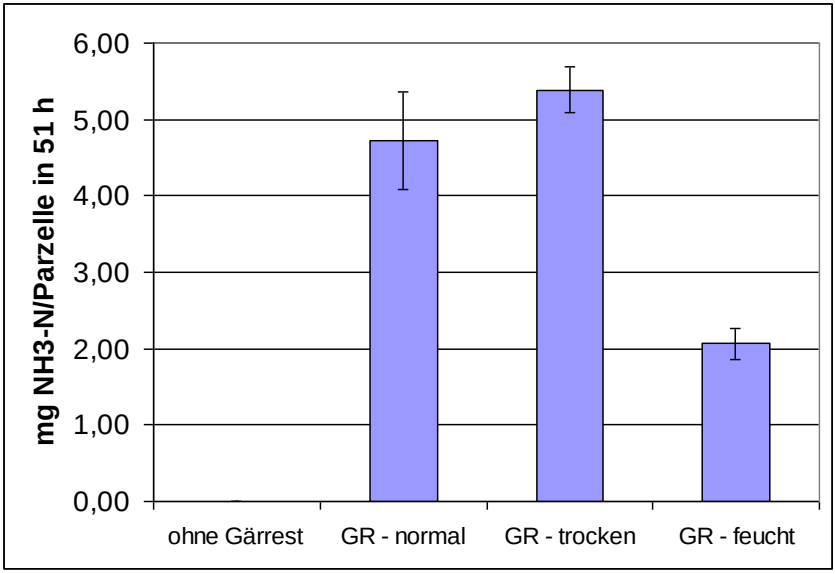
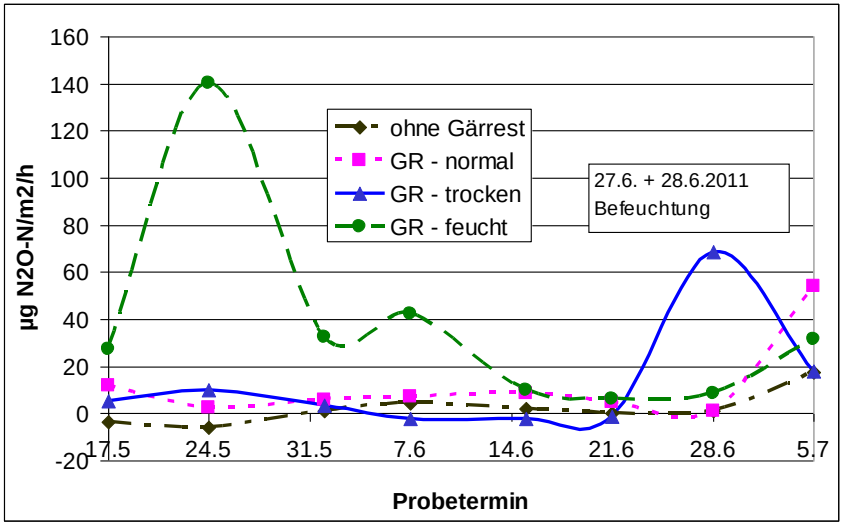


Abb. 6: Ammoniakfreisetzung im Mikroparzellenversuch



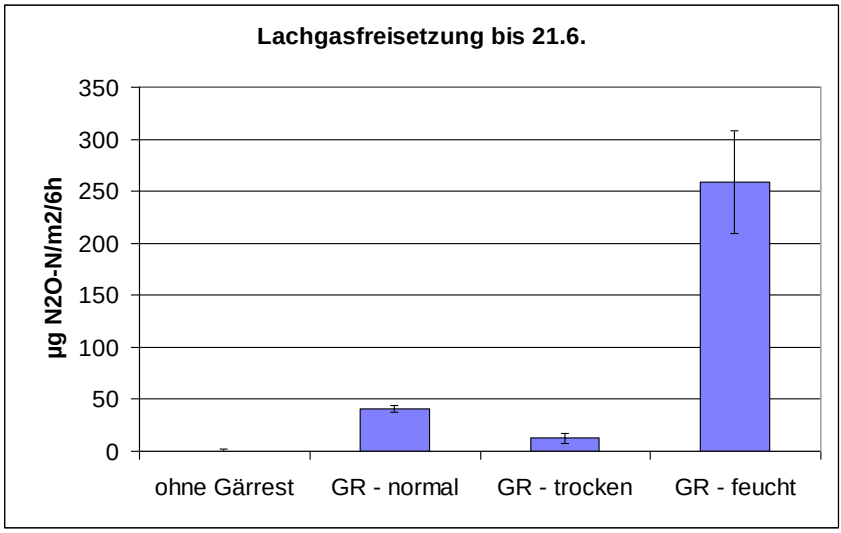
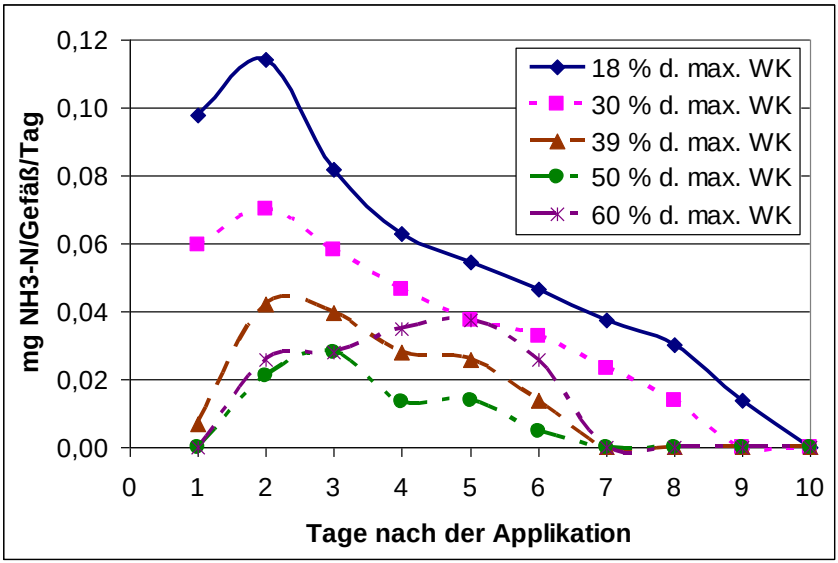


Abb. 7: Lachgasfreisetzung im Mikroparzellenversuch



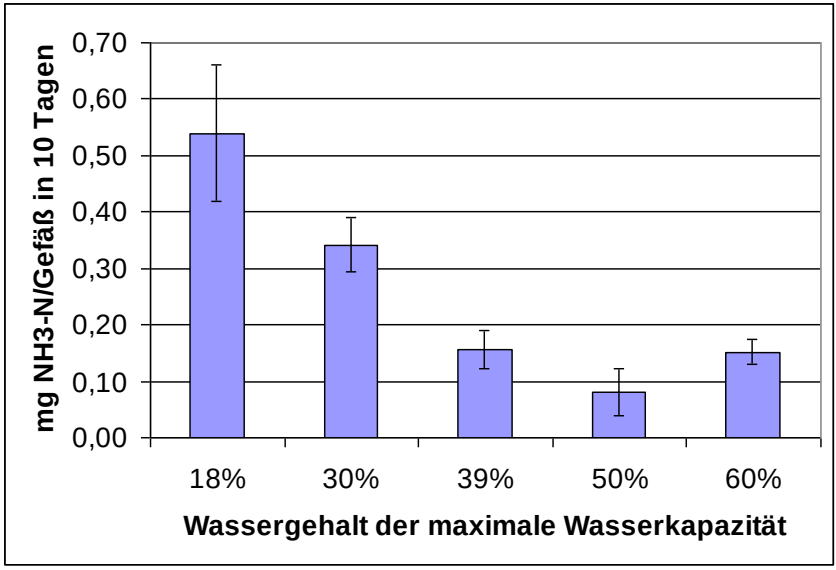
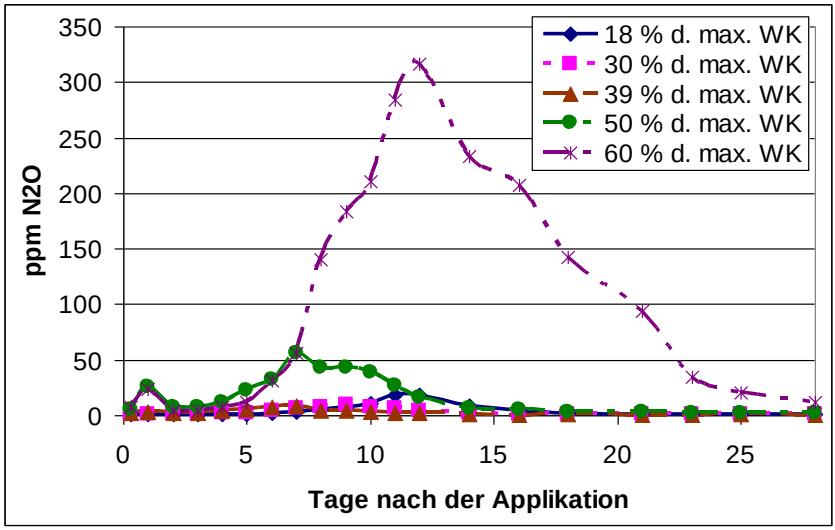


Abb. 8: Ammoniakfreisetzung im Laborversuch



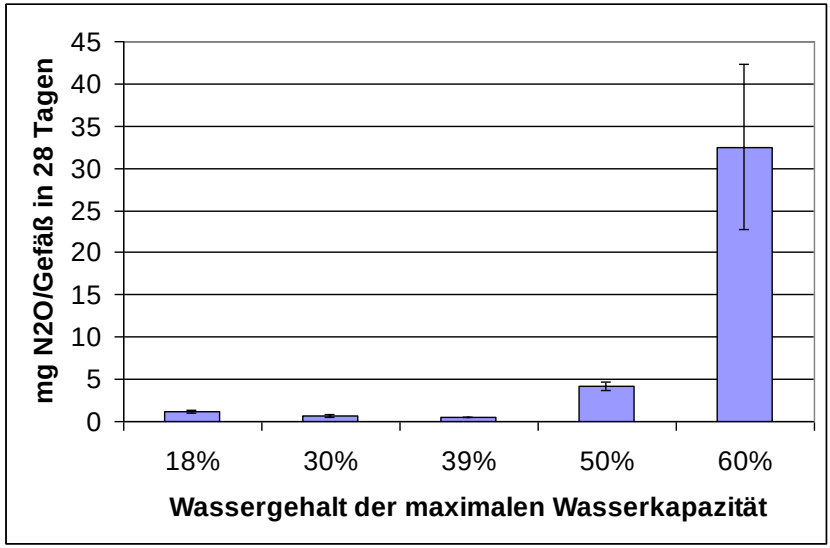


Abb. 9: Lachgasfreisetzung im Laborversuch

Die Ursachen für das unterschiedliche Emissionsverhalten beider Gase, insbesondere bezüglich ihrer Abhängigkeit von der Bodenfeuchte, lassen sich auf unterschiedliche Umsetzungsprozesse zurückführen. Ammoniak wird durch eine chemische Reaktion aus Ammonium-Ionen freigesetzt. Es tritt insbesondere unmittelbar nach der Applikation von ammoniumhaltigen Düngestoffen auf, wenn der pH-Wert im alkalischen Bereich liegt. Aufgrund seiner sehr guten Wasserlöslichkeit sowie der im Wasser stark verminderten diffusiven Transportgeschwindigkeit wird die Freisetzung von Ammoniak bei zunehmender Bodenfeuchte deutlich reduziert.
Im Gegensatz dazu wird Lachgas im Wesentlichen mikrobiell und vor allem unter reduzierenden Bedingungen (Sauerstoffarmut) gebildet. Eine Lachgasfreisetzung kann demnach nach Applikation eines Gärrestes erst im Zuge seiner mikrobiellen Bildung erfolgen. Die Lachgasbildung wird dabei maßgeblich vom verfügbaren Sauerstoff im Boden beeinflusst. Eine zunehmende Bodenfeuchte vermindert diese Sauerstoffmenge, wodurch es zu einer verstärkten Lachgasbildung kommt.
Die N_{min}-Bodenuntersuchung zu Versuchsende im Laborversuch (Abb. 10) ergab, dass die geringste sowie die höchste Bodenfeuchte zu einer stärkeren Verminderung der N_{min}-Mengen geführt haben. Im trockensten Boden war offensichtlich die Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs im Gärrest eingeschränkt. Darauf weist auch hin, dass in dieser Prüfvariante die Nitrifikation des zugeführten Ammonium-N bis Versuchsende noch nicht abgeschlossen war.

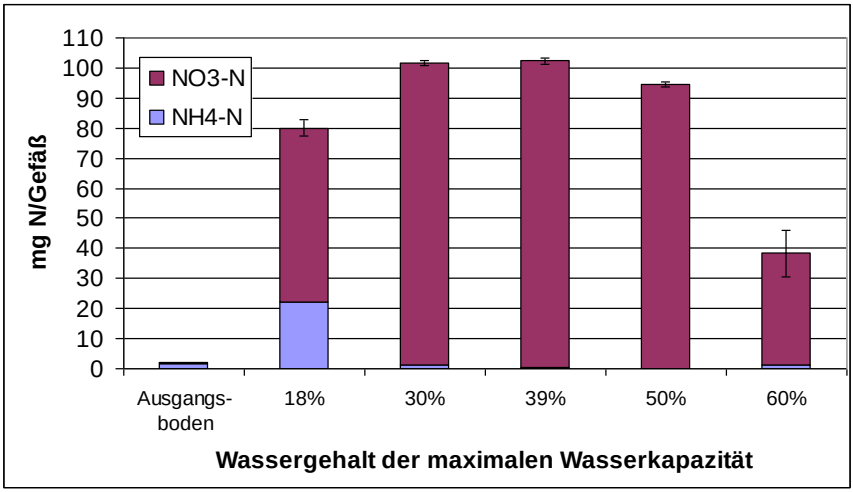
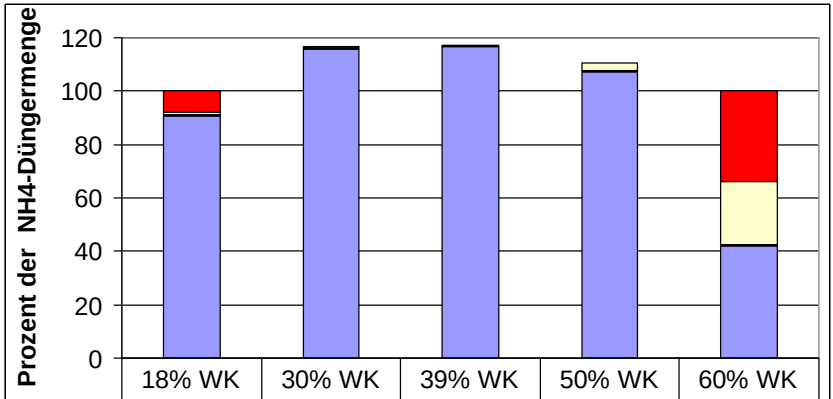


Abb. 10: N_{min}-Menge im Boden zu Versuchsende im Laborversuch

In der Abb. 11 ist die mit dem Gärrest zugeführte NH_4-N-Menge den mit den Gasanalysen und der Bodenuntersuchung nachgewiesenen N-Mengen gegenübergestellt. Besonders auffällig ist hierbei die Variante mit dem höchsten Bodenfeuchtegehalt, bei der im Gegensatz zu den restlichen Varianten ein sehr hohes Defizit an applizierten Ammonium-N registriert wurde. Als mögliche Erklärung kann in erster Linie die Freisetzung von molekularem Stickstoff (N_2) angenommen werden, welcher hauptsächlich im Zuge der mikrobiellen Lachgasbildung unter anaeroben Bodenbedingungen gebildet wird und auf dem mikrobiellen Abbau (Reduktion) von Lachgas beruht.



	18% WK	30% WK	39% WK	50% WK	60% WK
Defizit	7,8				33,6
N2O-N	0,9	0,5	0,4	3,1	24,1
NH3-N	0,6	0,4	0,2	0,1	0,2
Nmin	90,7	115,7	116,6	107,4	42,1

Abb. 11: Bilanz der applizierten NH_4-Menge im Laborversuch

Bei den hohen N_2O- und ggf. auch N_2-Verlusten im Laborversuch bei der höchsten Feuchtestufe ist zu berücksichtigen, dass die Bodenfeuchte während des gesamten Versuchsverlaufes konstant hoch lag und die Untersuchungen bei Raumtemperatur stattfanden. Solche Bedingungen begünstigen die Freisetzung von N_2O und N_2. Es lag aber zu keinem Zeitpunkt eine vollständige Wassersättigung des gesamten Bodenkörpers vor, sondern lediglich eine vollständige Wassersättigung in einzelnen Bodenteilen (z.B. Bodenaggregaten). Unter Freilandbedingungen kann es dagegen bei anhaltenden und häufigen Niederschlagsereignissen über einen längeren Zeitraum zu einer vollständigen Wassersättigung des Bodens kommen.

Unter diesen Bedingungen können ähnlich hohe N-Gas-Verluste auftreten, wobei diese aufgrund des verstärkten mikrobiellen N_2O-Abbaus jedoch zunehmend auf der Freisetzung von N_2 beruhen.
Die gleichzeitige Bestimmung der NH_3- und N_2O-Verluste in einem Versuchsansatz macht besonders deutlich, wie gegensätzlich diese Verluste von der Bodenfeuchte beeinflusst werden. Ammoniakverluste können auch bei trockenen Bodenbedingungen vollständig ausgeschlossen werden, wenn eine vollständige Injektion oder Einarbeitung der Düngestoffe in den Boden erfolgt. Bei diesen Applikationsmethoden ist jedoch besonders bei hohen Bodenfeuchten mit erhöhten N_2O- und N_2-Verlusten zu rechnen, da es unter diesen Bedingungen in der Umgebung der applizierten Düngestoffe eher zu einem Sauerstoffmangel kommt als bei einer oberflächigen Applikation ohne oder mit nur teilweiser Einarbeitung. Im Gegensatz zur Ammoniakfreisetzung lassen sich die Freisetzungen von Lachgas und molekularem Stickstoff bei der Applikation von Düngestoffen nicht ausschließen.
Für künftige Untersuchungen bestehen vor allem die Aufgaben, kalkulierte N_2-Verluste analytisch nachzuweisen und auch nach Mitteln und Wegen zur Minderung dieser Verluste zu suchen.

Die Arbeiten wurden mit Mitteln des BMELV / FNR gefördert (FKZ 22025207)

Mit frühjahrsbetonten N-Düngestrategien Erträge und Qualitäten bei Winterweizen trotz Vorsommertrockenheiten sichern

T. MAKARY[1], R. SCHULZ[1], T. MÜLLER[1], C. PEKRUN[2]
[1] UniversitätHohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Düngung und Bodenstoffhaushalt, Stuttgart
[2] Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Fg. Pflanzenbau, Nürtingen
Kontakt: Thomas.Makary@uni-hohenheim.de

Zusammenfassung

Gabenreduzierte N-Düngeverfahren, wie eine einmalige Applikation der gesamten N-Menge zu BBCH 25/27 oder BBCH 29/31 führten zu gleich hohen Erträgen wie die betriebsübliche, dreigeteilte Applikation zu BBCH 25/27, 29/31 und 49/51.
Eine einmalige frühe Applikation (BBCH 25/27) führte auf allen Standorten aber auch zu geringeren Rohproteingehalten und Tausendkornmassen, bei deutlich höheren Stroherträgen im Vergleich zu der betriebsüblichen Variante 3×KAS oder der Variante 1×KAS im Stadium BBCH 29/31. Trotz der in 2011 extremen Trockenheit von März - Mai und den optimalen Wirkungsbedingungen für die Variante 3×KAS führte eine einmalige späte Applikation zu BBCH 29/31 zu gleich hohen Rohproteingehalten. Ertragseinbußen durch einen zu hohen Wasserverbrauch in der vegetativen Phase der einmaligen frühen Variante konnten nicht gemessen werden. Um die etwaigen negativen Auswirkungen bezüglich des Wasserverbrauchs der Variante 1×KAS früh genauer zu testen, sollten entsprechende Versuche auf Standorten mit einer geringen nutzbaren Feldkapazität durchgeführt werden.

Einleitung

Niederschläge, die den applizierten Stickstoff in den Wurzelbereich transportieren, sind bei N-Düngung über den Boden Voraussetzung für die Düngewirksamkeit. Mit Qualitätsgaben zu BBCH 49/51 verfolgen Landwirte das Ziel, Rohproteingehalte zu erhöhen. Während trockene Perioden zur Applikation der Qualitätsdüngung (Mai - Juni) vermehrt beobachtet werden, sind ausreichende Niederschläge zu den Startdüngungsterminen BBCH 25/27 oder auch Ende Bestockung / Anfang Schossen (BBCH 29/31, März - April) wahrscheinlicher. Zu dieser Zeit sind auch die Wasserverluste durch Evapotranspiration geringer, wodurch der Oberboden langsamer austrocknet und zudem geringere Ammoniakverluste zu erwarten sind (Brümmer und Horn, 2010).
Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass der applizierte Stickstoff schnell in den Wurzelbereich gelangt und den Pflanzen zur Verfügung steht.

Eine Strategie, die nur bedingt wirksamen N-Applikationen zu BBCH 49/51 zu umgehen, könnte die Applikation des gesamten N-Düngebedarfs zu BBCH 25/27 oder 29/31 sein.
Zwar wird die Qualitätsdüngung als wichtig für das Erreichen von hohen Rohproteingehalten genannt, jedoch zeigen Untersuchungen einen größeren Einfluss der Witterung und des N-Düngungsniveaus auf diese Qualitätskomponente (Alcoz *et al.*, 1993; Maidl *et al.*, 1996; Obenauf, 2011).
Weiter besteht aber das Risiko, dass Bestände, bei denen zu BBCH 25/27 der gesamte N-Bedarf appliziert wird, ein zu starkes vegetatives Wachstum und dadurch einen erhöhten Wasserverbrauch haben, wodurch es zu Wassermangel in der generativen Phase kommen kann (Cossani *et al.*, 2010).
Ziel der Feldversuche war es, gabenreduzierte N-Düngestrategien mit Kalkammonsalpeter (KAS) hinsichtlich Ertragswirksamkeit und Rohproteingehalt zu untersuchen und mit der betriebsüblichen Variante 3×KAS bei gleicher N-Gesamtaufwandmenge zu vergleichen.

Material und Methoden

Im Jahr 2011 wurden auf drei Standorten in Südwestdeutschland Versuche angelegt. Es handelte sich um randomisierte Blockanlagen auf tiefgründigen Lehmböden mit 4-5 Wiederholungen (Tab.1).

Tab. 1: Versuchstandorte im Überblick

	Standort 1 und 2		**Standort 3**
Meereshöhe	450-508 m über NN		360 m über NN
Mittel der Temperatur	8,9 °C (Mittel 1991-2010)		10,2 °C (Mittel 1998-2010)
Mittel der Niederschlagssumme	702 mm (1991-2010)		856 mm (1998-2010)
Bodenart	Löss-Lehm (L4V)	Löss-Lehm (L3LöV)	Löss-Lehm (L4LöD)
Bodentyp	Parabraunerde		Schwach pseudovergleyte Parabraunerde
Gründigkeit	tiefgründig		mitteltiefgründig
Bodenpunkte	62	73	42-74
pH-Wert	6,9	6,6	6,8
P- Versorgungsstufe	D	C	D
K-Versorgungsstufe	C	C	C
Tierhaltung	nein	ca. 1,5 GV	nein

Getestet wurden gabenreduzierte N-Düngungsverfahren mit der Sorte „Akteur“, die mit der konventionell dreigeteilten Applikation von KAS verglichen wurden (Tab. 2). Akteur stellt einen typischen Kompensationstyp dar. In nahezu allen Ertragskomponenten (Ährentragende Halme, Körner/Ähre, Tausendkornmasse) ist Akteur in dem Boniturschema 1-9 der beschreibenden Sortenliste mit 5 eingestuft (Beschreibende Sortenliste, 2011).

Die Düngeraufwandmengen wurden nach den Vorgaben der Düngeverordnung bzw. den speziellen Vorgaben des Landes Baden-Württemberg „Blaue Blatt“ berechnet. Grundlage dieser Berechnung ist die Ertragserwartung, die Vorfrucht sowie die N_{Min}-Gehalte im Frühjahr.
Weiter wird in der Düngebedarfsprognose das N-Nachlieferungspotential anhand der Bodenpunkte und des Viehbesatzes mit berücksichtigt. Auf Standort 1 wurden 185 kg N ha^{-1}, auf Standort 2 155 kg N ha^{-1} und auf Standort 3 180 kg N ha^{-1} gedüngt.

Tab. 2: Aufteilung der N-Düngermenge der getesteten Düngevarianten

	BBCH 25/27	**BBCH 29/31**	**BBCH 49/51**
3×KAS	30%	40%	30%
1×KAS früh	100%		
1×KAS spät		100%	

Gemessen wurden an allen Standorten die Korn- und Stroherträge sowie die N-Gehalte des Korns. Die Rohproteingehalte wurden durch Multiplikation der N-Gehalte mit dem Faktor 5,7 errechnet. Weiter wurden während der Vegetationsperiode Bonituren des Biomasseaufwuchses durchgeführt. Der Anteil des Kornertrags am Gesamtertrag der oberirdischen Biomasse wurde mit den Harvest-Indices [(Kornertrag*100)/Gesamtertrag] berechnet.
Das Jahr 2011 zeigte sich mit einem sehr trockenen Frühling und einem niederschlagsreichen Juni (Tab. 3).

Tab. 3: Durchschnittliche Monatsniederschläge (März-August) während der Versuchsperiode sowie die prozentuale Abweichung gegenüber dem langjährigen Mittelwert der angegebenen Periode

	Standort 1 und 2			**Standort 3**		
	mm ø 91-10	**mm 2011**	**% Abweichung**	**mm ø 98-10**	**mm 2011**	**% Abweichung**
März	52,1	25,2	***-51,6***	63,5	26,0	***-59,1***
April	40,6	20,9	***-48,5***	50,4	33,7	***-33,2***
Mai	81,0	25,0	***-69,1***	102,6	32,8	***-68,0***
Juni	72,6	111,4	+53,5	82,6	102,1	+23,6
Juli	84,2	61,6	-26,8	98,0	143,2	+46,1
August	70,6	54,4	-22,9	100,4	50,4	-49,8

Ergebnisse und Diskussion

Auf keinem der Standorte konnten zwischen den Düngungsvarianten signifikante Unterschiede im Kornertrag gemessen werden (Abb.1). Der Ertragsabfall der Variante 1×KAS spät auf Standort 3 kann an der nur geringen N-Nachlieferung des Standorts liegen. Auf diesem Standort werden schon seit vielen Jahren keine Wirtschaftsdünger mehr ausgebracht. Die N-Nachlieferung reichte scheinbar nicht aus, um die Pflanzen bis zum Schossen (BBCH 29/31) ausreichend zu versorgen.

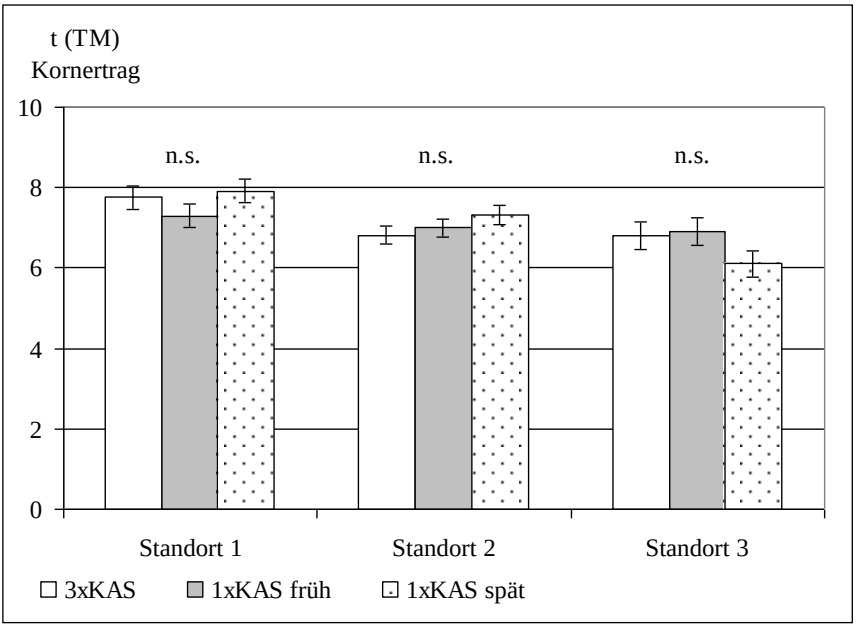


Abb. 1: Kornerträge (t Trockenmasse ha^{-1}) der einzelnen Varianten sowie aller Standorte (Fehlerbalken= Standardfehler, n.s.= nicht signifikant, t-Test bei $p<0,05$)

Signifikante Unterschiede zeigten sich jedoch in den Rohproteingehalten. An allen Standorten zeigte die Variante 1×KAS früh gegenüber den Varianten 1×KAS spät und 3×KAS signifikant geringere Rohproteingehalte. Sofern jedoch die einmalige Gabe von N spät zu BBCH 29/31 appliziert wurde, erwiesen sich die vereinfachten Strategien auch als zielführend zur Produktion von Weizen mit hohen Rohproteingehalten (Abb. 2).

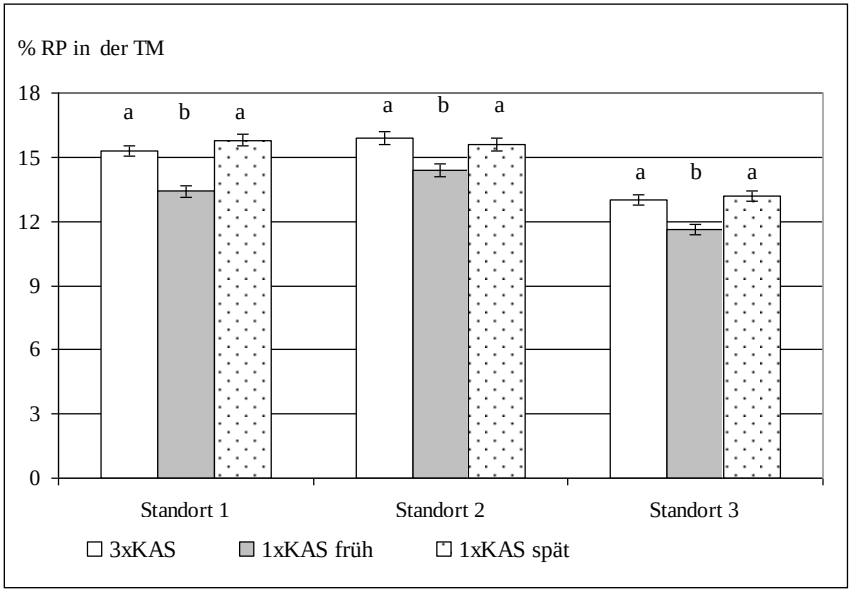


Abb. 2: Rohproteingehalte (% der Trockenmasse) der einzelnen Varianten sowie aller Standorte (Fehlerbalken= Standardfehler, unter-schiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, t-Test bei p<0,05)

Die Ergebnisse zeigen, dass gabenreduzierte N-Düngeverfahren zur Erzielung hoher Kornerträge und Rohproteingehalte geeignet sein können. Standorte mit einem geringem N-Nachlieferungspotential (keine Wirtschaftsdünger) sollten jedoch nicht zu spät mit N versorgt werden, um Ertragseinbußen zu vermeiden. Standorte, die regelmäßig mit Wirtschaftsdünger versorgt werden und damit die N-Versorgung bis zu BBCH 29/31 über den bodeneigenen N-Pool sicherstellen, sind für Strategien wie 1×KAS spät gut geeignet.

Zieht man die Harvest-Indices, also den Anteil des Korns an der gesamten oberirdischen Biomasse, mit in Betracht, so fallen Unterschiede auf. Je nach Standort zeigte die Variante 1×KAS früh die niedrigsten Harvest-Indices und die Variante 1×KAS spät die höchsten (Abb. 3). Dies bedeutet, dass insbesondere die Variante 1×KAS früh sehr hohe Stroherträge im Vergleich zu den Kornerträgen entwickelte. Bestätigt wurde dies auch durch die regelmäßig durchgeführten Bonituren des Biomasseaufwuchses. Zum Teil konnten die hohen Stroherträge die geringeren Rohproteingehalte im Korn erklären.

Zur Kornfüllungsphase reichte demnach der pflanzenverfügbare Stickstoff nicht mehr aus, um hohe Rohproteingehalte zu bilden. Weiter zeigten sich in der Variante 1×KAS früh signifikant geringere Tausendkornmassen. Auch dies bestätigt die Annahme der nicht ausreichenden N-Versorgung in der Kornfüllungsphase (Haumann und Dietzsch, 2000).

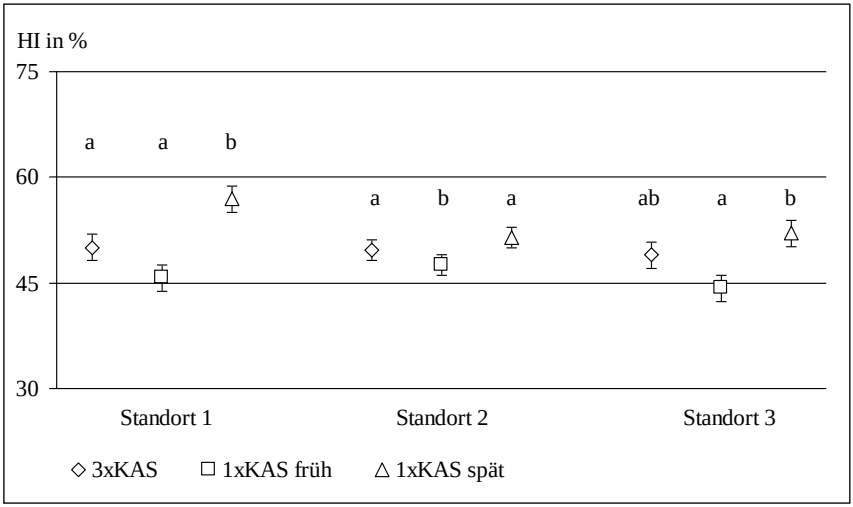


Abb. 3: Harvest-Indices (HI) der einzelnen Varianten auf den drei Standorten (Fehlerbalken=Standardfehler, unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, t-Test bei p<0,05)

Trotz des sehr trockenen Frühjahrs 2011 zeigten die gabenreduzierten Varianten, insbesondere die Variante 1×KAS früh, gleich hohe Erträge wie die betriebsübliche Variante 3×KAS. Der diskutierte höhere Wasserverbrauch dichter Bestände der Variante 1×KAS früh führte offensichtlich nicht dazu, dass in der generativen Phase Wassermangel auftrat. Weitere Versuche müssen klären, ob dies nicht auf leichten Standorten mit einer geringeren nutzbaren Feldkapazität auftreten kann. Zudem fielen unmittelbar nach der Applikation der Qualitätsgabe der Variante 3×KAS Niederschläge. Die Wirkung dieser Teilgabe war dadurch sichergestellt. Untersuchungsbedarf ergibt sich demnach unter Bedingungen, bei denen die Wirkung der Qualitätsgabe der Variante 3×KAS durch ausbleibende Niederschläge nicht sichergestellt ist.

Literaturverzeichnis

ALCOZ, M.M.; HONS, F.M.; HABY, V.A., 1993: Nitrogen fertilization timing effect on wheat production, nitrogen uptake efficiency, and residual soil nitrogen. *Agronomy Journal* **85** (6), 1198-1203.

Beschreibende Sortenliste 2011 http://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/bsl_getreide_2011.pdf

BRÜMMER, G.W.; HORN, R., 2010: Böden als Pflanzenstandorte. In: Lehrbuch der Bodenkunde, Hrsg. Scheffer/Schachtschabel, Spektrum Akademischer Verlag, S. 410-411.

COSSANI, C.M.; SLAFER, G.A.; SLAVIN, R., 2010: Co-limitation of nitrogen and water, and yield and resource-use efficiencies of wheat and barley. *Crop Pasture Sci.* **61**, 844-851.

HAUMANN, G.; DIETSCH, H.; SCHÖNBERGER, H.; KROPF, U.; HONERMEIER, B.; MEßNER, H., 2000: Halm und Körnerfrüchte In: Lehrbuch des Pflanzenbaus Band 2: Kulturpflanzen, Hrsg: Norbert Lütke Entrup und Jobst Oehmichen, Verlag TH. Mann Gelsenkirchen, S. 276

MAIDL, F.X.; PANSE, A.; DENNERT, J.; RUSER, R.; FISCHBECK, G., 1996: Effect of varied N rates and N timings on yield, N uptake and fertilizer N use efficiency of a six-row and a two-row winter barley. *European Journal of Agronomy* **5**, 247-257.

OBENAUF, U., 2011: Spätdüngung im Winterweizen, Spagat zwischen Ertrag, Proteingehalt und N-Bilanz. In: Bauernblatt Schleswig Holstein, Ausgabe 12. Mai 2011, S. 28-34.

Erkenntnisse aus dem Praxiseinsatz von Gülle-Strip-Till in Sachsen-Anhalt.

J. BISCHOFF
Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG), Bernburg
Kontakt: joachim.bischoff@llfg.mlu.sachsen-anhalt.de

Zusammenfassung

Das Strip-Till-Verfahren wird aufgrund der reduzierten Bodenbearbeitungsfläche (nur in den Streifen auf etwa ein Drittel der Gesamtfläche) und einer damit verbundenen Reduktion von Erosion und N-Umsatz als eine effiziente Maßnahme gesehen, N-Verluste zu minimieren und diffuse Nitrat-Austräge in Grund- und Oberflächengewässer zu reduzieren. Darüber hinaus werden durch Kombination des Strip-Till-Verfahrens mit der Gülleunterflurdüngung (Gülle-Strip-Till) eine höhere N-Ausnutzung des Düngers sowie reduzierte gasförmige N-Verluste erwartet. Untersuchungen der LLFG zeigen, dass bei zusätzlicher Stabilisierung des Gülledepots mit Nitrifikationshemmern der überwiegende Teil des Stickstoffs über die Wintermonate und während der Ertragsbildung des Maises in Form des pflanzenverfügbaren, aber weniger auswaschungsgefährdeten Ammonium-stickstoffs erhalten bleibt.

Streifenbearbeitung mit Gülle-/ Gärsubstratausbringung in einen Zwischenfruchtbestand.

Einleitung

Auf Initiative der sachsen-anhaltinischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG) wurden im Herbst 2011 Feldversuche zu Gülle-Strip-Till mit dem von Anton Hirl entwickelten Prototyp des Vogelsang XTill S durchgeführt. Im Frühjahr 2012 wurden in der S. u. W. Agrar GmbH Bergzow und in der Altmärkische Höhe Lückstedt e.G. zwei der ersten serienmäßigen XTill S-Geräte eingesetzt.

Die Streifenbearbeitung (Strip Tillage oder Strip Till) verbindet die Vorteile der Direktsaat mit denen einer krumentiefen Bodenlockerung. Der Boden wird lediglich in der Saatreihe partiell gelockert, während zwei Drittel der Fläche unbearbeitet und mit abgestorbenem Pflanzenmaterial als Erosions- und Verdunstungsschutz bedeckt bleiben (Hermann *et al.,* 2012). Das Maislegen erfolgt mit Einzelkornsämaschine im absätzigen Verfahren zeitlich unabhängig von der Streifenbearbeitung. Wird die Streifenbearbeitung mit einer Unterfuß-/ Unterflurdüngung kombiniert, können organische und / oder mineralische Dünger hochkonzentriert in zwei Schichttiefen des Bodens platziert werden. Je nach Ablagetiefe unterscheidet man die Unterfußdüngung (5 bis 10 cm tief) und Unterflurdüngung (15 bis 25 cm tief). In der Kombination von Strip Till und gleichzeitiger Gülleunterflurdüngung liegt die Hoffnung, die Stickstoffeffizienz in Maisfruchtfolgen verbessern zu können. Es werden verschiedene Einsatzvarianten erprobt:

- Strip Till mit Herbstausbringung von 20 m^3 Gülle/ Gärsubstrat in einen stehenden Zwischenfruchtbestand ohne bzw. mit Nitrifikationshemmer (Piadin).
- Strip Till mit Frühjahrsausbringung von 20 m^3 Gülle/ Gärsubstrat in einen abgefrorenen Zwischenfruchtbestand ohne bzw. mit Nitrifikationshemmer (Piadin).

Je Kubikmeter Gülle / Gärsubstrat wurden 0,4 l Piadin zugesetzt, bei 20 m^3 waren es 8 l/ha.

Material und Methoden

Die Standorte beider Unternehmen, östlich und westlich der Elbe, sind von kontinentalem Klima geprägt. Die Minima der Monatsmittelwerte bewegen sich zwischen 0 und 1 °C und die Maxima zwischen 17 und 18 °C. Die Niederschlagsverteilung weist ein ausgeprägtes Sommermaximum auf, was für die Ertragsbildung des Maises günstig ist und zugleich die Durchfeuchtung des Bodens gering hält.

Bergzow liegt im Jerichower Land im Talsandgebiet des weichseleiszeitlichen Urstromtals von Elbe und Havel. Die Bodenform, ein Sand-Rostgley, besteht überwiegend aus schwach lehmigem Sand. Die mittlere langjährige Jahresniederschlagsmenge beträgt 523 mm, die Jahresdurchschnittstemperatur 8,6 °C. Die Altmärkische Höhe Lückstedt e.G. liegt in der nördlichen Altmark/ Norddeutsches Tiefland.

Der Boden, eine Pseudogley-Braunerde, besteht aus lehmigem Geschiebedecksand (schwach bis mittel lehmiger Sand) über Geschiebelehm.
Die mittlere langjährige Jahresniederschlagsmenge des Standortes Lückstedt liegt bei 541 mm und die Jahresdurchschnittstemperatur 8,5 °C.
Die Streifenbearbeitung wurde mit einer achtreihigen XTill S mit 75 cm Reihenweite durchgeführt, die an ein 25 m³- Güllefass angehängt war. Je Hektar wurden 20 m³ Biogasgülle 25 cm tief in den Boden als Band abgelegt. Am Feldrand wurde ein Spezialcontainer für die Zwischenlagerung der Biogasgülle aufgestellt. Strip Till-Gerät und Güllefass konnten somit auf dem Feld verbleiben und kontinuierlich arbeiten. Für die Streifenbearbeitung und Injektion wurden bei 11 km/h Arbeitsgeschwindigkeit auf einem Hektar Fläche zwölf Minuten benötigt. Das Maislegen erfolgte dann ortsüblich Ende April im absätzigen Verfahren mit Einzelkornsämaschine zusammen mit einer Diammonphosphat (DAP)-Unterfußdüngung. Bei der Streifenbearbeitung und dem Maislegen wurde das GPS-System Starfire Mobile RTK genutzt. Es verwendet ein Korrektursignal, das über das D-Mobilfunknetz der Telekom ausgestrahlt wird. Die exakte Bestimmung der ständigen Bearbeitungsposition ist im absätzigen Strip-Till-Verfahren wichtig für die präzise Aussaat. Voraussetzung ist neben der Abstimmung der Arbeitsbreiten das spurgetreue Fahren und die exakte Aufzeichnung der Fahrspuren.

Ergebnisse und Diskussion

Die bisherigen Ergebnisse der Ertragsermittlung erlauben noch keine Rückschlüsse auf die optimale Aufwandmenge von Gülle/Gärsubstrat zu Mais und den Zusatz von Nitrifikationshemmern. Mitteilungswürdig sind die Untersuchungen der Umweltwirkung im Anbau von Silomais. Hierzu wurden in regelmäßigen Abständen N_{min}-Bodenuntersuchungen und Wurzelanalysen nach der Profilwandmethode durchgeführt (Kutschera, 1960; Kutschera *et al.*, 2009). Die Ergebnisse der N_{min}-Bodenuntersuchungen nach Streifenbearbeitung und Herbstapplikation mit Gärsubstrat waren eindeutig (Abb. 1, 2). Der NH_4-N-Anteil am Gesamtvorrat des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffs (N_{min}) betrug 90 Tage nach Anwendung 76 % ohne Piadin, 96 % mit Piadin und 15 % im unbearbeiteten und ungedüngten Reihenzwischenraum. Die Zugabe von Piadin zur Gülle bzw. zum Gärsubstrat verzögert die Umwandlung des stabilen, jedoch pflanzenverfügbaren Ammoniumstickstoffs (NH_4-N) zum verlustgefährdeten Nitratstickstoff (NO_3-N).
NH_4-N wird an den Bodenteilchen austausch- und dennoch pflanzenverfügbar gebunden. Durch die verzögerte Umsetzung bleibt es im Krumenbereich über Winter erhalten und ist damit vor einer unerwünschten Nitratverlagerung in tiefere Bodenschichten geschützt. Die N_{min}-Bodenuntersuchungen wurden 35 Tage nach der Erstbeprobung beziehungsweise 125 Tage nach der Gülleinjektion wiederholt. Mit zunehmender Bodenerwärmung und Mineralisation veränderten sich die Ammonium-N-Anteile im Stickstoffdepot in der Variante „ohne Piadin“ deutlich, in der Variante „mit Piadin“ aber nicht.

Der NH_4-N-Anteil am N_{min} (0-30 cm) betrug 125 Tage nach Anwendung 10 % ohne Piadin, 89 % mit Piadin und 11 % im unbearbeiteten und ungedüngten Reihenzwischenraum.
Als direkt pflanzenverfügbar gelten das im Wurzelraum vorhandene Nitrat und bei hinreichend dichter Durchwurzelung auch das austauschbare Ammonium.
Beide N-Formen werden in der Summe als N_{min} bezeichnet. Will man nun aus einer Punktbeprobung im Strip-Till-Bereich den N_{min}-Vorrat auf die Fläche bezogen abschätzen, werden die N_{min}-Vorräte dabei methodisch bedingt überschätzt.

(1) Wurzelentwicklung bei streifenweiser Herbstapplikation ohne Piadin.
(2) Streifenbearbeitung und Herbstapplikation mit Nitrifikationshemmer.
(3) Das angelegte N-Depot ist bei der Frühjahrsapplikation mit Piadin deutlich zu sehen.

Die N_{min}-Vorräte im Boden waren mit durchschnittlich 175 kg N/ha etwa gleich hoch, egal ob Gülle/Gärsubstrat mit oder ohne Piadin ausgebracht wurde, mit dem Unterschied, dass in der Piadin-Variante der pflanzenverfügbare Bodenstickstoff zum überwiegenden Teil aus Ammonium-N bestand (ca. 90 %) und in der Variante ohne Piadin Nitrat-N überwog (ca. 90 %). Im Prinzip werden von Maispflanzen beide Formen sowohl Nitrat-N als auch Ammonium-N verwertet. Der in der Gülle enthaltene Ammoniumstickstoff wird entweder von der Pflanze direkt aufgenommen oder, je nach Bodentemperatur und -feuchtigkeit, durch Bodenmikroorganismen in Nitrat (NO_3) umgewandelt (Amberger, 1988). Durch Nitrifikationshemmer wird die Umsetzung des Ammoniumstickstoffs in den schneller verfügbaren, aber auch leichter auswaschbaren Nitratstickstoff verzögert. Bei Mais bietet sich wegen des Reihenabstandes die Platzierung von Gülle/Gärsubstrat in einer hinreichenden Tiefe als Reihen- oder Banddüngung an.

Wird die gesamte Gülle-/ Gärsubstratmenge im Wurzelraum platziert, lässt sich mit einer solchen Depotdüngung eine ammoniumbetonte N-Ernährung realisieren. Das Ammonium-N-Depot wird von dem Mais als langfristige N-Quelle genutzt.
Das Gülle-/Gärsubstrat-Depot in 25 cm Tiefe wurde von den Maiswurzeln 35 Tage nach der Aussaat bei Frühjahrsausbringung erreicht. Die Maispflanzen befanden sich in EC 16. Wurde dagegen die gleiche Menge Gärsubstrat im Herbst ausgebracht, dauerte es 44 Tage nach Aussaat bis das Depot erreicht wurde.
Die Piadin-Variante zeichnete sich sowohl bei der Herbst- als auch Frühjahrsausbringung durch mehr Wurzelmasse und Wurzeltiefgang aus. Untersuchungen der Maiswurzelzone ergaben, dass bei Anwendung des Strip-Till-Verfahrens zu Mais (Reihenweite 75 cm) nicht nur der gelockerte Bodenbereich, sondern auch der Reihenzwischenraum durchwurzelt wurde. Die Maiswurzeln haben den verfügbaren Standraum bis in etwa 65 cm Tiefe durchwachsen. Die Seitenausbreitung – von der Basis der Einzelpflanze aus gemessen – war größer als die halbe Maisreihe. Das Wurzelwachstum beschränkt sich damit nicht allein auf mechanisch gelockerte und gedüngte Bodenbereiche, sondern geht darüber hinaus. Bei den Gülle-/Gärsubstrat-Varianten mit Piadin war der Feinwurzelanteil größer als bei den Varianten ohne Piadin. Die Feinwurzeln konzentrierten sich in etwa 25 cm Tiefe um das Ammoniumdepot, erstreckten sich aber auch in größerer Zahl in tiefere Bereiche.
Sowohl die Herbst- als auch Frühjahrsbegüllung zu Mais brachte keine nachteiligen Umweltwirkungen. Die Verwertung der Gülle-/ Gärsubstratnährstoffe durch den Mais war in Verbindung mit einem Anbau von Zwischenfrüchten gegeben. Hinzu kommt, dass die Zugabe von Piadin zur Gülle/ Gärsubstrat die Umwandlung von NH_4-N zu NO_3-N verzögert. Der Stickstoff bleibt über Winter und auch während der Ertragsbildung des Maises in der Krume (0-30 cm) erhalten und wird nicht verlagert. Wichtig für die Bewertung der Umweltwirkung ist die Feststellung, ob der verabfolgte Düngerstickstoff von den Maispflanzen möglichst vollständig oder jedoch zumindest zu einem einheitlichen Grad aus dem Strip-Till-Bereich und dem Reihenzwischenraum aufgenommen wurde. Der Rest-N_{min} nach Ernte betrug im Strip-Till-Bereich unter 20 kg N/ha und im Reihenzwischenraum unter 30 kg N/ha (Abb. 3). Ein weiterer Vorteil liegt in der nahezu vollständigen Vermeidung der Geruchsbelästigung bei der Gülleausbringung.

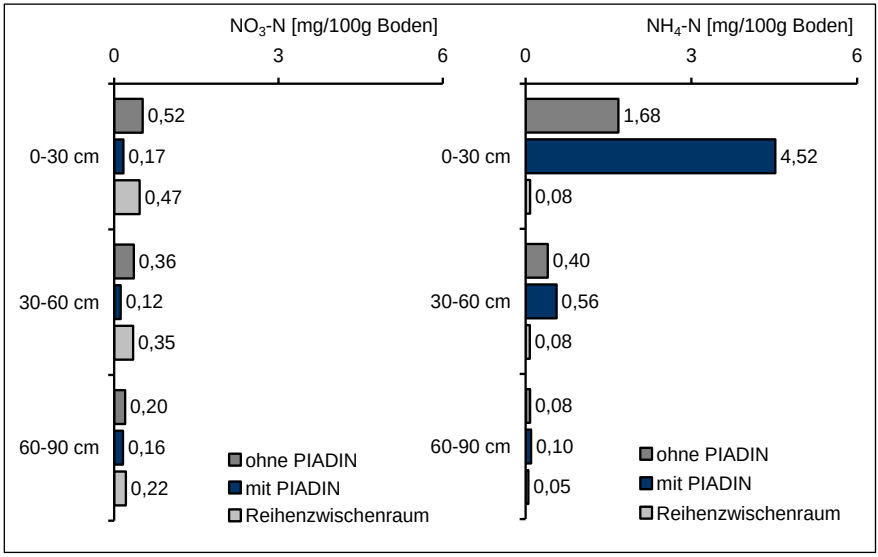


Abb. 1: N_{min}-Bodenuntersuchung 90 Tage nach Gärsubstrat-Injektion.

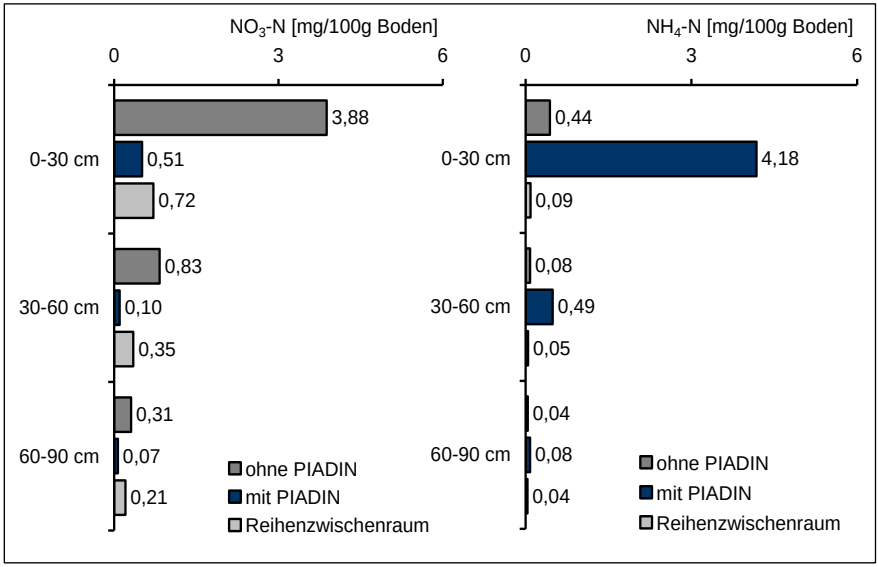


Abb. 2: N_{min}-Bodenuntersuchung 125 Tage nach Gärsubstrat-Injektion.

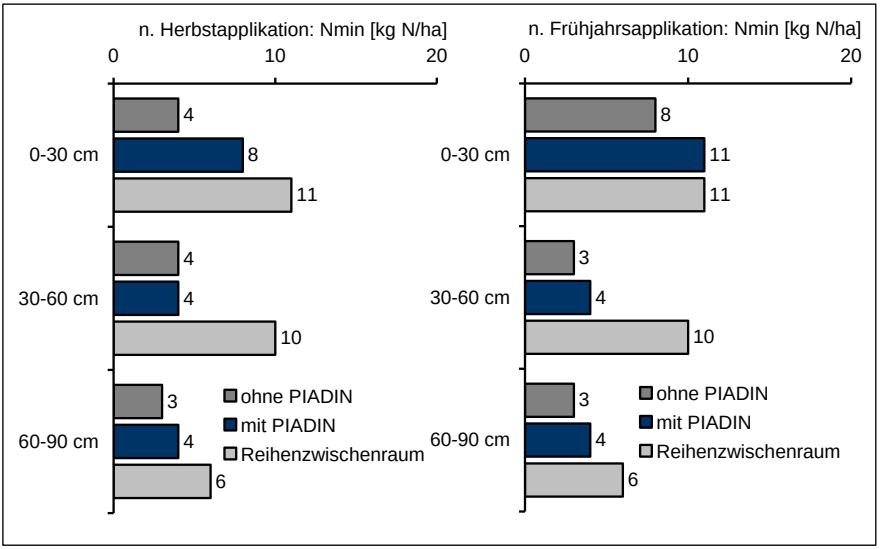


Abb. 3: N_{min}-Bodenuntersuchung nach Ernte Silomais.

Literaturverzeichnis

AMBERGER, A., 1988: Pflanzenernährung. 3. Auflage, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

HERMANN, W.; BAUER, B.; BISCHOFF, J., 2012: Strip Till. DLG-Verlag, Frankfurt/Main

KUTSCHERA, L., 1960: Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. DLG-Verlag, Frankfurt/Main

KUTSCHERA, L.; LICHTENEGGER, E.; SOBOTIK, M., 2009: Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßigter Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues. DLG-Verlag, Frankfurt/Main

Energie- und ressourcenschonende Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren in Reihenkulturen

A.N. Zepljaew, M.N. Schaprow, W.A. Zepljaew
Agraruniversität Wolgograd, Russland
Kontakt: vgsha-grishina@yandex.ru

Zusammenfassung

Das Gebiet Wolgograd ist durch ein stark kontinentales Klima mit wenig Niederschlag, insbesondere durch sehr hohe Temperaturen im Frühling und im Sommer bei fehlenden Niederschlägen geprägt. Für die Effektivität der Landwirtschaft in der Region ist deswegen das System des Trocken-Ackerbaus entwickelt worden.

Für den Anbau von Reihenkulturen mit Anwendung dieser Methode wurden von uns sowohl neue Maschinen entwickelt als auch alte Maschinen modernisiert.

Eine Rotorenkonstruktion für das Unkrautjäten in der Reihe und im Zwischenreihenbereich

Der Kultivator für das Unkrautjäten (Abbildung 1) hat einen Rahmen, einen Aufhängemechanismus, das obere regulierende Glied des Parallelogrammsmechanismus des Hängewerks einiger Werkzeuge, einen pneumatischen Zylinder für das Anheben und Absetzen der Rotorscheiben, stützende Räder, angetriebene Rotorscheiben (Abbildung 2), mit zur Seite abgebogenen Schneiden mit dem Schneidewinkel *y* und dem Anspitzwinkel *a (*der schneidende Rand ist parallel der Fläche der Drehung des Diskus verbogen), einen Balken, hebbare sowie nicht hebbare Rotorscheiben, eine Hebestütze der Heberotorscheiben, ein Antriebssternchen der Heberotorscheiben 9, eine Befestigungsachse der Heberotorscheiben, eine Achse der nicht hebbaren Rotorscheiben, einen Hebezug der Heberotorscheiben sowie Antriebsrotorscheiben.

Die Maschine funktioniert folgenderweise:

Bei der Bewegung wird Unkraut zwischen den Reihen durch die Antriebrotorscheiben vernichten, in der Reihe durch angetriebene Rotorscheiben. Wenn die Rotorscheiben sich an die Kulturpflanzen nähern, fängt der pneumatische Zylinder an zu arbeiten, die angetriebenen Rotorscheiben gehen hoch und schneiden die Kulturpflanzen nicht ab. Dann lässt der pneumatische Zylinder den Hebezug nach und die angetriebenen Rotorscheiben gehen in die Reihe nieder und fahren fort, das Unkraut zu vernichten. Die Antriebrotorscheiben funktionieren in der Verbindung mit dem Boden, die angetriebenen Rotorscheiben funktionieren durch den Kettenantrieb.

Die Zahnung der Antriebrotorscheiben ist in die Gegenrichtung der angetriebenen Rotorscheiben gebogen. Wegen der unterschiedlichen Zahl der Zinken des Antriebssternchens drehen sich die angetriebenen Rotorscheiben schneller als die Antriebsrotorscheiben.
Bei einem Schneidewinkel unter 40° und einem Anspitzwinkel unter 10º ist der Widerstand nicht stark genug, so dass beide Paare der Rotorscheiben sich ohne das Unkraut zu vernichten drehen.

Abb. 1: Kultivator

Die Verwendung dieser Maschine sichert die effektive Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen mit wenig Schaden an den Kulturpflanzen.
Bei einem Schneidewinkel über 60º und einem Anspitzwinkel unter 20º ist der Widerstand so groß, dass die Antriebsrotorscheibe die angetriebene Rotorscheibe nicht drehen kann, so dass beide Rotorscheiben stehen bleiben.
Die Präsentation dieser Konstruktionen mit aktiven Werkzeugen zeugt davon, dass Autotriebrotoren zuverlässiger sind. Dadurch entfällt der schwierige Antrieb vom BOM -Traktor und der Bereich der Drehgeschwindigkeit der Rotoren ist viel breiter.
Es wurden Experimente im Labor und im Betrieb durchgeführt und daraus lässt sich schließen, dass die Arbeitsleistung der Maschine von der Geschwindigkeit, dem Antriebverhältnis und der Bodenfeuchtigkeit abhängt.

Bei einer Geschwindigkeit von 3 m/s, einer Feuchtigkeit von 20...22 % und einem Antriebsverhältnis i = 1,5 beträgt der Kraftaufwand 7,2 kW pro 1 m Arbeitsbreite.

Abb. 2: Arbeitsglieder

2. Sämaschine für die Aussaat von vorgekeimten Samen

Beim Anbau von Reihenkulturen (Mais, Sonnenblumen, Melonen und Kürbis) kommt es häufig zu einem zu dünnen Jungpflanzenbestand, insbesondere in Trockenjahren. Das passiert durch Unvollkommenheit der Aussaattechnologie, was zu nicht rationeller Ausnutzung der Bodenfläche, zur Senkung des Ernteertrags und sinkender Produktionsrentabilität führt.

Für die Erhöhung der Keimfähigkeit, für die Sicherung eines frühen und guten Auflaufens sowie für eine frühere Ernte ist eine präzise Kornaussaat mit vorgekeimten Samen wirtschaftlich zweckmäßig, weil es die Ausgangsvoraussetzung für den Maschineneinsatz (Mechanisierung) und die Automatisierung der folgenden technologischen Verfahren ist.

Die Sämaschine für das technologische Verfahren, (Abbildung 3) besteht aus einem Rahmen (2), an den Saatsektionen, Reihenzieher, selbsttätige Kupplung und das Triebwerk des Aussaatgerätes befestigt werden. Jede Saatsektion hat ein Scheiben-Schöpflöffelgerät (3), mit einem angehängten Fänger (4), eine Saatgutleitung (5), die den unteren Teil des Fängers mit der Drillschar (6) verbindet, einen Samendecker (7) und ein Andruckrad (8).

Die Sämaschine funktioniert folgenderweise: vor der Aussaat werden das Saatgut frühzeitig mit Rücksicht auf das Wetter eingeweicht und in einem Raum bei optimalen Temperaturen vorgekeimt. Die angekeimten Samen werden in die Kernboxen (Bild 4) jedes Scheiben-Schöpflöffelgeräts geschüttet und mit Wasser begossen. Während der Fahrt auf dem Feld wird das Drehen durch den Kettenantrieb der Stützräder der Sämaschine auf die Scheibe 3 übertragen und die Löffelchen (6) bewegen sich durch die Samen- und Wassermischung im Kreis. Im Moment, wenn der Schöpflöffel (6) in die Samen- und Wassermischung eintaucht, läuft er mit Wasser voll. Bei der weiteren Bewegung in der Mischung entsteht in der Schöpflöffelhöhlung ein dynamischer Druck. Das Wasser läuft aus dem Schöpflöffel (6) in die Öffnung, was zum Ansaugen von Samen in den Schöpflöffel führt, die Öffnung wird dabei abgedeckt.

Daraufhin wird der Druck unter dem Kern geringer als über dem Kern. Dadurch orientieren sich die Samen im Schöpflöffel richtig und halten sich sicher in der Samen- und Wassermischung fest. Die Kerne, die darüber bleiben, rutschen nach unten. Bei dem Austreten aus der Samen- und Wassermischung hält sich ein Samen durch die Kraft der Spannung des Wassertropfens in der Öffnung sicher fest. Vor dem Aussaatfenster stößt der sich bewegende Halter an die Latte (12), und fängt durch das Scheibendrehen selber an, sich um die Achse mit dem Winkel φ zu drehen (4). Dabei wird die Kraft der Sprungfeder (8) überwunden. Bei dem weiteren Drehen der Scheibe dreht sich der Halter bis zur maximalen Winkelgröße φ, rutscht von der Latte ab und wird durch die Sprungfeder wieder in die Ausgangsstellung an der Stütze (7) gebracht.

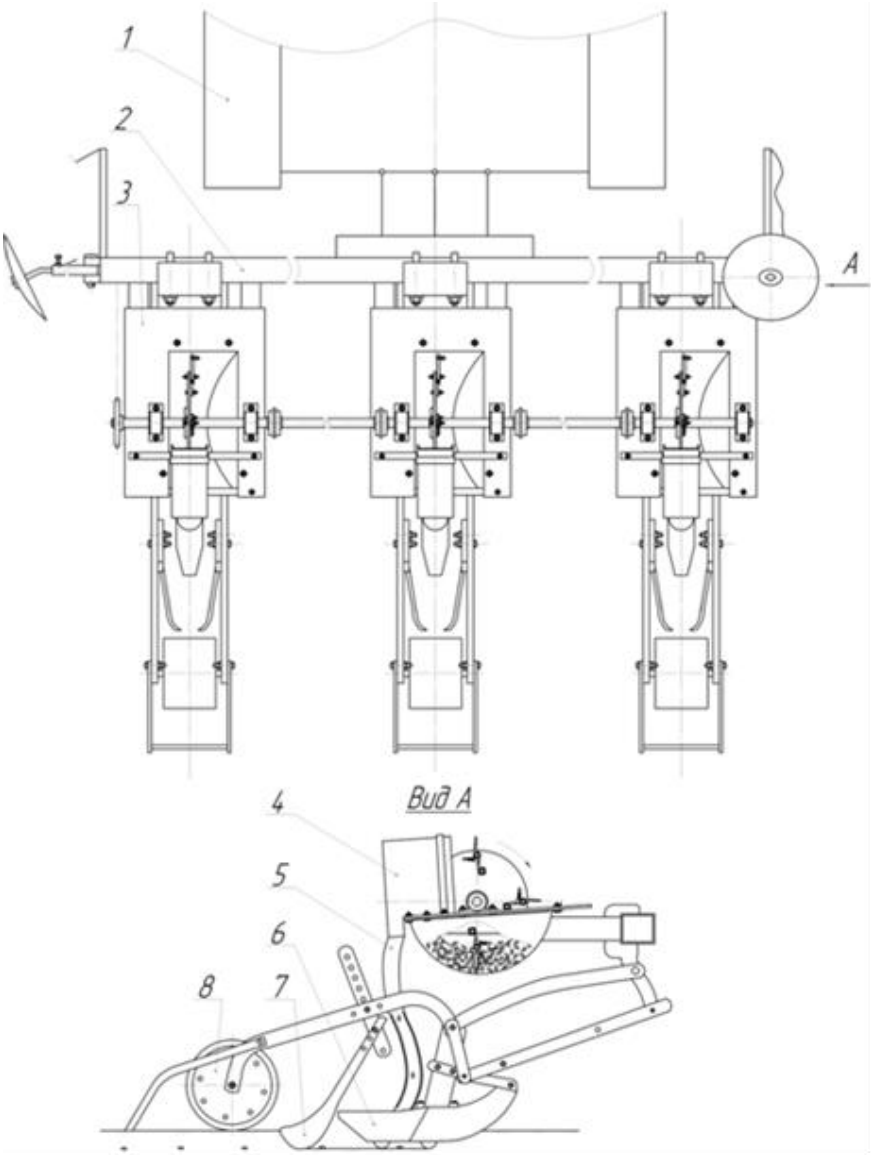


Abb. 3: Das technologische Schema der Sämaschine mit einem Scheiben-Schöpflöffelgerät: 1 – Traktor, 2 – Rahmen, 3 - Scheiben-Schöpflöffelgerät, 4 – Fänger, 5 – Saatgutleitung, 6 – Drillschar, 7 – Samendecker, 8 - Andruckrad

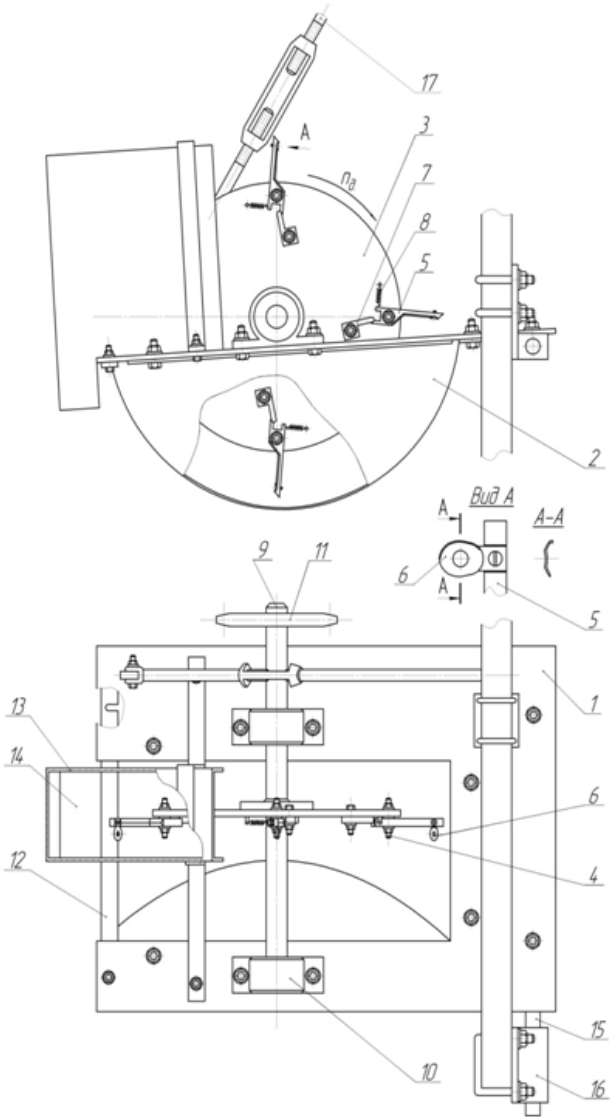


Abb. 4: Das Schema des Sägerätes

1 – Gehäuse; 2 – Drillkasten; 3 – Scheibe; 4 – Halterachse; 5 – Halter; 6 – Schöpflöffel; 7– Stütze; 8– Sprungfeder; 9 – Welle; 10 – Lager; 11 – Sternchen; 12 – Latte; 13– Fänger; 14– Aussaatfenster; 15 – Achse; 16 – Buchse; 17 – Regulierzug;

Ansicht A– Schöpflöffel (vergrößert)

Dank der Trägheitskraft reißt der Samen von der inneren Fläche des Löffelchens ab, bewegt sich nach oben, in Richtung der Scheibenbewegung, wird in den Fänger (13) geworfen und durch die Schwerkraft weiter zum Aussaatfenster transportiert. Weiter bewegt sich der Samen durch die Saatgutleitung zum Drillschar. Weil der Aussaatschritt durch die Zahl der Halter (5) und der Schöpflöffel (6) bestimmt wird, werden Samen in einem festgelegten Intervall durch das Aussaatfenster (14) transportiert. Im Ergebnis werden die Samen durch die Saatgutleitung in die durch das Drillschar gezogene Furche in einem bestimmten Abstand abgelegt.

Eine weitere wichtige Frage beim Aussäen der Reihenkulturen ist die Bestimmung der optimalen Aussaattiefe (je geringer die Saattiefe desto höher die Temperatur, aber niedriger die Feuchtigkeit sowie umgekehrt je größer die Saattiefe, desto höher die Feuchtigkeit und niedriger die Temperatur) sowie die Sicherung der maximalen Keimfähigkeit. Das betrifft insbesondere die Melonen- und Kürbiskulturen. Aus diesem Grunde schlagen wir das punktierte Nestpflanzverfahren vor. Dabei erfolgt die Pflanzung im Nest in den verdichteten Boden mit verschiedener Tiefe, oben werden Samen mit lockerem Boden bedeckt. Bei diesem Verfahren liegen Samen in Bodennestern (0,25-0,35 m lang) entlang der Reihenachse. In jedem Nest sind 3 Samen. Der Abstand zwischen den Nesten beträgt 1,2 ... 1,8 m. Das ermöglicht das Verziehen der jungen Saat und sichert die notwendige Nahrungsfläche pro einer Pflanze, die im Nest nach allen Pflegearbeiten verbleibt.

Für das Verfahren wurde eine Sämaschine für die Aussaat in verschiedene Tiefe erarbeitet (Abbildung 5). Die Maschine besteht aus einem Gehäuse (1) mit einem Drillkasten (2), mit einem modernisierten Schöpflöffelgerät (3), Einleger (4) mit Samendurchführung, einer zusätzlichen Scheibe (5), einem modernisierten Drillschar (6), Samendecker (7), einem Andruckrad (8), einer Schleife (9). Die Rahmenkombination erfolgt durch die viereckige Gelenkstang (11). Das Drillschar (Abbildung 6) besteht aus Backenstücken (1, 2, 3, 4) mit Schmalscharen (5,6,7) dazwischen. Dabei haben das linke und das rechte Schmalschar (5,6) verschiedene Höhenlagen im Vergleich zu dem unteren Rande des mittleren Schmalschares.

Es wurde auch das Sägerät geändert. Auf einer Welle mit der Dreiloch-Säscheibe ist eine zusätzliche Scheibe (1) mit der Tastwalze (2) eingestellt.

Die Einlage, die zwischen dem Sägerät und der Drillschar eingestellt ist, besteht aus einem Gehäuse (3), Führungen (4), auf denen sich die federgelagerte Saatgutdurchführung (5) mit dem Schieber (6) bewegt.

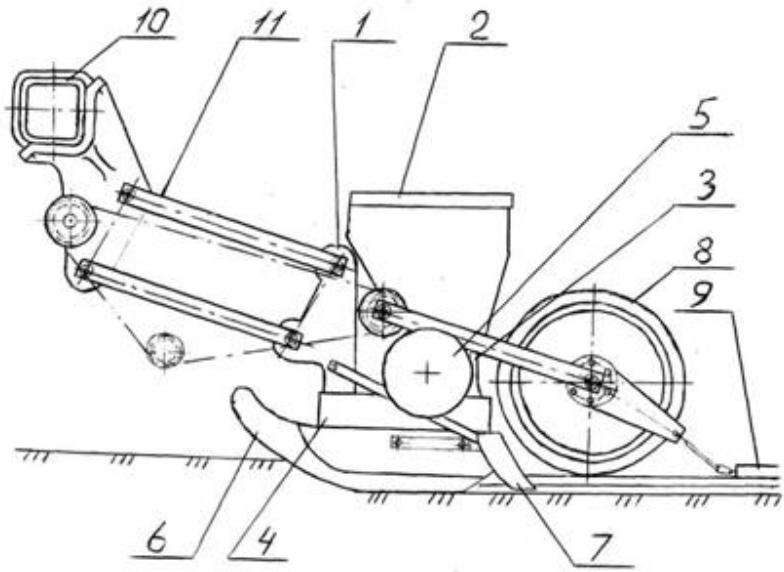


Abb. 5: Das Schema der Sämaschine für die Aussaat mit verschiedener Tiefe

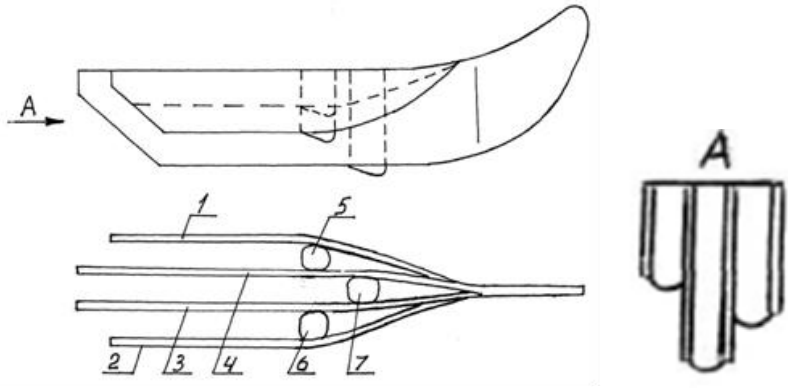


Abb. 6: Das Schema der Drillschare

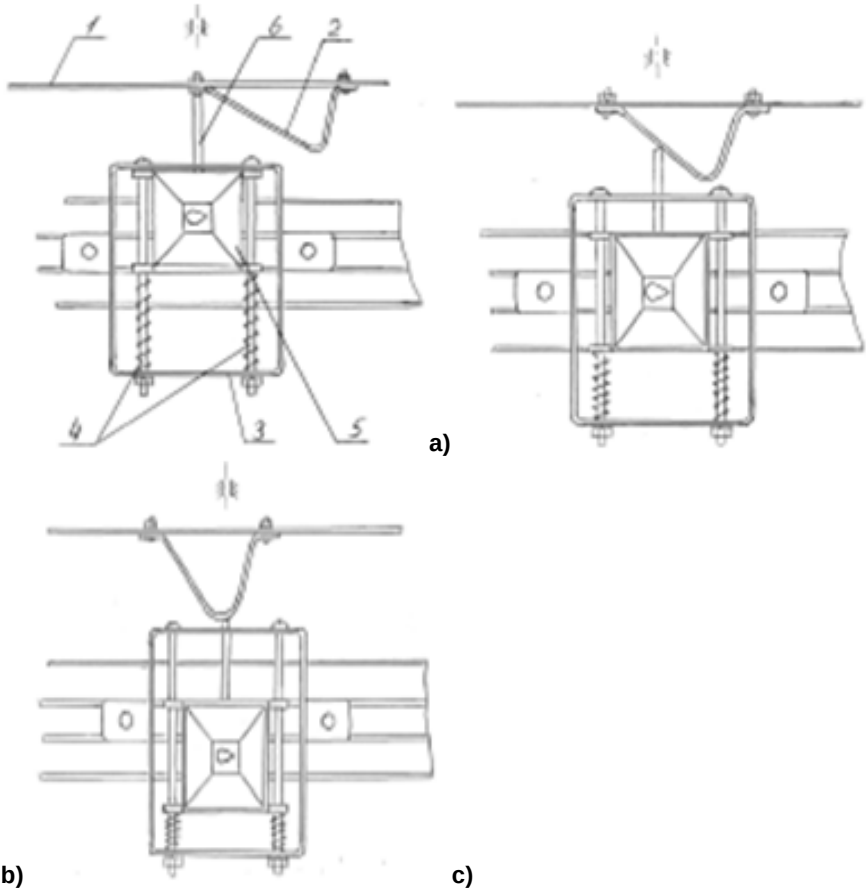


Abb. 7: Das Schema der Aussaat

Eine Säsektion funktioniert folgenderweise: das Sägerät bewegt sich angetrieben vom Stütz- und Antriebrad. Durch ein Triebwerk wird das Drehen auf die Welle der Säscheibe übertragen. Samen werden aus dem Drillkasten (2) in die Sammelkammer des Aussaatgerätes gereicht (Abbildung 5). Durch den Unterdruck werden Samen an drei vorhandenen Löchern der Säscheibe angesaugt und zum Ablaufpunkt gebracht. Die aufeinander folgende Zuleitung von Samen in jede von drei Furchen erfolgt durch die Koppelung der Tastwalze (2) mit dem Schieber der Samendurchführung. Die Koppelung beginnt nachdem der Samen aus der Druckdehnungszone in die Zone des atmosphärischen Drucks kommt, das heißt er fällt in die erste Öffnung der Drillschar (Abbildung 7a).
Weiterhin wirkt beim Drehen der Aussaatwelle die Tastwalze auf den Schieber der Samendurchführung und bringt sie in die nächste Lage.

Dadurch fällt ein Samen in die zweite Öffnung (Abbildung 7b). Genauso erfolgt das Aussäen in die dritte Öffnung (Abbildung 7c).
Beim Gang des Schiebers von der Testwalze der Samendurchführung wird der Schieber durch die Feder in die Ausgangslage gebracht.
Dank dem von uns vorgeschlagenen und oben angeführten Verfahren kann durch späten Frühlingsfrost und Windwirkungen unter ungünstigen Wetterbedingungen nur ein Teil des Jungpflanzenbestandes vernichtet werden, unter günstigen Wetterbedingungen werden die überzähligen Jungpflanzen durch Jäten beseitigt.

Klimawandel und seine Konsequenzen – eine Herausforderung für den Gemüsebau

N. SCHMIDT, J. ZINKERNAGEL
Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau Geisenheim
Kontakt: Nadine.Schmidt@fa-gm.de; J.Zinkernagel@fa-gm.de

Zusammenfassung

Der Klimawandel wird zukünftig einen starken Einfluss auf den Gemüsebau in Hessen haben, insbesondere begünstigt durch die Diskrepanz zwischen dem hohen Wasserbedarf der Kulturen und der eingeschränkten Wasserverfügbarkeit für die Bewässerung. Diese Vulnerabilität wird durch die Berechnung der klimatischen Wasserbilanz für die wichtige Anbauregion Hessisches Ried evaluiert.

Die Berechnungen beruhen auf Simulationsdaten der regionalen Klimamodelle WETTREG 2010, C-CLM und REMO, indem die 30jährigen Zeitreihen 1971 – 2000, 2031 – 2060 und 2071 – 2100 meteorologischer Parameter für die Vegetationsperiode basierend auf den Klimamodellsimulationen und Szenario A1B analysiert werden. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Niederschlagsverteilung und -häufigkeit, Länge von Trockenperioden sowie der Veränderungsintensität von Niederschlag und Verdunstung in Bezug auf die klimatische Wasserbilanz. Simulationen dieser Größen können stark zwischen den einzelnen regionalen Klimamodellen variieren.

Bezogen auf die Niederschlagsverteilung simulieren alle innerhalb der Studie verwendeten regionalen Klimamodelle eine starke Umverteilung der Sommerniederschläge (rund -30%) hin zu Winterniederschlägen (fast +40%) sowie häufiger vorkommende und längere niederschlagsfreie Zeiträume in den zukünftigen Perioden im Vergleich zur Referenz 1971 – 2000. Weiterhin zeigt sich ein Trend für eine zunehmend negative klimatische Wasserbilanz während der Vegetationsperiode.

Die Erkenntnisse unterstreichen zudem den Aspekt, dass ein Transfer in die Praxis die Betrachtung von mehr als nur einer Klimamodellsimulation und die Verwendung mehrerer Modelle erfordert. Ungeachtet der hohen Variation zwischen den Modellen zeigt sich generell der Trend eines zukünftig erhöhten Wasserbedarfs. Die größte Herausforderung stellen hierbei die Klimawandelbedingten Konsequenzen für die Wasserversorgung und das Bewässerungsmanagement dar, denn diese sind von herausragender Bedeutung, wenn es darum geht, den Gemüseanbau im Freiland auch zukünftig zu ermöglichen.

Einleitung

Der sich rezent vollziehende Klimawandel wirft die Frage auf, welche Auswirkungen auf den Wasserverbrauch der Pflanzen und die landwirtschaftliche Zusatzbewässerung zu erwarten sind. Insbesondere Trockenperioden und ein damit verbundener gesteigerter Wasserbedarf für industrielle und öffentliche Zwecke werden die Wasserverfügbarkeit sowie die Sicherstellung der Wasserversorgung für die Landwirtschaft reduzieren. Dabei gehört gerade die landwirtschaftliche Bewässerung zu den größten Konsumenten von natürlichen Wasserressourcen.

Das Hessische Ried ist ein landwirtschaftlich intensiv genutztes Gebiet in Südhessen, insbesondere für den Anbau von Sonderkulturen. Der Flächenanteil für den Gemüseanbau erreicht ein Viertel der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Die Gemüseproduktion leistet einen erheblichen ökonomischen Beitrag für diese Region und stellt darüber hinaus die wichtigste Anbauregion Hessens für Gemüse dar.

Gemüsekulturen weisen einen sehr hohen Wasserbedarf auf, aber nur in wenigen Anbauregionen reichen die natürliche Niederschläge aus, um diesen zum Zwecke eines hohen Ertrags- und Qualitätsniveaus zu decken. Daher wird Gemüse als beregnungsbedürftig eingestuft. Auch im Hessischen Ried reichen die natürlichen Niederschläge während der Vegetationszeit zur Deckung des Wasserbedarfs nicht aus, sodass unter den klimatischen Bedingungen im Hessischen Ried eine wirtschaftliche Gemüseproduktion schon jetzt nur durch Zusatzbewässerung möglich ist (Berthold, 2009). Daraus resultiert die Notwendigkeit für den hessischen Gemüsebau potenziell zukünftige Szenarien des Wasserbedarfs und der Wasserversorgung zu ermitteln.

Die klimatische Wasserbilanz (KWB) kann als Bewertungsgrundlage für den kulturspezifischen Wasser- sowie Bewässerungsbedarf von Gemüse herangezogen werden. Zur Berechnung werden neben den täglichen Niederschlags- und Verdunstungswerten ebenso Daten zum Wasserverbrauch der entsprechenden Kultur benötigt. Der Wasserverbrauch einer Kultur unterscheidet sich jedoch hinsichtlich ihrer Entwicklung (Wachstumsstadien) und daraus resultierend im zeitlichen und mengenmäßigen Wasserbedarf der Kultur. Um diese bei der Bilanzierung zu berücksichtigen, werden so genannte pflanzenbauliche Korrekturfaktoren (k_c-Werte) verwendet (Allen *et al.,* 1998). Insbesondere die stark beregnungsbedürftige Sonderkultur Gemüse wird unter einer Verschlechterung der Wasserbilanz leiden.

Während für das Klima schon umfangreiche Projektionen vorliegen, besteht gerade im gemüsebaulichen Sektor noch viel Forschungsbedarf, wie mit der kommenden Situation umgegangen werden kann.

Das Projekt strebt eine Beurteilung der Folgen klimatischer Veränderungen für die gemüsebaulich wichtige Anbauregion „Hessisches Ried“ durch Simulation der zukünftigen Klimaentwicklung an. Dabei sollen vor allem die Risiken und Bedürfnisse der zukünftigen Bewässerung durch Simulation von Extremereignissen, von Trockenperioden, der kulturspezifischen klimatischen Wasserbilanz in Verbindung mit dem Einfluss auf die Beziehung zwischen Niederschlag und Evapotranspiration abgeschätzt werden.

Material und Methoden

Klimadaten, Klimamodelle und Simulationen

Zur Abschätzung der möglichen Bandbreite der künftig möglichen Klimaänderungen sowie der zukünftigen Wasserverfügbarkeit für den Gemüseanbau im Hessischen Ried werden Simulationsdaten von Klimamodellen als Grundlage für die Impaktstudien verwendet.

Die räumliche Auflösung von globalen Klimamodellen ist für die Betrachtung der Klimaentwicklung auf regionaler Ebene (Hessisches Ried) nicht ausreichend. Daher werden regionale Klimamodelle benutzt, die die generierten klimatischen Randbedingungen aus den Globalmodellen verwenden. Unter Berücksichtigung der Eigenschaften der Globalmodelle, simulieren die regionalen Klimamodelle zukünftige Tageswerte meteorologischer Parameter wie bspw. Temperatur, Niederschlag und Globalstrahlung usw.

Für eine realistische Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklung muss auch die zukünftige Entwicklung der natürlichen Antriebe, wie beispielsweise Globalstrahlung, Treibhausgasemission sowie anthropogene Entwicklungen berücksichtigt werden.

Für diese Faktoren sind verschiedene Szenarien entwickelt worden, von denen jedes eine plausible, auf bestimmten Annahmen beruhende Entwicklung der Umweltveränderungen beschreibt. Im Rahmen des Projektes wird das moderate Szenario A1B (IPCC 2007) zugrunde gelegt. Dieses Szenario geht von einem Anstieg der Treibhausgas Konzentration, einem raschen Wirtschaftswachstum und einer zunehmenden effizienten Technologieentwicklung aus.

Die zukünftigen, lokalen Klimabedingungen im Hessischen Ried, unter Szenario A1B, werden für 30jährige Simulationszeitreihen (1971-2000, 2031-2060, 2071-2100) der drei verschiedenen Regionalmodelle C-CLM (Rockel *et al*., 2008), WETTREG 2010 (Spekat *et al*., 2010) und REMO (Jacob, 2001, Jacob *et al*., 2007) untersucht. Die verwendeten Regionalmodelle werden durch die Globalmodelle ECHAM5 (Roeckner *et al*., 2003) und HadCM3 (Gordon *et al*., 2000) angetrieben.

Meteorologische Parameter – Niederschlag und Verdunstung

Die Niederschlagseigenschaften – mittleren Niederschlag sowie Eintrittswahrscheinlichkeit von Niederschlagsereignissen aus verschiedenen regionalen Modellsimulationen umfassend – werden analysiert, da der Zeitpunkt und die Menge des Niederschlags die Bewässerungsnachfrage in der pflanzlichen Produktion beeinflussen. Daher sind Simulationen der zukünftigen niederschlagsfreien Zeiten in der Vegetationsperiode sowie die Analyse der Variabilität und Frequenz von großem Interesse. Niederschlagsfreie Zeiträume sind definiert als maximale Anzahl von aufeinander folgenden Tagen ohne Regen. Für die Bewertung der zukünftigen Niederschlagsereignisse im Hessischen Ried werden die mittleren monatlichen Niederschlagssummen und -mittelwerte aus den Modelldaten für die 30jährigen Perioden projiziert. Anschließend werden die zukünftigen Perioden mit dem Bezugszeitraum 1971-2000 verglichen. Entsprechend der prozentualen Unterschiede zwischen den Perioden, können zukünftige klimatisch bedingte Änderungen in der Niederschlagsverteilung und Wasserverfügbarkeit abgeschätzt werden. Zur Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Evapotranspiration (ET_0), wird diese durch die Penman (Penman, 1956) sowie die FAO Penman-Monteith Gleichung (Allen *et al*., 1998) mit Hilfe der Regionalmodelldaten während der Vegetationsperiode (März bis Oktober) berechnet.

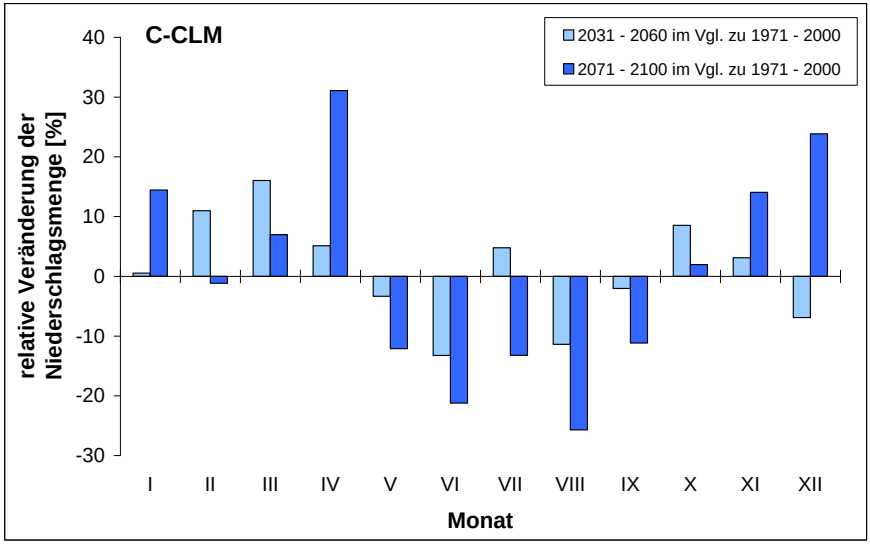
Bewässerungssteuerung

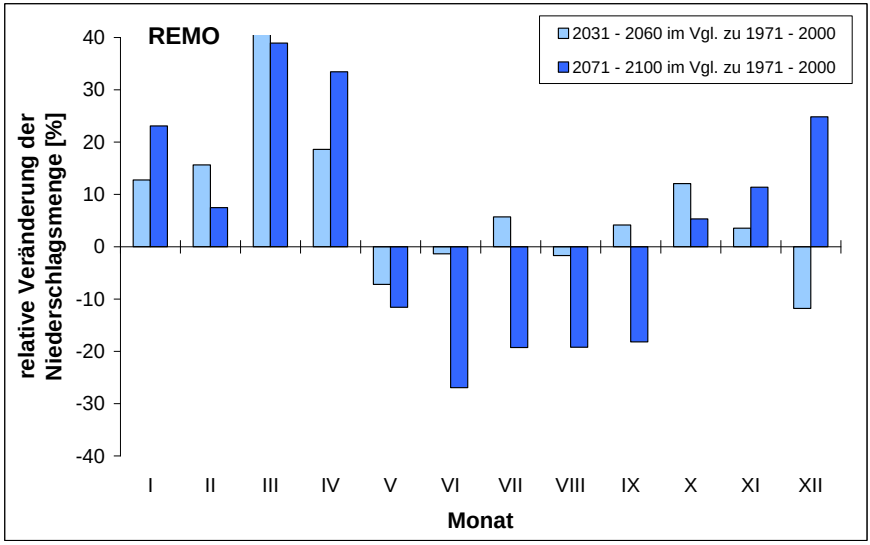
Eine etablierte Methode zur Berechnung des Wasserbedarfs von Gemüse zur Bewässerungssteuerung ist die klimatische Wasserbilanz (KWB). Sie berechnet sich aus der Differenz von Niederschlag und Evapotranspiration. Die KWB ist eine der wichtigsten Faktoren für optimales Pflanzenwachstum und ein indirekter Ansatz, um den Einfluss der klimatischen Veränderungen auf die Wasserverfügbarkeit zu ermitteln. Der Einfluss des Klimawandels auf den zukünftigen Wasserbedarf kann mit Hilfe der KWB abgeschätzt werden, indem die Simulationsdaten der Regionalmodelle für Niederschlag und Verdunstung, die den Einfluss des Klimawandels auf jene Parameter widerspiegeln, verrechnet werden.

Ergebnisse und Diskussion

Mögliche zukünftige Entwicklung im Hessischen Ried

Alle innerhalb der Studie verwendeten regionalen Klimamodelle weisen übereinstimmend nur geringe Veränderungen hinsichtlich jährlichem Niederschlag und Evapotranspiration, aber auf monatlicher Basis zeigt sich ein Trend für starke saisonale Variabilität. In den Simulationen zeichnet sich im Mittel eine starke Umverteilung von ca. - 30% Sommerniederschlägen hin zu ca. + 40% Winterniederschlägen bis 2100 ab (Abb. 1).


C-CLM
2031 - 2060 im Vgl. zu 1971 - 2000
2071 - 2100 im Vgl. zu 1971 - 2000
relative Veränderung der Niederschlagsmenge [%]
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
IX
X
XI
XII
Monat


REMO
2031 - 2060 im Vgl. zu 1971 - 2000
2071 - 2100 im Vgl. zu 1971 - 2000
relative Veränderung der Niederschlagsmenge [%]
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
IX
X
XI
XII
Monat

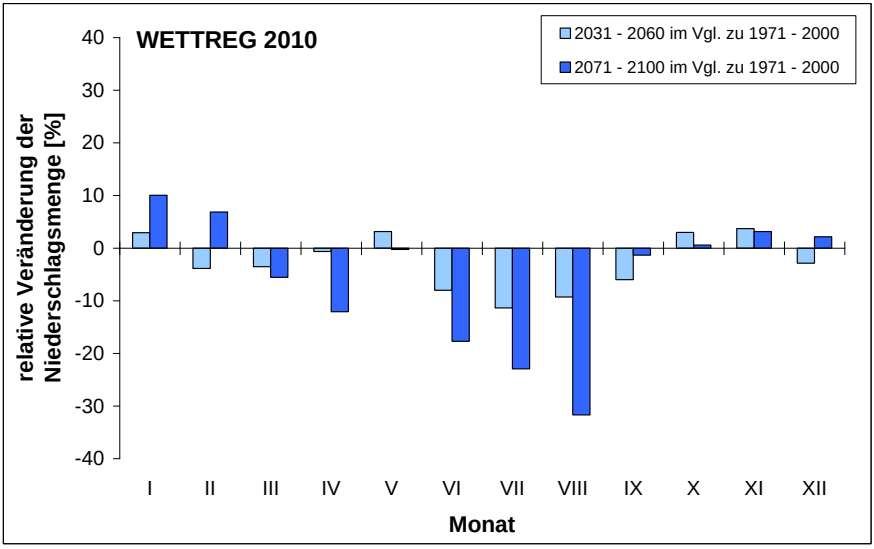
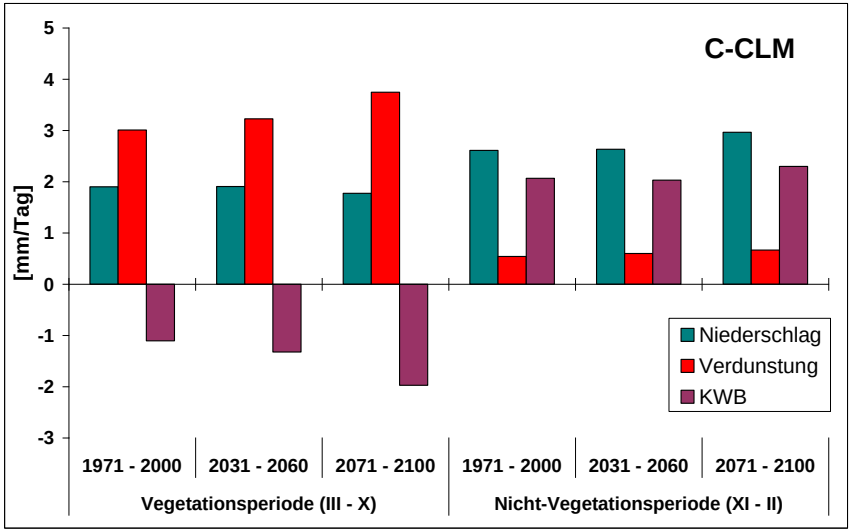


Abb. 1: Modellierte Niederschlagsverteilung im Jahresverlauf mit C-CLM, REMO und WETTREG 2010 (Flächenmittel Hessisches Ried) für Szenario A1B / ECHAM5. Prozentuale Differenz der mittleren Niederschlagssummen basierend auf dem Vergleich der modellierten zukünftigen Perioden 2021 – 2050 und 2071 – 2100 mit der Referenzperiode 1971 – 2000.

Die Umverteilung vom Sommer in den Winter innerhalb eines Jahres zeigt sich ebenso für die Evapotranspiration, weil die räumlichen Verteilungsmuster im Zusammenhang mit den Veränderungen des Niederschlags stehen.
Die resultiert in einer negativen klimatischen Wasserbilanz innerhalb und umgekehrt eine positive Bilanz außerhalb der Vegetationsperiode auf.
Die negative klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode ergibt sich sowohl aus den geringeren Niederschlägen als auch aus den länger werdenden und häufigeren Trockenphasen, während die Evapotranspirationsrate im Sommer aufgrund vieler Sonnenscheinstunden und damit verbunden hohen Globalstrahlungswerten größer ist als die Niederschlagsmenge.
Im Gegenzug dazu führen weniger Globalstrahlung und damit niedrigere Verdunstung sowie die umverteilten, höheren Niederschläge in den Wintermonaten zu einer positiven klimatischen Wasserbilanz. Des Weiteren fällt auf, dass die klimatische Wasserbilanz innerhalb der Vegetationsperiode zukünftig zunehmend negativer ausfällt. Demnach weisen alle Simulationen einen Trend zu trockeneren Verhältnissen und zunehmend negativer klimatischer Wasserbilanz während der Vegetationsperiode hin (Abb. 2). Dieses Wasserdefizit muss zukünftig durch zusätzliche Bewässerung kompensiert werden, insofern ausreichend Wasser für diese Zwecke verfügbar ist.



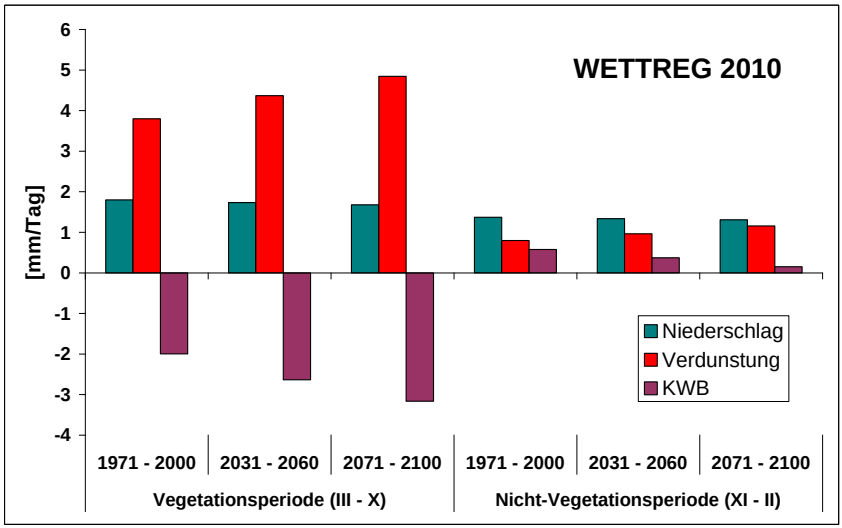


Abb. 2: Simulation von Niederschlag und Verdunstung sowie resultierende klimatische Wasserbilanz [mm/Tag] mit C-CLM und WETTREG 2010 (Szenario A1B / ECHAM5) innerhalb sowie außerhalb der Vegetationsperiode für die 30jährigen Zeiträume 1971 – 2000 (Referenz) sowie 2031 – 2060 und 2071 – 2100

Aus landwirtschaftlicher Sicht ist ebenso die zukünftige Ausprägung niederschlagsfreier Zeiträume, definiert als maximale Anzahl fortlaufender Tage ohne Niederschlag (0 mm), vorrangig während der Vegetationsperiode von

großem Interesse, da die Verfügbarkeit von natürlichem Niederschlag die zusätzliche Wasserversorgung der Kulturen mitbestimmt.
Bereits im Referenzzeitraum 1971 - 2000 wurden Trockenperioden mit einer Dauer von 30 Tagen oder mehr registriert. Im Einzelfall ergibt sich wie beispielsweise bei REMO in der mittelfristigen Zukunft ein niederschlagsfreier Zeitraum von bis zu 53 Tagen. Hierbei zeigt sich, dass die niederschlagsfreien Zeiträume im Mittel bis zu 35 Tage andauern (Abb. 3). Dies verdeutlicht, dass die Modelle sowohl im Beobachtungszeitraum als auch in den zukünftigen Szenarien niederschlagsfreie Perioden simulieren, die über den Zeitraum eines Monats hinausgehen.

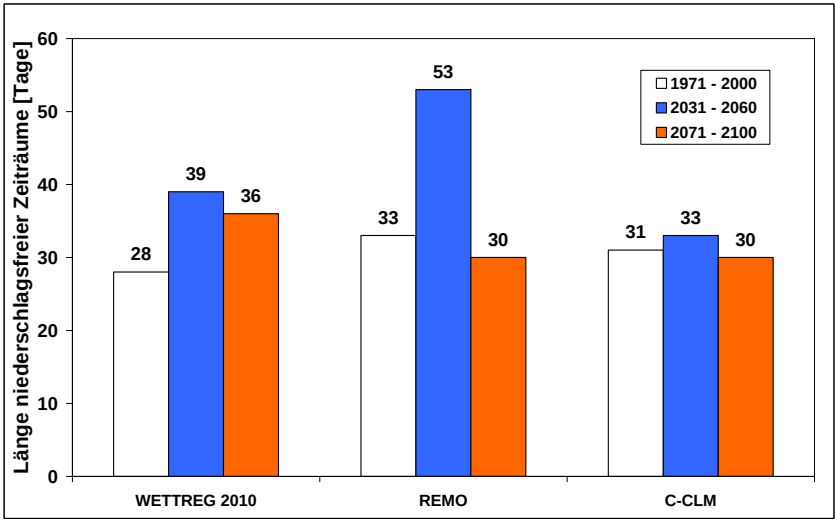


Abb. 3: Simulierte maximale Länge niederschlagsfreier Zeiträume mit WETTREG 2010 (Mannheim), REMO und C-CLM (Flächenmittel Hessisches Ried) für Szenario A1B / ECHAM5. Maximale Anzahl fortlaufender Tagen ohne Niederschlag in den Perioden 1971 – 2000, 2031 – 2060 sowie 2071 – 2100.

In Anbetracht dieser Ergebnisse stellt sich die Frage, inwieweit diese niederschlagsfreien Zeiträume innerhalb der Vegetationsperiode auftreten, da gerade in dieser Phase das Ausbleiben von Niederschlag sowohl die Kulturführung als auch das Bewässerungsmanagement wesentlich beeinflussen und diese Zeiträume unabhängig von ihrer Länge eine Zusatzbewässerung erforderlich machen können. Diesbezüglich ergeben die Modellsimulationen, dass mit einer Zunahme niederschlagsfreier Zeiträume gerechnet werden muss, was sich anhand einer steigenden absoluten Häufigkeit entsprechender Ereignisse ablesen lässt (Abb. 4). Sowohl die Anzahl niederschlagsfreier Tage als auch die Zeiträume mit mehr als 15 Tagen ohne Niederschlag zeigen bis zum Ende des Jahrhunderts tendenziell eine Zunahme.

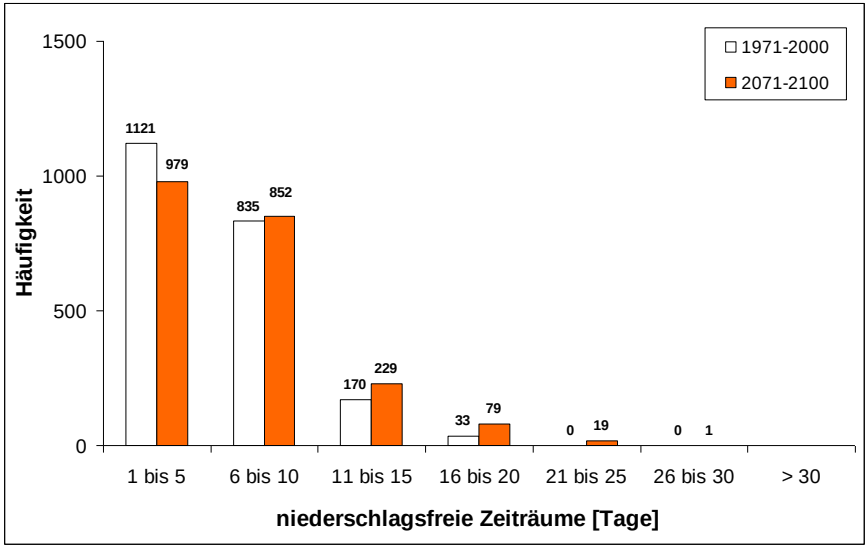


Abb. 4: Simulierte absolute Häufigkeiten niederschlagsfreier Zeiträume mit C-CLM (Flächenmittel Hessisches Ried) für Szenario A1B / ECHAM5 innerhalb der Vegetationsperiode für den 30jährigen Zeitraum 2071 – 2100 im Vergleich zur Referenz 1971 – 2000

Bezogen auf die Verteilung dieser niederschlagsfreien Zeiträume, definiert als maximale Länge pro Monat innerhalb der Vegetationsperiode, ist kein einheitlicher Trend im Vergleich der Simulationen der Regionalmodelle feststellbar (Abb. 5 bis 7).

Die Simulationsdaten des Modells C-CLM (Abb. 5) ergeben einen durchschnittlichen maximalen niederschlagsfreien Zeitraum von 18 Tagen in 1971 – 2000, von 31 Tagen in 2031 – 2060 sowie von 29 Tagen in 2071 – 2100. Die simulierte maximale Länge der niederschlagsfreien Zeiträume innerhalb der Vegetationsperiode auf Monatsbasis schwankt, zeigt aber ab April eine Zunahme für die Szenarien im Vergleich zur Referenz 1971 – 2000, während zu Beginn der Vegetationsperiode diese noch unter den Referenzwerten liegen. Mit diesem Modell wird also eine Zunahme der niederschlagsfreien Zeiträume zu Beginn der Vegetationsperiode in Zukunft simuliert. Zum Ende der Vegetationsperiode sinken die simulierten Zeitdauern wieder ab, bleiben aber über bzw. auf dem Referenzniveau.

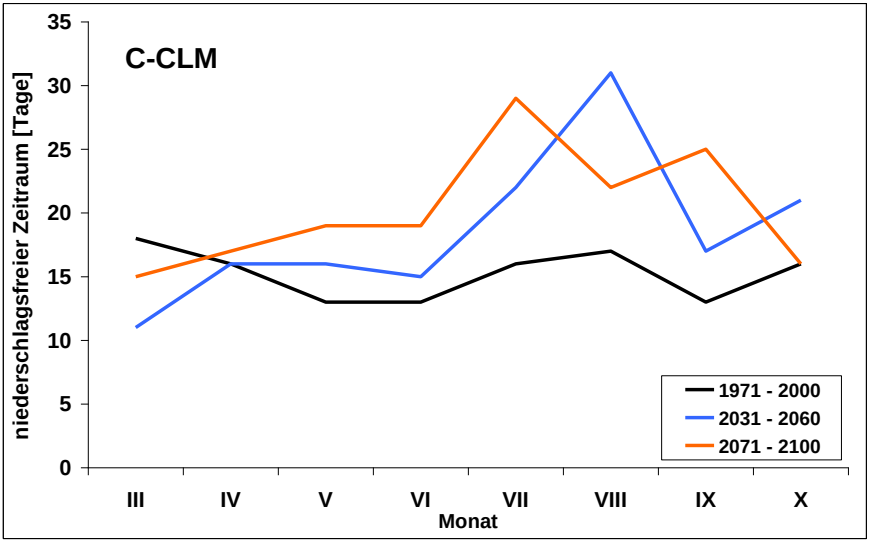


Abb. 5: Simulierte maximale Länge niederschlagsfreier Zeiträume mit C-CLM (Flächenmittel Hessisches Ried) für Szenario A1B / ECHAM5 unter Einhaltung der Monatsgrenzen innerhalb der Vegetationsperiode. Maximale Anzahl fortlaufender Tagen ohne Niederschlag in den Perioden 1971 – 2000, 2031 – 2060 sowie 2071 – 2100.

Die Simulation mit REMO (Abb. 6) zeigt einen stark schwankenden Verlauf der maximalen Länge der niederschlagsfreien Zeiträume für die Szenarien im Vergleich zur Referenz 1971 – 2000. Im gesamten zeitlichen Verlauf von März bis Oktober liegen die simulierten Werte nah an der Referenz und unterschreiten diese sogar teilweise. Es lässt sich also kein eindeutiger Trend einer zukünftigen Verlängerung der niederschlagsfreien Zeiträume bei Betrachtung der Werte auf Monatsbasis feststellen. Nichtsdestotrotz werden niederschlagsfreie Perioden von durchschnittlich 28 Tagen in 1971 – 2000, von 31 Tagen in 2031 – 2060 sowie von 25 Tagen in 2071 – 2100 simuliert, sodass langfristig dennoch mit langen Perioden ohne Niederschlag während der Vegetationsperiode gerechnet werden muss.

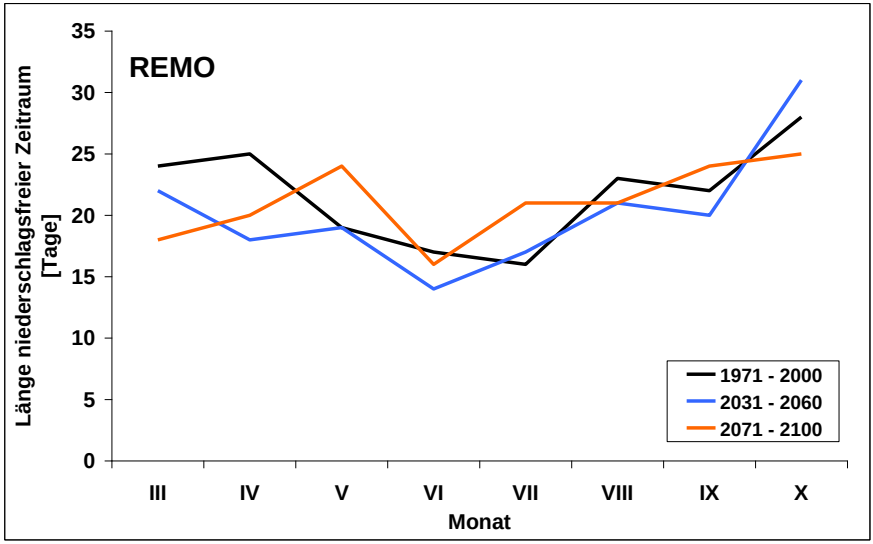


Abb. 6: Simulierte maximale Länge niederschlagsfreier Zeiträume mit REMO (Flächenmittel Hessisches Ried) für Szenario A1B / ECHAM5 unter Einhaltung der Monatsgrenzen innerhalb der Vegetationsperiode. Maximale Anzahl fortlaufender Tagen ohne Niederschlag in den Perioden 1971 – 2000, 2031 – 2060 sowie 2071 – 2100.

Die Modellierung mit WETTREG 2010 (Abb. 7) hingegen zeigen lediglich eine Zunahme der niederschlagsfreien Zeiträume in der Vegetationsperiode für das langfristige Zukunftsszenario 2071 – 2100 im Vergleich zur Referenz, wobei dies bereits zu Beginn der Vegetationsperiode im März weit über Referenzniveau liegt. Die längsten Zeiträume treten vorrangig in der ersten Phase der Vegetationsperiode von März bis Mai auf und sinken bereits ab Juni wieder auf Referenzniveau. Ab August sinken die niederschlagsfreien Zeiträume unter das Niveau von 1971 - 2000, sodass zum Ende der Vegetationsperiode eine starke Abnahme der niederschlagsfreien Zeiträume simuliert wird. Das Szenario der mittelfristigen Zukunft (2031 – 2060) weist einen Verlauf ähnlich dem Referenzzeitraum 1971 – 2000 auf, wobei dies zu Beginn der Vegetationsperiode sogar unterschritten wird. Erst ab September zeigt sich eine geringfügige Längenzunahme. Daher kann mittelfristig nicht von längeren niederschlagsfreien Zeiträumen ausgegangen werden. Im Durchschnitt umfassen die niederschlagsfreien Zeiträume in 1971 – 2000 28 Tage und in den Zukunftsszenarien 2031 – 2060 und 2071 – 2100 jeweils 30 Tage.

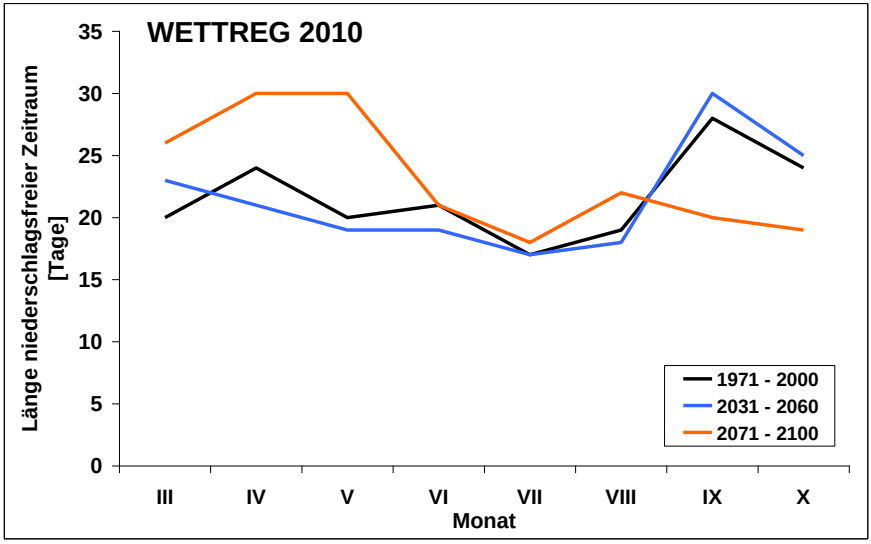


Abb. 7: Simulierte maximale Länge niederschlagsfreier Zeiträume mit WETTREG 2010 (Station Mannheim) für Szenario A1B / ECHAM5 unter Einhaltung der Monatsgrenzen innerhalb der Vegetationsperiode. Maximale Anzahl fortlaufender Tagen ohne Niederschlag in den Perioden 1971 – 2000, 2031 – 2060 sowie 2071 – 2100.

Eine Zunahme der niederschlagsfreien Zeiträume hätte einen starken Einfluss auf den Zusatzwasserbedarf zur Folge. Berücksichtigt man zudem, dass der Gemüseanbau im Hessischen Ried bereits heutzutage nur durch Bewässerung gewährleistet werden kann, ergeben sich große Anforderungen an das zukünftige Bewässerungsmanagement.

Die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle spiegeln eine große Bandbreite möglicher zukünftiger Klimabedingungen wieder, demzufolge liegt kein einheitlicher Trend für die Zukunft vor. Während der Klimawandel die Wasserverfügbarkeit direkt durch Veränderung der klimatischen Hauptparameter (wie beispielweise Niederschlag und Verdunstung) beeinflusst, lässt der Zusammenhang zwischen veränderten Klimabedingungen, Wasserverfügbarkeit und Grundwasserneubildung vermuten, dass der Klimawandel die Wasserressourcen beeinflusst und eine effiziente Bewässerung zukünftig an Bedeutung gewinnt.

Fazit

Wasser ist im Gemüsebau ein unverzichtbarer Produktionsfaktor für die ökonomische Produktion qualitativ hochwertiger Nahrungsmittel. Infolge des Klimawandels, gekennzeichnet durch den Anstieg der Lufttemperatur und einem Rückgang der natürlichen Niederschläge während der Vegetationsperiode, sind ein Anstieg der Verdunstungswerte und dementsprechend eine zunehmend negative klimatische Wasserbilanz die Folge. Somit ergeben sich auch Defizite in der Wasserverfügbarkeit für die Kulturpflanzen. Es ist anzunehmen, dass zukünftig insbesondere im Sommer mit einem weiteren Anstieg des Zusatzwasserbedarfs zu rechnen ist.

Die mögliche zukünftige klimatische Entwicklung, basierend auf den Klimamodellen, ist grundsätzlich nicht als Vorhersage für die Zukunft zu verstehen. Vielmehr werden anhand von unterschiedlichen Szenarien, alternative Entwicklungen des zukünftigen Klimas beschrieben. Das Klima der Vergangenheit wird von den Modellen zwar nicht exakt abgebildet, aber hinreichend genau beschrieben, um von einer Plausibilität der berechneten Projektionen ausgehen zu können. Je nachdem wie die Rahmenbedingungen für die Simulationen definiert sind, können die Simulationsergebnisse in Abhängigkeit der verwendeten Szenarien, Globalmodelle und Regionalmodelle stark voneinander abweichen. Ebenso liegen den Berechnungen die heterogenen Standort- und Klimabedingungen des Hessischen Rieds zugrunde, sodass nicht von einer Allgemeingültigkeit ausgegangen werden darf.

Nichtsdestotrotz werden Bewässerung und Bewässerungsmanagement zweifellos an Bedeutung gewinnen, wenn es gilt, die fehlenden Niederschläge zu kompensieren sowie die klimatisch bedingten, günstigen Faktoren wie höhere Temperatur und längere Vegetationszeit optimal auszunutzen

Literatur

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M., 1998: Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. 300pp In: *Irrigation and Drainage Paper* No. **56**, FAO, Rome, Italy.

BERTHOLD, G., 2009: Sicherstellung der landwirtschaftlichen Produktion mit Zusatzwasserbedarf bei veränderten klimatischen Bedingungen. *Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen INKLIM 2012 II plus (Abschlussbericht).*

GORDON, C.; COOPER, C.; SENIOR, C.A.; BANKS, H.; GREGORY, J.M.; JOHNS, T.C.; MITCHELL, J.F.B.; WOOD, R.A., 2000: The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics* **16**, 147-168.

IPCC, 2007a: Climate Change 2007. In: Synthesis Report. Pachauri, R.K.; Reisinger, A. (Eds.). Core Writing Team. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC, 2007b: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. In: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M. and Miller, H.L., ed. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC, 2007c: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. In: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry, M. L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P.J. and Hanson, C.E. Cambridge University Press, Cambridge.

JACOB, D., 2001: A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. *Meteorological Atmospheric Physics*. **77**, 61-73.

JACOB, D. *et al*., 2007: An inter-comparison of regional climate models for Europe: Design of the experiments and model performance. PRUDENCE Special Issue. Climatic Change. Vol. 81.

PENMAN, H.L., 1956: Estimating evaporation. *Trans. Amer. Geophys. Union*. 37, 43-46.

ROCKEL, B.; WILL, A.; HENSE, A., 2008: The regional climate model COSMO-CLM (C-CLM). *Meteorologische Zeitschrift* **17**, 347-348.

ROECKNER, E.; BÄUML, G.; BONAVENTURA, L.; BROKOPF, R.; ESCH, M.; GIORGETTA, M.; HAGEMANN, S.; KIRCHNER, I.; KORNBLUEH, L.; MANZINI, E.; RHODIN, A.; SCHLESE, U.; SCHULZWEIDA, U.; TOMPKINS, A., 2003: The atmospheric general circulation model ECHAM5 Part I: Model description. 127pp. In: Report No. 349. Max Planck Institute for Meteorology. Hamburg.

SPEKAT, A.; ENKE W.; KREIENKAMP F., 2010: Weiterentwicklung von WETTREG bezüglich neuartiger Wetterlagen. *Bericht*.

Use of various irrigation methods for receiving planned yields of vegetable crops in the arid zone of the south of Russia

E. A. KHODYAKOV
Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia
Contact: vgsha-grishina@yandex.ru

Conclusion

At the arid zone in the south of Russia, at the territory between the famous Russian rivers Volga and Don, winters are very cold without snow and summers are very hot without rain. At these conditions, it is possible to receive annually the planned yields of 70 to 90 t/ha of tomatoes or 50 to 70 t/ha of pepper and eggplants by using sprinkling. Using drip irrigation, 100 t/ha of tomatoes can be achieved with keeping soil fertility and ecological safety at the same time.

At the territory of several areas in the south of Russia (Astrakhan, Volgograd, Rostov and Saratov regions) and also in the Republic of Kalmykia, climate is “sharp continental” with very cold winter without snow and very hot dry summer. The annual amount of precipitation is 300 mm, with a portion of only 200 mm within the vegetation time, but at the same time the evaporation amounts to 900 mm. So growing vegetables is only possible by using irrigation. The drip irrigation develops very quickly, but the main kind of irrigation in our arid zone is sprinkling. About 60 % of already used arable lands are irrigating by this way.

The main problem of the land improvements in the region is the low vegetable yield of about 20…40 t/ha, that makes any agricultural production unprofitable. However, the soil and climatic conditions of the region and biological features of applied grades and hybrids allow to receive much higher productivity. So the object of modern scientific researches is not only achievement of high yields, but also receiving guaranteed planned yields of vegetables for farmers with various financial, water, energetic, technical and power recourses at our soil - climate conditions.

In this regard, the main task of our researches (Khodyakov, 2002) was receiving the planned yields from 70 to 90 t/ha of tomatoes, from 50 to 70 t/ha of pepper and eggplants by sprinkling and also 100 t/ha of tomatoes by using drip irrigation with keeping soil fertility and ecological safety at the same time.

Researches were carried out at the farm “Gornaia Poliana” of the Volgograd State Agrarian University. Medium-early cultivars of tomatoes, pepper and eggplants were used for the field experiments.

The experimental field was situated at the territory between famous Russian rivers Volga and Don. It has a plane surface and zero gradients. The soils were light brown, without salts, and are classified as medium and tight loams according to granular structure. Maintenance of humus wasn’t more than 1…2 %.

The researches directed on growing vegetables using sprinkling

These experiences were carried out during 3 years. According to hydrothermal indicators (the relation of the sum of the rains to the sum of temperatures for vegetation), the years 2002, 2003, 2004 were very dry and only the year 2005 was dry. That means, we received the planned yields of tomatoes, pepper and eggplants even in the years with worst weather conditions.

The irrigation was carried out with the help of a center-pivot-irrigator “Fregat” (it‘s the analog of the US models by Valley Manufacturing became later Valmont Industries Inc.). The total irrigation square of “Fregat” was 30 ha, including 3 ha for our field experiments. This sprinkling machine has 10 moving sections rotating around a fix rise pipe. “Fregat” has a length of 283 m with a water flow rate of 30…35 liter/second and a precipitation rate of 0.18…0.25 mm/minute.

Against threat of frosts, the setting down of the seedlings into the soil carried out every year in the second and third decade of May as band planting: for tomatoes according to the scheme 0.9+0.5×0.36; for pepper and eggplants 0.9+0.5×0.30 m. That means, the inter-row distance was 0.9 m wide. The band width was 0.5 m and the distance between each plant in the row was 0.30 or 0.36 m. Vegetables were harvested in September, 3-4 times within one month.

In our field experiments, the typical agro technology for arid zone of Russia was applied, complemented by two experimental factors (irrigation and fertilization regimes).

It is known that a major factor of receiving planned crops of vegetables in the arid zone first of all is a regulation of a water regime of the soil, providing the necessary amount of irrigating water during any period of plant development. Therefore the first and major factor in our researches (the factor A) was an irrigation mode in an active fertile layer of the soil on the depth 0.4 m (Table 1).

We investigated three options of irrigation regime with different Preirrigation Moisture Soil Levels (PMSL): one constant with 85% of Full Moisture Soil Capacity (85% FMSC) during the whole vegetative period and two differentiated modes of irrigation (75-65 and 85-75% FMSC), which decreased PMSL after the first interphase period of growing vegetables.

The first interphase period for tomatoes, eggplants and pepper was “sprouts planting – fruits setting” and the next one was “fruits setting – last harvest”.

The second experimental factor (the factor B) was the fertilization regime. Mineral fertilizers were applied into the soil according to planned yields of 70, 80, or 90 t/ha of tomato fruits which corresponds to doses of $N_{130}P_{57}K_{65}$, $N_{150}P_{60}K_{75}$, $N_{170}P_{67}K_{85}$, respectively. Nutrient supply for 50, 60, or 70 t/ha of eggplants and pepper fruits was $N_{165}P_{100}K_{90}$, $N_{200}P_{120}K_{110}$, and $N_{235}P_{140}K_{130}$ (kilogram of primary nutrient per ha (kpn/ ha)), respectively.

Fertilization amounts were calculated taking the content of mobile compounds of nitrogen, phosphorus and potassium in the soil into account, as well as the nutrient uptake by the crops.

In each variant, one part of mineral fertilizers (30 … 55 %) was applied during the autumn plowing, the rest – the next year in the form of 2…3 applications during

the vegetation period. For example, the scheme of fertilizer application for eggplants is showed in Table 2.

The seedlings of tomatoes are rooting most rapidly, followed by sprouts of pepper and the most difficult – eggplants. Therefore in contradistinction to tomatoes, we carried out 2 moistening waterings with the norm 100 m^3/ha to pepper seedlings within two days after planting and in addition to these two ones - one more watering with 200 m^3/ha after the planting of eggplants (Table 3).

Table 1: Scheme of experiences for sprinkling

Number of variants	Factor A - the preirrigation humidity of soil, % FMSC			Desig-nation	Factor B – the doses of fertilizers		Desig-nation	The combinations of factors
	interphase periods		during the vegetation		kpn/ha	Planned yield, t/ha		
	sprouts planting-fruits setting	fruits setting – last harvest						
Tomatoes								
1	75	65	75-65	A1	$N_{130}P_{53}K_{65}$	70	B1	A1B1
2					$N_{150}P_{60}K_{75}$	80	B2	A1B2
3					$N_{170}P_{67}K_{85}$	90	B3	A1B3
4	85	75	85-75	A2	$N_{130}P_{53}K_{65}$	70	B1	A2B1
5					$N_{150}P_{60}K_{75}$	80	B2	A2B2
6					$N_{170}P_{67}K_{85}$	90	B3	A2B3
7	85	85	85-85	A3	$N_{130}P_{53}K_{65}$	70	B1	A3B1
8					$N_{150}P_{60}K_{75}$	80	B2	A3B2
9					$N_{170}P_{67}K_{85}$	90	B3	A3B3
Eggplants and Peppers								
1	75	65	75-65	A1	$N_{165}P_{100}K_{90}$	50	B1	A1B1
2					$N_{200}P_{120}K_{110}$	60	B2	A1B2
3					$N_{235}P_{140}K_{130}$	70	B3	A1B3
4	85	75	85-75	A2	$N_{165}P_{100}K_{90}$	50	B1	A2B1
5					$N_{200}P_{120}K_{110}$	60	B2	A2B2
6					$N_{235}P_{140}K_{130}$	70	B3	A2B3
7	85	85	85-85	A3	$N_{165}P_{100}K_{90}$	50	B1	A3B1
8					$N_{200}P_{120}K_{110}$	60	B2	A3B2
9					$N_{235}P_{140}K_{130}$	70	B3	A3B3

Results

If PMSL increased from 75-65 to 85-75 and further to 85% FMSC at the first stage of plant development, irrigation norms of vegetative waterings for tomatoes decreased from 400 to 250 m^3/ha, for eggplants from 350 to 200 m^3/ha, and for pepper from 370 to 220 m^3/ha. At the second stage of vegetable crop development we saw the analogical reduction of irrigation norms: for tomatoes from 550 to 250, for eggplants from 500 to 200, for pepper from 530 to 220 m^3/ha.
At the same time, the number of vegetative waterings during the first period of tomatoes plant development increased in average of 3years from 6 to 11, during the second period – from 4 … 5 to 9 and for eggplants and pepper - respectively from 8 to 14 and from 3 to 10 … 12.

Table 2: Scheme of fertilizer application for eggplants on the experimental site with sprinkler

Planned yield, t/hectar	Whole dose of fertilizers, kpn/ha	Application of fertilizers kpn/ha		Feedings, kpn/ha	
		previously at the autumn plowing	at the spring cultivation before sprouts planting	first Phase of vegetation before beginning of flowering	second Phase of vegetation before beginning of fruits setting
50	$N_{165}P_{100}K_{90}$	$N_{10}P_{50}K_{45}$	N_{73}	$N_{70}P_{26}K_{17}$	$N_{12}P_{24}K_{28}$
60	$N_{200}P_{120}K_{110}$	$N_{12}P_{60}K_{55}$	N_{88}	$N_{80}P_{32}K_{23}$	$N_{20}P_{28}K_{32}$
70	$N_{235}P_{140}K_{130}$	$N_{14}P_{70}K_{65}$	N_{103}	$N_{90}P_{38}K_{29}$	$N_{28}P_{32}K_{36}$

The total number of watering in the year using "Fregat" for tomatoes increased on average from 10 to 20, for eggplants from 14 to 29, and for pepper from 13 to 26.
As a result, the total irrigating norm for tomatoes increased on the average from 4417 to 5000 m^3/ha, for eggplants from 4700 to 5800 m^3/ha, and for pepper from 4750 to 5480 m^3/ha.
The experiments showed that planned yields of 70, 80, or 90 t/ha of tomatoes fruits can be produced most effectively in respect to water expenses for formation of 1 ton of products by using the differentiated irrigation mode 85-75% FMSC with application rates of mineral fertilizers of $N_{130}P_{57}K_{65}$, $N_{150}P_{60}K_{75}$, or $N_{170}P_{67}K_{85}$ kpn/ ha, respectively.
Such irrigation mode on average was provided by carrying out of 11 vegetative waterings with 250 m^3/ha before fruits setting and 5 waterings with 400 m^3/ha between first and last harvest.
From three studied options of water mode, differentiated kind of 85-75% FMSC in combination with application of rates of mineral fertilizers according to planed yields $N_{165}P_{100}K_{90}$, $N_{200}P_{120}K_{110}$, or $N_{235}P_{140}K_{130}$ kpn/ ha, were most effectly for receiving the planned yields of 50, 60, or 70 t/ha of pepper and eggplants, respectively.

On the whole, the set mode of the pepper irrigation was on average provided with carrying out of 2 waterings with 100 m^3/ha right after sprouts transplanting for better rooting, 14 vegetative waterings with 220 m^3/ha to fruits seeting and 5 waterings with 370 m^3/ha during the period left before the last harvesting.
For maintenance of the similar mode of the eggplants irrigation we carried out on average 1 pre-planting watering with 100 m^3/ha, 2 moistening watering with 200 m^3/ha right after sprouts transplanting, 14 vegetative irrigations with 200 m^3/ha prior to the beginning of fructification and 6 ones with 350 m^3/ha before the last harvesting.

Table 3: Irrigation regime of tomatoes, eggplants and papers using sprinkling on average for 3 years

the preirrigation humidity of soil, % FMSC	Interphase periods				whole quantity of watering	Irrigation norm, m^3/ha
	sprouts planting-fruits setting		fruits setting – last harvest			
	watering norm, m^3/ha	quantity of watering	watering norm, m^3/ha	quantity of watering		
Tomatoes						
75 – 65	400	6	550	4	10	4417
85 – 75	250	11	400	5	16	4750
85	250	11	250	9	20	5000
Eggplants						
75 – 65	100,200,350	1*200+2*100+8*350	500	3	14	4700
85 – 75	100, 200	1*200+2*100+14*200	350	6	23	5300
85	100, 200	1*200+2*100+14*200	200	12	29	5800
Peppers						
75-65	100,370	2*100+8*370	530	3	13	4750
85-75	100,200	2*100+14*220	370	5	21	5130
85	100,200	2*100+14*220	220	10	26	5480

If the tomato yields were increased from 70 to 90 t/ha, irrigation norms were equal to 4750…5000 m^3/ha and summary water consumption 5381 … 5998 m^3/ha. At the same time, coefficient of water consumption, which shows how many m^3 of irrigation water are necessary for forming 1 ton of vegetables, decreased from 72 to 69 m^3/t (Table 4).
When the yield of eggplants and peppers increased from 50 to 70 t/ha the irrigation norms were equal to 5130…5300 m^3/ha, summary water consumption 6030 … 6196 m^3/ha and coefficient of water consumption reduced from 111,5 …116,5 to 80,5… 85,0 m^3/t.

Introduction of small irrigation amounts of 100 … 250 m^3/ha in the combination to fractional giving of norms of 350 … 400 m^3/ha (that is by parts 100…200 m^3/ha for 1 time) before forming of a water flow for some moves of "Fregat" effectively eliminated the threat of emergence of a water erosion, a soil pickling and territory bogging.

It's testified to ecological safety of the obtaining technologies of sprinkler irrigation for our region.

Table 4: Yield, Irrigation norm, Summary water consumption, Coefficient of water consumption of tomatoes, eggplants and peppers on the experimental site with sprinkler (in average for 2003 - 2005)

Average yield, t/ ha		The combinations of experimental factors		Irrigation norm, m^3/ha	Summary water consump-tion m^3/ha	Coefficient of water consump-tion m^3/t
Accor-ding to plan	In fact	Preirrigation humidity of soil, % FMSC	Doses of fertilizers, kpn/ha			
			Tomatoes			
70	74.5	85-75	$N_{150}P_{65}K_{75}$	4750	5381	72.2
80	80.4	85-75	$N_{170}P_{67}K_{85}$	4750	5381	66.7
90	83.6	85	$N_{170}P_{67}K_{85}$	5083	5998	68.6
			Eggplants			
50	51.7	85 – 75	$N_{165}P_{100}K_{90}$	5300	6030	116.6
60	62.8	85 – 75	$N_{200}P_{120}K_{110}$	5300	6030	96.1
70	70.9	85 – 75	$N_{235}P_{140}K_{130}$	5300	6030	85.0
			Peppers			
50	54.9	85-75	$N_{165}P_{100}K_{90}$	5130	6196	111.5
60	65.0	85-75	$N_{200}P_{120}K_{110}$	5130	6196	94.2
70	76.0	85-75	$N_{235}P_{140}K_{130}$	5130	6196	80.5

The correct calculation of fertilizer's doses promoted receiving the high- quality grown-up vegetable products, and also preservation and some improvement of soil fertility (Table 5). It was expressed that the low amount of available phosphates P_2O_5 (no more than 30 mg/kg) in the arable and sub-arable horizons, was replaced and arose to average content; the raised content of exchange K_2O potassium upon termination of researches increased by 10 … 13% and amount of nitrate nitrogen from the initial contents 4,1 … 6,3 mg/kg increased by 2.7…. 3.5 times, no more than limit norm for such kind of products.

Table 5: Soil evaluation of the experimental site according to quantity of basic nutrient elements, mg/kg

Time of research	N – NO3	P2O5	K2O
	in the layer 0.0-0.25m		
At the beginning of research	6.27	24.6	306
After 3 years	17.2	31.4	347
	in the layer 0.25-0.50m		
At the beginning of research	4.13	14.2	378
After 3 years	14.6	38.1	414

The researches directed on growing tomatoes using drip irrigation

Speaking about a drip irrigation, it should be noted that I with Academician Ivan P. Kroujilin were the firsts in the region, who received a productivity of tomatoes about 100 t/ha in the field 12 years ago. The results of these researches didn't lose the actuality till now. Today this harvest of tomatoes is quite achievable for any farmer in our region. Our researches carried out from 1998 to 2000. According of the relation of the precipitation to the sum of temperatures the years 1998 and 1999 were very dry, and 2000 humid. The experiments were carried out on the experimental site of the All-Russia research Institute of Irrigated Farming of Russian Academy of Agricultural Science. This site is located near the farm "Gornaia poliana" of the Volgograd State Agrarian University, where we put subsequently experiments on cultivation of vegetables using sprinkling. Therefore soil conditions of both site for drip irrigation and one for sprinkling were almost identical. The first studied factor (factor A) was plant density 3 options: 40, 50, 60 thousand sprouts/ha (Table 6). The second studied factor (factor B) was doses of the mineral fertilizers. For farmers with various financial, water, energetic, technical and power recourses the doses of fertilizers $N_{70}P_{30}K_{35}$, $N_{110}P_{45}K_{55}$, $N_{150}P_{60}K_{75}$, and $N_{190}P_{75}K_{95}$, $N_{230}P_{90}K_{105}$ were calculated for planned yields of tomatoes of 40, 60, 80,100 and 120t/ha, respectively.

The third studied factor (factor C) was irrigation regime in an active fertile layer of the soil to the depth of 0.5 m. We studied 4 options of irrigation regime with different preirrigation humidity of soil: one constant (80% FMSC) during hole vegetative period and 3 differential modes of the irrigation (70-60, 80-70 and 90-80% FMSC). The fourth studied factor (factor D) was a scheme of sprouts planting in 2 options: planting in rows (on the distance 1.4 m) and band planting (according to scheme 0.9+0.5 m). That means, in 1 row and 2 ones with inter-row distance of 0.9 m and band wide of 0.5 m. The driplines were disposed in the first case along each plant row and in the second variant – in the middle of each band.

The results of researches, received during three years, showed that for obtaining planned yields of tomatoes of about 40 t/ha the most effective drip irrigation mode was the maintenance of preirrigation humidity of soil 70-60% FMSC in a combination to application of fertilizer's dose $N_{70}P_{30}K_{35}$ and thickness of 40 thousand plants/ha for both kinds of sprouts planting (Table 6).

Table 6: Scheme of drip irrigation experiences for each kind of sprouts planting

Number of vari-ants	Factor A – Thickness of sprouts planting		Factor B			Combinations of factors	Factor C - Preirrigation humidity of soil, % FMSC			
	th. p/ha	Desig-nation	Doses of fertilizers		Design-ation		(70 – 60) – C1	(80 - 70) – C2	(80 – 80) – C3	(90 – 80) – C3
			a kgn/h	for crop page t/ha			Combinations of factors			
1	60	A1	$N_{230}P_{90}K_{105}$	120	B1	A1B1	A1B1C1	A1B1C2	A1B1C3	A1B1C4
2		A1	$N_{190}P_{75}K_{95}$	100	B2	A1B2	A1B2C1	A1B2C2	A1B2C3	A1B2C4
3		A1	$N_{150}P_{60}K_{75}$	80	B3	A1B3	A1B3C1	A1B3C2	A1B3C3	A1B3C4
4		A1	$N_{110}P_{45}K_{55}$	60	B4	A1B4	A1B4C1	A1B4C2	A1B4C3	A1B4C4
5		A1	$N_{70}P_{30}K_{35}$	40	B5	A1B5	A1B5C1	A1B5C2	A1B5C3	A1B5C4
1	50	A2	$N_{230}P_{90}K_{105}$	120	B1	A2B1	A2B1C1	A2B1C2	A2B1C3	A2B1C4
2		A2	$N_{190}P_{75}K_{95}$	100	B2	A2B2	A2B2C1	A2B2C2	A2B2C3	A2B2C4
3		A2	$N_{150}P_{60}K_{75}$	80	B3	A2B3	A2B3C1	A2B3C2	A2B3C3	A2B3C4
4		A2	$N_{110}P_{45}K_{55}$	60	B4	A2B4	A2B4C1	A2B4C2	A2B4C3	A2B4C4
5		A2	$N_{70}P_{30}K_{35}$	40	B5	A2B5	A2B5C1	A2B5C2	A2B5C3	A2B5C4
1	40	A3	$N_{230}P_{90}K_{105}$	120	B1	A3B1	A3B1C1	A3B1C2	A3B1C3	A3B1C4
2		A3	$N_{190}P_{75}K_{95}$	100	B2	A3B2	A3B2C1	A3B2C2	A3B2C3	A3B2C4
3		A3	$N_{150}P_{60}K_{75}$	80	B3	A3B3	A3B3C1	A3B3C2	A3B3C3	A3B3C4
4		A3	$N_{110}P_{45}K_{55}$	60	B4	A3B4	A3B4C1	A3B4C1	A3B4C3	A3B4C4
5		A3	$N_{70}P_{30}K_{35}$	40	B5	A3B5	A3B5C1	A3B5C2	A3B5C3	A3B5C4

Designation:- th.p/hectar – thousand pieces on the ha**;**

Table 7: Yields of tomatoes on the experimental site with drip irrigation (in average for 1998 - 2000 years), t/ ha

Thickness, thousand pieces/ ha*	Doses of fertilizers for planned yields, t/ha	Schema of sprouts planting							
		planting in rows				band planting			
		Preirrigation humidity of soil, % FMSC							
		70-60	80-70	80	90-80	70-60	80-70	80	90-80
60	120	63.4	76.2	83.3	95.4	71.5	86.0	96.6	111.1
	100	61.9	72.9	79.2	90.8	68.3	82.6	92.1	105.6
	80	55.0	66.2	73.8	83.2	62.9	76.2	84.2	95.2
	60	49.8	59.8	67.2	74.6	55.3	67.3	73.5	82.8
	40	46.2	55.9	61.3	68.4	50.5	61.4	66.9	75.5
50	120	58.8	70.3	76.9	89.0	65.4	79.2	88.8	101.7
	100	57.5	67.7	74.0	84.9	62.5	76.3	84.6	96.8
	80	52.4	61.7	68.3	77.6	57.4	70.4	77.4	88.0
	60	46.4	56.1	61.5	69.5	50.2	62.1	67.8	75.6
	40	42.4	51.8	56.5	63.7	46.1	57.0	61.9	68.5
40	120	54.9	62.9	71.2	81.1	58.6	71.1	80.4	91.4
	100	53.4	60.5	68.2	77.1	56.1	68.0	76.3	88.4
	80	48.6	55.9	62.6	70.7	51.9	62.8	70.3	80.8
	60	43.4	50.6	56.3	63.5	45.9	55.3	61.4	70.4
	40	39.6	46.2	51.7	57.5	42.1	50.9	56.0	63.6

Table 8: Irrigation regime of tomatoes on the experimental site with drip irrigation

Preirrigation humidity of soil, % FMSC	Years of researches	Interphase periods									Total number of waterings, pieces	Irrigating norm, m^3/ha
		sprouts planting – flowering			flowering – fruits setting			fruits setting - last harvest				
		Watering time, hour	Watering norm, m^3/ha	Number of waterings, pieces	Watering time, hour	Irrigation norm, m^3/ha	Number of waterings, pieces	Watering time, hour	Irrigation norm, m^3/ha	Number of waterings, pieces		
90-80	1998	2	54	15	2	54	12	3	81	10	37	2268
	1999	2	54	16	2	54	13	3	81	12	41	2538
	2000	2	54	10	2	54	8	3	81	7	25	1539
	average	2	54	13-14	2	54	11	3	81	9-10	34-35	2115
80	1998	3	81	9	3	81	7	3	81	9	25	2025
	1999	3	81	10	3	81	7	3	81	12	29	2349
	2000	3	81	7	3	81	5	3	81	5	17	1377
	average	3	81	8-9	3	81	6-7	3	81	8-9	23-24	1917
80-70	1998	3	81	9	3	81	7	4	108·6 + 54	7	23	1998
	1999	3	81	10	3	81	7	4	108·8 + 54	9	26	2295
	2000	3	81	7	3	81	5	4	108	3	15	1296
	average	3	81	8-9	3	81	6-7	4	108	6-7	21-22	1863
70-60	1998	4	54 + 6·108	7	4	108	5	5	136	5	17	1922
	1999	4	54 + 6·108	7	4	108	5	5	136	7	19	2194
	2000	4	108	4	4	108	4	5	136	2	10	1136
	average	4	108	6	4	108	4-5	5	136	4-5	15-16	1751

Planned yield of about 60 t/ha was received at the technology with the maintenance of preirrigation constant humidity of soil 80% FMSC during whole vegetation, with the fertilizer's dose $N_{110}P_{45}K_{55}$ and density of 50 thousand plants/ha at planting in rows and 40 thousand plants/ha with band planting.

Planned productivity of about 80 t/ha of tomatoes was obtained on the variants with preirrigation threshold of soil humidity 90-80% FMSC in combination with fertilization rate $N_{150}P_{60}K_{75}$ and density of 60 thousand plants/ha at planting in rows or 40 thousand plants/ha with band planting.

For achievement of planned yield of about 100 t/ha of tomatoes it was necessary to support a similar most intensive irrigation mode of 90-80 % FMSC at the same time with introduction of fertilizer's dose $N_{230}P_{90}K_{105}$ at density of 60 thousand plants/ha for planting in rows and dose $N_{190}P_{75}K_{95}$ at density of 50 thousand pieces/ha for band planting.

We couldn't receive the planned yield of 120 t/ha, only 111 t/ha on average. It will be the subject of next researches with using more high-yielding grades and hybrids of tomatoes.

As for irrigation regime, the results of researches showed (Table 7), that, for maintenance of the preirrigation soil humidity 70-60%FMSC on average, 10 …11 waterings with 108 m^3/ha were necessary from sprouts planting to fruits setting and 4…5 waterings with 136 m^3/ha in the rest period till last harvest, including 17…19 vegetative waterings in very dry years, and 10 ones in the humid year.

For maintenance of the soil humidity before irrigations 80-70% FMSC 14…16 waterings with 81 m^3/ha from sprouts planting to fruits setting and 6…7 waterings with 108 m^3/ha in the rest period till last harvest must be provided, including 23…26 vegetative waterings in very dry years, and 15 ones in the humid year.

Maintenance of the preirrigation threshold of humidity 80%FMSC was provided with carrying out in average 23…24 waterings with 81 m^3/ha, including 25 … 29 vegetative waterings in very dry years, and 17 ones in the humid year.

For maintenance of the preirrigation soil humidity 90-80%FMSC it was necessary to make 24…25 waterings with 54 m^3/ha from sprouts planting to fruits setting and 9…10 waterings with 81 m^3/ha in the rest period till last harvest, including 37…41 vegetative waterings in very dry years, and 25 ones in the humid year.

The comparison two irrigation modes showed that to receive the planed yield of 80 t/ ha of tomatoes at sprinkling a differentiated regime 85-75% FMSC with irrigation norm 4750 m^3/ha must be provided. To obtain the same yield using drip irrigation it's necessary to support a more intensive irrigation mode of 90-80 % FMSC with irrigation norm 2115 m^3/ha. So the economy of irrigation water corresponds to 2635 m^3/ha or 55%.

References

KHODYAKOV E.A., 2002: The crop irrigation regimes at a drip and subsoil irrigation. Volgograd State Agricultural Academy, Volgograd, Russia, 132p.

Entwicklung der Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Kulturpflanzenarten vor dem Hintergrund des Klimawandels

F. BÖTTCHER[1], F. LILIENTHAL[2], B. HAGE[2], M. MÜLLER[3], K. JÄKEL[4]
[1]Deutscher Wetterdienst, Abteilung Agrarmeteorologie Außenstelle Leipzig
[2] Meteorologisches Institut, Universität Leipzig, Deutschland
[3] Geographisches Institut, Universität Leipzig, Deutschland
[4] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Leipzig
Kontakt: Falk.Boettcher@dwd.de

Zusammenfassung

Um die Notwendigkeit von Bewässerung im Osten Deutschlands zu prüfen, analysierten wir Daten verschiedener Wetterstationen in Zusammenhang mit den dort gegebenen pedologischen Bedingungen. Als landwirtschaftliche Kulturpflanzenarten nutzten wir Silomais, Zuckerrübe und Sommergerste als Sommerungen sowie Winterweizen und Winterraps als Winterung. Um die Bodenfeuchte zwischen 1961 und 2050 zu berechnen, nutzten wir das Wasserhaushaltsmodell METVER (Müller & Müller 1988a, b; 1989). Als Grenzwerte für die Beregnungsbedürftigkeit setzten wir Grenzwerte der Bodenfeuchte von 30, 40 und 50% nFK. Für den gesamten Zeitraum bildeten wir als kleinste zeitliche Auflösung Dekaden und zählten die Tage unterhalb der genannten Grenzen für jede Kulturpflanzenart. Die Ergebnisse differieren sehr in Abhängigkeit der geographischen Lage. Für Orte wie Chemnitz im Nordstau des Erzgebirges, die auch weiterhin ausreichende Niederschlagsmengen aufweisen, wird Bewässerung künftig nur ein Thema zur Qualitätssicherung. Andere Regionen werden Bewässerung einsetzen müssen, um überhaupt bei manchen Kulturpflanzenarten Erträge zu produzieren. Vergleiche der zugrunde liegenden Klimamodelle zeigen, dass alle Modelle ähnliche Tendenzen offenbaren, aber die statistische Signifikanz der Trends ist unterschiedlich. Übereinstimmend ist festzustellen, dass eine starke Zunahme der Beregnungsbedürftigkeit insbesondere in der letzten der betrachteten Dekaden zu erwarten ist.

Abstract

To discuss the need of irrigation in the eastern part of Germany we analyze data from several weather stations according to the given soils. We study summer crops (maize, summer barley, sugar beet) and winter crops (winter wheat and rape). To calculate the moisture of the soils between 1961 and 2050 we use the soil water household model METVER (Müller & Müller 1988a,b; 1989). For the need of irrigation we set a boundary value for soil moisture of 30, 40 and 50 % AWC (available water content).

For the whole time interval we build up decades and calculate the corresponding mean number of days undershooting the given values for each crop. The results

for the different places turn out to be very different according to their geographical location. For places like Chemnitz that benefit from the northern rain accumulation of the mountains Erzgebirge the need of irrigation is least critical. This means that Chemnitz only needs irrigation to keep quality high. In opposite, other locations need to focus more on stabilizing the yield. Comparisons between the models show similar tendencies that can be proven in different intensities to be trends. However, our results show that we have to expect a strong increase in need of irrigation only in the last considered decade.

Einführung

In Anbetracht der steigenden Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten auf den Weltmärkten und des globalen und regionalen Klimawandels gewinnt das Thema Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Kulturpflanzenarten zunehmend an Bedeutung. Die zusätzliche Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen zum Ausgleich von ausbleibenden Niederschlägen in Phasen extremer Trockenheit stellt eine wichtige Maßnahme zur Vermeidung von Ertragsminderungen und -ausfällen dar. Damit liefert sie einen wesentlichen Beitrag zur Qualitäts- und Ernährungssicherung. Untersuchungen der vergangenen und zukünftigen Entwicklung der Beregnungsbedürftigkeit bestimmter landwirtschaftlicher Kulturpflanzenarten in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen geben eine Entscheidungshilfe, ob in Zukunft zusätzliche Beregnungsmaßnahmen durchgeführt werden sollten.

Methodik

Die Bodenfeuchtedaten wurden für verschiedene Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes bestimmt. Diese Wetterstationen repräsentieren landwirtschaftliche Standortregionen, die die zuständigen Behörden ausgewiesen haben. Von den Wetterstationen wurden Tagesmittelwerte der Lufttemperatur, Tagesummen der Niederschlagshöhe und Tagessummen der Sonnenscheindauer für die retrospektive Betrachtung verwendet. Diese Werte lagen in der Regel 1961 bis 2010 vor. Ferner kamen sowohl für den retrospektiven wie den in die Zukunft projizierten Zeitraum Ergebnisse regionaler Klimamodelle zum Einsatz. Die Konzentration lag dabei auf Daten des statistischen Modells WETTREG (Climate & Environment Consult 2009 a), die im Jahr 2010 erstellt worden waren und in mehreren Realisierungen genutzt werden konnten, um die in diesem Modell mögliche Bandbreite abzubilden. Zur Robustheitsanalyse wurden 10 der zur Verfügung stehenden Modelläufe (Lauf 00 bis 99) durchgeführt.

Zu Vergleichszwecken wurden auch Berechnungen mit den Modellen WETTREG2006, STAR und CLM (Climate & Environment Consult 2009 a bis c) vorgenommen, dabei wurde der Zeitraum bis 2050 betrachtet. Das zugrunde liegende Szenario ist A1B.

Als landwirtschaftliche Kulturpflanzenarten wurden für alle Standorte Silomais, Zuckerrübe und Sommergerste als Sommerungen sowie Winterweizen und

Winterraps als Winterungen ausgewählt. Die Berechnung der Bodenfeuchtewerte erfolgte mit dem agrarmeteorologischen Wasserhaushaltsmodell METVER (Müller und Müller 1988a,b und 1989), das seine Qualität in den letzten Jahren unter Beweis stellte (Kayser 2002 und Junghänel 2010). METVER dient nach Kayser (2002) der Berechnung der Verdunstung auf land- und forstwirtschaftlichen Produktionsflächen und arbeitet als Einschichtmodell mit Entzugs- und Nachlieferungssektor. Seit den 1980er Jahren wurde das Modell laut Böttcher *et al.* (2010) kaum an der Grundstruktur verändert, lediglich wurden fortlaufende Anpassungen bezüglich der Vielfalt der Fruchtarten und der Bedienbarkeit vorgenommen. Derzeit lassen sich nach Böttcher *et al.* (2010) in METVER 27 Frucht- und Anbauarten und dazu beliebige Substrattypen einbinden. METVER benötigt als Inputwerte zur Berechnung drei grundlegende Datenarten: meteorologische Daten, bodenphysikalische Daten und Daten der phänologischen Entwicklung der jeweiligen Kultur. Die meteorologischen Daten sind die Tagesmittel der Lufttemperatur, die Tagessummen der Sonnenscheindauer und die täglichen Niederschlagshöhen. Die bodenphysikalischen Daten umfassen Angaben über die Feldkapazität (FK) und den Welkepunkt (WP). Ferner muss ein Anfangsfeuchtewert zu Beginn des jeweiligen Berechnungsintervalls vorgegeben werden.

Dabei kamen hier Werte zum Einsatz, die einer Arbeit von Müller *et al.* (1995) entnommen wurden und die für die Altlandkreise im Osten der Bundesrepublik Deutschland, wie sie Anfang der 1990er Jahre bestanden, mittlere Angaben der Feldkapazität und des Welkepunktes bereitstellen.

Die Daten der phänologischen Entwicklung beinhalten Tageswerte für den biologisch pflanzenphysiologischen Faktor, die dazugehörige Durchwurzelungstiefe und die ebenfalls korrespondierende Interzeptionskapazität.

Der biologisch pflanzenphysiologische Faktor repräsentiert dabei das Verhältnis zwischen der potenziellen Verdunstung nach Turc/Wendling (DVWK 1996) und der optimalen Verdunstung. Zugrunde liegt dabei eine langjährige mittlere phänologische Entwicklung. Sie beruht auf Arbeiten von Chmielewski *et al.* (2004), Knoblauch (2009), Schlegel *et al.* (2002), Kutschera *et al.* (2009) sowie Niemann (2003).

Die errechneten Modelldaten sind Tageswerte der potenziellen Evapotranspiration nach Turc/Wendling, der aktuellen/realen Evapotranspiration, des korrigierten Niederschlages (Korrektur nach Richter 1995), des Sickerwassers aus der tiefsten Bodenschicht zum Grundwasser, der Bodenfeuchte, des Gesamtboden-wassergehaltes und der Ausschöpfungsschichtdicke.

Für die vorliegenden Auswertungen wurde die Bodenfeuchte verwendet, welche in% nFK (nutzbare Feldkapazität) angegeben wird und sich auf die Ausschöpfungsschichtdicke bezieht.

Mittels einer Sensitivitätsuntersuchung wurde überprüft, ob die zugrunde gelegten mittleren phänologischen Verhältnisse einen relevanten Einfluss auf die Modellierungsergebnisse haben oder ob es nötig ist, die phänologische Entwicklung jahresbezogen abzubilden. Dabei zeigte sich, dass dies nicht nötig

ist, denn die Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchung differierten kaum zwischen frühem, mittlerem und spätem Vegetationsbeginn. Dementsprechend wurden die Vegetationszeiträume für die bearbeiteten Kulturen aus den vorliegenden mittleren Daten extrahiert und zwar ist der Vegetationsbeginn definiert, sobald der biologisch pflanzenphysiologische Faktor Werte > 0 erreicht und das Vegetationsende, wenn dieser Faktor nach der Ernte erstmals wieder = 0 ist. Die landwirtschaftlichen Kulturpflanzenarten wurden einer Auswertung unterzogen, die feststellte, wie viele Tage in der Vegetationsperiode die jeweiligen Arten Bodenfeuchtewerte unter 50, unter 40 und unter 30 % der nutzbaren Feldkapazität erleben. Diese Werte wurden als Abgrenzung zu optimalen Versorgung der Pflanze (50 %nFK) sowie zur Bodendürre (30 %nFK) gewählt.
Zur Auswertung der modellierten Bodenfeuchtedaten wurde für Mais und Winterweizen eine Trendanalyse durchgeführt, um zu überprüfen, ob vorhandene Tendenzen als Trends aufzufassen und signifikant sind oder nicht.
In dieser Arbeit diente als Trendanalyse das von Schönwiese (2006) beschriebene Trend-Rausch-Verhältnis (TRV). Dies ist ein relativ einfaches Verfahren, welches lange Zeitreihen mit zumindest annähernd normal verteilten Daten sowie einen linearen Trend voraussetzt.
Die errechneten Werte für das TRV wurden dann anhand vorliegender Tabellen (Schönwiese 2006) als Signifikanzen für die Trends interpretiert.

Ergebnisse

Um die Bewässerungsbedürftigkeit auszuwerten, wurden Bodenfeuchte-modellierungen auf der Basis meteorologischer Messwerte und von regionalen Klimaprojektionen für verschiedene Orte hinsichtlich verschiedener landwirtschaftlicher Kulturpflanzenarten entsprechend vorgegebener Fruchtfolgen für jeweils gegebene Bodenarten untersucht.
Die Ergebnisse für die verschiedenen Standorte fallen sehr unterschiedlich entsprechend ihrer geographischen Lage aus. Hier sollen nur ein paar Ergebnisse exemplarisch vorgestellt werden.
Am wenigsten bedenklich ist die Bodenfeuchte für diejenigen Orte, die im Stau der Gebirge auch weiterhin von ausreichenden Niederschlägen profitieren können, das betrifft beispielsweise den Raum Chemnitz, denn weniger als 50 % nFK Bodenfeuchte haben in Chemnitz bis 2050 maximal 30% aller Vegetationstage.
Davon liegen die meisten Tage zwischen 40 % nFK und 50 % nFK, sodass Bewässerung in diesem Fall hauptsächlich eine Frage der Qualitätssicherung ist. Unter 30 % nFK entfallen nur sehr wenige Tage. Diese Engpässe können von den Pflanzen voraussichtlich abgepuffert werden. An dieser Stelle soll aber auf die teils doch recht hohen Trend-Rausch-Verhältnisse hingewiesen werden, die auf signifikante Trends hinweisen.
Möglicherweise besteht nach 2050 doch noch ein entscheidender Handlungsbedarf, jedoch kann darüber keine konkrete Aussage gefällt werden, da über das Jahr 2050 hinaus keine Auswertung erfolgte. Ganz ähnlich sieht die Situation in Regionen mit Böden großer Wasserspeicherfähigkeit aus: Auch hier

ist in der letzten untersuchte Dekade etwa ein Drittel der Vegetationstage unter 50 % nFK, ein Fünftel liegt unter 40 % nFK und ein Zehntel unter 30 % nFK. Das entspricht insgesamt einer geringfügig höheren Beregnungsbedürftigkeit als in den Regenstauregionen, Grund zur Sorge besteht aber auch hier in den nächsten Dekaden nicht. Die Tendenzen sind jedoch auch steigend.

Auf Standorten beispielsweise in Ostthüringen und in der Leipziger Tieflandsbucht findet man etwa 30 % beregnungsbedürftiger Tage für <50 % nFK. Davon liegt etwa die Hälfte zwischen 50 % nFK und 40 % nFK. Die am stärksten ansteigenden Tendenzen sind unter 30 % nFK zu finden: Perspektivisch zeigt sich, dass für diese Grenze in Zukunft etwa doppelt bis dreifach so viele Tage wie heute beregnet werden müssten, das entspricht knapp 20 % der Vegetationsperiode.

Leichtere Standorte in Nordsachsen und in Brandenburg lassen erkennen, dass heute noch jeder vierte Vegetationstag beregnungsbedürftig mit unter 50 % nFK ist, aber 2041-2050 sind das schon die Hälfte der Tage. Etwa ein Drittel bis zur Hälfte der Tage der Vegetationszeit soll 2041-2050 unter 40 % nFK liegen. Diese Werte sollten in den Regionen Anlass bieten, über zusätzliche Bewässerung nachzudenken.

Auf extrem trockenen Standorten wie dem südbrandenburgischen Cottbus wird die zusätzliche Bewässerung schon in den nächsten Jahren essentielle Bedeutung erlangen. Unter 50 % nFK liegen in Cottbus heute etwa 50 % der Vegetationstage, 2050 werden es womöglich 70 % sein. Hier liegt auch der Großteil der Tage unter 30 % nFK. Dies ist alarmierend hoch, bedenkt man, dass ab 20 % nFK Dürreverhältnisse vorliegen. Einziger Trost ist, dass sich in diesen Regionen keine signifikant steigenden Trends abzeichnen.

Die regionalen Klimamodelle liefern recht differenzierte Aussagen über die Entwicklung der Beregnungsbedürftigkeit. Insbesondere das dynamische Modell CLM weist eine kontinuierliche starke Unterschätzung der beregnungsbedürftigen Tage im Vergleich zu den Messwerten auf. Am besten stimmen die auf den WETTREG-Daten basierenden Werte mit den messwertbasierten Berechnungen überein.

Bei Betrachtung der unteren Grenze der optimalen Wasserversorgung (50 % nFK) tritt allgemein bis 2040 nur eine geringe Änderung der fruchtartspezifischen Beregnungsbedürftigkeit und erst danach eine starke Zunahme auf. Die anhand des Grenzwertes 30 % nFK bestimmte Beregnungsbedürftigkeit nimmt bereits in den kommenden drei Dekaden leicht zu und zeigt ab 2040 ebenfalls eine starke Zunahme. Der Trend der Veränderungen der Beregnungsbedürftigkeit ist je nach Standort, Kulturpflanzenart und regionalem Klimamodell schwach signifikant bis hoch signifikant. Am Standort Oschatz wurden alle 10 Läufe von WETTREG2010 verglichen (siehe Abb. 1 und 2).

Die messwertbasierten Resultate für Mais zeigen in den Dekaden 1991-2000 und 2001-2010 Werte, die auch von zwei der Modellläufe reproduziert wurden. Das unterstreicht die gute Übereinstimmung zwischen Modell und Messung und damit kann erwartet werden, dass die auf WETTREG2010 basierenden Resultate auch

für die in die Zukunft projizierten Dekaden realitätsnahe Werte liefern. Es zeigt sich weiterhin, dass die Ergebnisse der unterschiedlichen Modellläufe bis zur Dekade 2031-2040 eng gebündelt sind und nur Unterschiede von 5 bis 10 % der Vegetationsperiode aufweisen.
Erst in der Dekade 2041-2050 fächern die Resultate der Modelläufe stärker auf, sodass die Spanne der Tage mit Bodenfeuchten ≤50 % nFK auf 5 bis 23 % zunimmt. Beim Winterweizen offenbart sich am Standort Oschatz, dass die messwertbasierten Ergebnisse etwas mehr bewässerungsbedürftige Tage zeigen als dies die Mehrzahl der Modellläufe suggeriert. Insofern deutet sich eine leichte Unterschätzung an, aber die absoluten Zahlen der Tage sind insgesamt im Messintervall gering. Auch beim Winterweizen zeigt sich bei allen WETTREG2010-Läufen eine deutliche Zunahme der Anzahl der Tage mit Bodenfeuchten unter 30 % nFK. Je nach Modelllauf ist eine Verdrei- bis Verfünffachung zu erkennen. Die Trends sind dabei sehr signifikant.
Nach diesen Ergebnissen bleibt nun die wichtige Frage, bei welcher Kulturpflanzenart und an welchem Ort sich zusätzliche Bewässerung wirtschaftlich lohnt. Das war aber nicht Gegenstand dieser meteorologisch basierten Arbeit. Erst nach Klärung der Wirtschaftlichkeit, die als Beregnungswürdigkeit zu betrachten ist, lässt sich eine konkrete Empfehlung darüber geben, wie sich die landwirtschaftliche Betriebe in den entsprechenden Regionen bezüglich Investitionen in zusätzliche Bewässerung in Zukunft verhalten sollten.

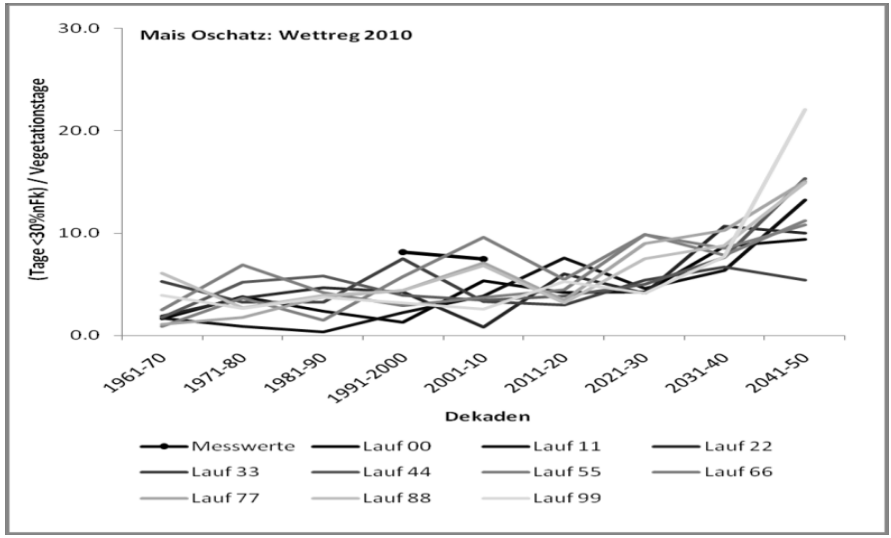


Abb. 1: Mittlere Anzahl der Tage mit Bodenfeuchten <30 % nFK in Oschatz, berechnet mit METVER auf der Basis der Läufe 00 bis 99 des regionalen Klimamodells WETTREG2010 für die Dekaden von 1961-70 bis 2041-50 sowie auf der Basis meteorologischer Messwerte in den Dekaden 1991-200 und 2001-10 für Mais

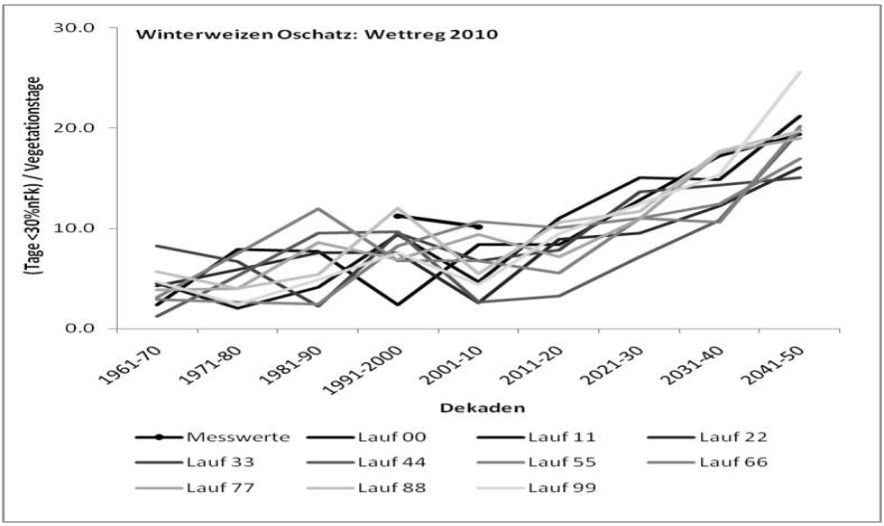


Abb. 2: Mittlere Anzahl der Tage mit Bodenfeuchten <30 % nFK in Oschatz, berechnet mit METVER auf der Basis der Läufe 00 bis 99 des regionalen Klimamodells WETTREG2010 für die Dekaden von 1961-70 bis 2041-50 sowie auf der Basis meteorologischer Messwerte in den Dekaden 1991-200 und 2001-10 für Winterweizen

Literatur

BÖTTCHER, F.; MÜLLER, J.; SCHMIDT, M., 2010: Das agrarmeteorologische Bodenwasserhaushaltsmodell METVER. Arbeitspapier des Deutschen Wetterdienstes.

CHMIELEWSKI, F. *et al*. 2004: Mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Vegetationsentwicklung in Sachsen (KLIVEG), Eigenverlag HU-Berlin.

Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH 2009a: Klimamodell WETTREG http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/WettReg/wettreg.html (abgerufen am 07.06.2011).

Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH 2009b: Klimamodell CLM http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/CLM/clm.html (abgerufen am 07.06.2011).

Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH 2009c: Klimamodell STAR http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/STAR/star.html (abgerufen am 07.06.2011).

DVWK 1996: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen, DVWKMerkblatt 238/1996

JUNGHÄNEL, T., 2010: Vergleich verschiedener Wasserhaushaltsmodelle mit gemessenen Parametern an Bodendauerbeobachtungsflächen in Sachsen. Bachelorarbeit an der Universität Leipzig.

KAYSER, M., 2002: Aspekte zum Wasserhaushalt von Sandlössen im Mitteldeutschen Trockengebiet. Dissertation an der Technischen Universität Berlin.

KNOBLAUCH, S., 2009: Langjährige Ergebnisse über das pflanzenspezifische Aneignungsvermögen von Bodenwasser landwirtschaftlicher Kulturen auf einem tiefgründigen Braunerde-Tschernosem aus Löss. Bericht 13. Gumpensteiner Lysimetertagung.

KUTSCHERA, L. *et al*. 2009: Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßigter Gebiete. Wurzelatlasreihe Bd. 7, DLG-Verlag.

MÜLLER, J.; JÖRN, P.; THIERE,J., 1995: Erarbeitung einer Karte der pflanzennutzbaren Feldkapazität für die neuen Bundesländer. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* **76**, 1149-52.

MÜLLER, J.; MÜLLER, G., 1988a: Berechnung der Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete, 1. Mitteilung, *Z. Meteorol.* **38**, 332-336.

MÜLLER, J.; MÜLLER, G., 1988b: Berechnung der Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete, 2. Mitteilung, *Z. Meteorol.* **38,** 361-365.

MÜLLER, J.; MÜLLER, G., 1989: Berechnung der Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete, 3. Mitteilung, *Z. Meteorol.* **39**, 142-149.

RICHTER, D., 1995: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers, *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* **194**, Offenbach am Main.

SCHÖNWIESE, C.-D., 2006: Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Gebrüder-Bornträger-Verlag, Berlin, Stuttgart, 4. Auflage.

Methoden zur operativen Steuerung des Zusatzwassereinsatzes in der Pflanzenproduktion- Stand und zukünftige Herausforderungen

K. O. WENKEL
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung Müncheberg, Institut für Landschaftssystemanalyse
Kontakt: wenkel@zalf.de

Zusammenfassung
Es kann erwartet werden, dass die Bewässerung als Anpassungsreaktion der Landwirtschaft an die veränderten klimatischen und ökonomischen Rahmenbedingungen wieder an Bedeutung zunehmen wird. Da Wasser auch in Deutschland nicht unbegrenzt zur Verfügung steht, muss mit dieser Ressource verantwortungsvoll umgegangen werden. Zu oft erfolgt der Bewässerungseinsatz noch auf der Grundlage von Erfahrungswerten der Landwirte. Das führt zum Teil dazu, dass das ökonomische Potenzial der Bewässerung nicht ausreichend genutzt sowie Wasser- und Energieressourcen verschwendet werden.
Die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Methoden zur Bewässserungssteuerung lassen sich grob untergliedern in sensorgestützte und modellbasierte Bewässerungssteuerungsverfahren. Die Möglichkeiten, Potenziale und Einsatzgrenzen dieser Verfahren für die praktische Bewässerungssteurung werden in der vorliegenden Arbeit untersucht und diskutiert. Entwicklungstrends und die Notwendigkeit der optimalen Einordnung der Beregnung in den Gesamtprozess der Pflanzenproduktion zur Erzielung einer höchstmöglichen ökonomischen Effektivität werden aufgezeigt.

Einleitung

Die Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft haben sich in den vergangenen Jahren stark gewandelt. Die Nachfrage nach Agrarprodukten in Indien, China und weiteren Ländern der Welt steigt. Zusätzlich wird die Nachfrage nach Agrarrohstoffen durch die weltweite Förderung der Bioenergie erhöht, so dass langfristig mit einem deutlichen Anstieg der Agrarpreise zu rechnen ist.
In Deutschland haben der Anstieg der Agrarpreise sowie die Förderung des Biomasseanbaus zur Energieerzeugung bereits zu einer verstärkten Nachfrage nach pflanzlicher Biomasse und zu einer spürbaren Erhöhung der Landnutzungsintensität geführt. Extensive Produktionsverfahren verlieren an Vorzüglichkeit, während intensive auf ein hohes Ertragsniveau ausgerichtete Produktionsverfahren an Wettbewerbskraft gewinnen. In diesem Zusammenhang erweist sich Wasser zunehmend als begrenzender Produktionsfaktor.

Es kann daher erwartet werden, dass die Bewässerung als Anpassungsreaktion der Landwirtschaft an die veränderten klimatischen und ökonomischen Rahmenbedingungen wieder an Bedeutung gewinnen wird. Gleichzeitig entsteht dadurch ein neuer Druck auf Bereitstellung der für die landwirtschaftliche Bewässerung benötigten Wasserressourcen. Dadurch kann es zu einer verstärkten Konkurrenz mit anderen Nutzungsansprüchen oder zum Konflikt mit Wasserqualitätszielen kommen.
Wasser steht auch in Deutschland nicht unbegrenzt zur Verfügung, sodass mit dieser Ressource verantwortungsvoll umgegangen werden muss. Der Klimawandel verstärkt diese Problematik noch, da den Prognosen zufolge die Niederschläge zunehmend im Winter fallen, im Sommer dagegen bei steigenden Temperaturen abnehmen werden. Das führt insgesamt zu einer weiteren Verschärfung der klimatischen Wasserbilanz insbesondere in Ostdeutschland und in der Tendenz zu einer Zunahme des Zusatzwasserbedarfs (Abbildungen 1 und 2).

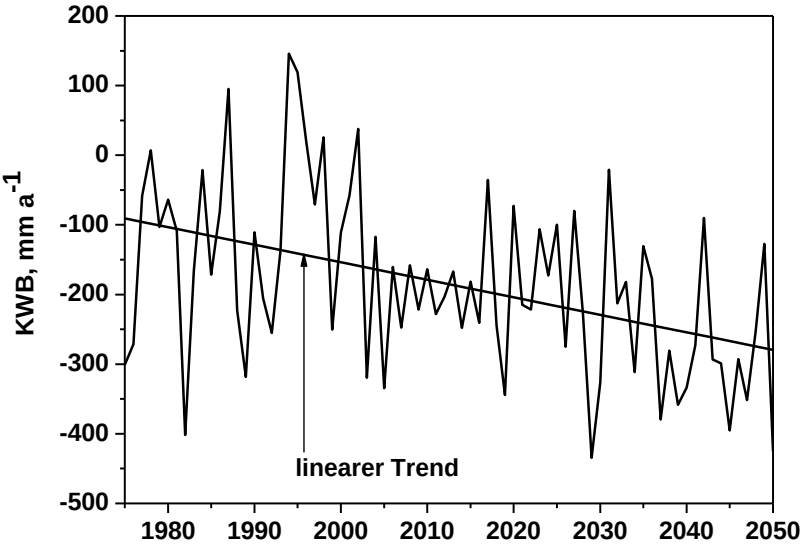


Abb. 1: Entwicklung der jährlichen klimatischen Wasserbilanz für Ostbrandenburg im Zeitraum von 1975 bis 2050 (Mirschel *et al.*, 2006)

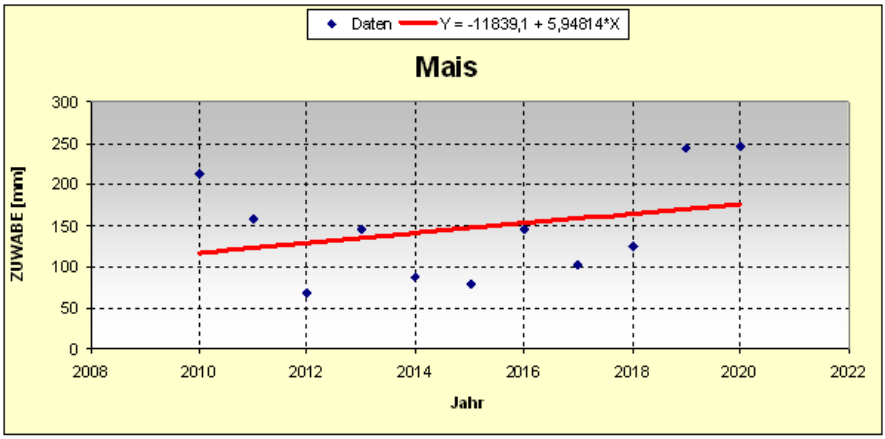


Abb. 2: Zu erwartender Trend des Zusatzwasserbedarfes für Mais im Zeitraum 2010 bis 2020 für Ostbrandenburg (ermittelt mit dem LandCaRe-Modul „ZUWABE“ des ZALF Müncheberg)

Durch Zusatzbewässerung kann dem zunehmenden Wasserdefizit der Pflanzen gegengesteuert werden. Sie ist eine geeignete Maßnahme, um zukünftig den Feldaufgang sowie die Ertragshöhe und die Qualität der Ernteprodukte zu sichern. Gleichzeitig kann die Bewässerung, wenn diese bedarfsorientiert eingesetzt wird, wesentlich zur Stabilisierung und Verbesserung des Betriebsergebnisses beitragen. Die Bewässerung erfordert auf der anderen Seite nicht nur entsprechende Wasserressourcen, sondern auch Arbeitskräfte und erhebliche Energiemengen. Letztere stellen einen immer mehr ins Gewicht fallenden Kostenfaktor dar. Sowohl eine Über- als auch eine Unterversorgung der Pflanzenbestände mit Wasser kann das Betriebsergebnis negativ beeinflussen. Daher gilt auch bei der Bewässerung der Grundsatz: „Nur bei einer richtigen Dosierung wird sie sich rentieren.“

Eine einfache Überschlagsrechnung soll das verdeutlichen:

Wird zum Beispiel auf einem 50 ha Kartoffelschlag der optimale Wasserbedarf um nur 20 mm unterschritten, wird bei einem angenommenen Mehrertrag pro Millimeter Zusatzwasser von 1,15 dt/ha und einem Erlös von 6 €/dt ein Ertrag von 1154 dt verschenkt, was mit einem Mindererlös von ca. 5000 € verbunden ist. Wird andererseits die optimale Beregnungsmenge um die gleiche Wassermenge überschritten, ist das bei Beregnungskosten von 2 €/mm und ha mit Zusatzkosten von 2000 € verbunden.

In der Praxis wird die Bedeutung einer bedarfsorientierten Zusatzwassereinsatz-steuerung häufig unterschätzt. Zu oft erfolgt der Bewässerungseinsatz noch auf der Grundlage von Erfahrungswerten der Landwirte und so, wie es betriebswirtschaftlich am besten einzuordnen ist. Das liegt einerseits an fehlenden

Sachkenntnissen und andererseits daran, dass Bewässerungsfehler häufig nicht oder zu spät erkannt werden.
Es ist deshalb eine Frage der Zukunftssicherung und ein wichtiger Aspekt der Nachhaltigkeit, das Wasser hoch effizient und umweltschonend einzusetzen und die Nährstoffverlagerung in den Bereich unter der Wurzelzone so weit wie möglich zu limitieren.
Nur durch eine objektiv begründete Bewässerungseinsatzsteuerung in Verbindung mit einer zunehmend verbesserten Bewässerungstechnik können hohe und stabile Erträge in der gewünschten Qualität und mit möglichst geringen Kosten erzielt werden.

Ein kurzer Rückblick

Die Beregnung wird heute in Deutschland mit zunehmender Tendenz auf ca. 560 Tha eingesetzt (Fricke, 2012). Das entspricht einem Anteil von 3,2 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LF). Wurden bis 1989 in den relativ niederschlagsarmen östlichen Bundesländern allein 510 Tha beregnet, sind es dort heute nur noch ca. 87 Tha. Inwieweit sich dieser Zustand wieder verbessern lässt, hängt von den agrarpolitischen und ökonomischen Entwicklungen und Entscheidungen der Zukunft ab.

Anforderungen an die Bewässerungssteuerung

Der sachgerechte Zusatzwassereinsatz erfordert die Berücksichtigung einer Vielzahl von Faktoren, die in ihrer Komplexität schwer zu überschauen und zu beherrschen sind. Grundsätzlich gilt auch für die Bewässerung, dass der Zusatzwassereinsatz nach den Regeln der guten fachlichen Praxis bedarfsorientiert und so effektiv und sparsam wie möglich erfolgen sollte.
Die Regeln der guten fachlichen Bewässerungspraxis können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Bemessung der Bewässerungsgaben
    - nach aktuellem Pflanzenwasserbedarf
    - angepasst an das Infiltrations- und Wasserspeichervermögen des Bodens
    - unter Berücksichtigung der Pflanzenentwicklung, des Durchwurzelungsvermögens
    - der unterschiedlichen Pflanzenbestände sowie des Witterungsverlaufs und den gegebenen technologischen Möglichkeiten
2. Verdunstungsverluste und Nährstoffauswaschung soweit wie möglich vermeiden
3. Anforderungen an die Qualität des Bewässerungswassers beachten
4. Betrieb der Bewässerungsanlage nach Vorgaben der wasserrechtlichen Genehmigung

Die praktischen Möglichkeiten, durch einen bedarfsorientierten Zusatzwassereinsatz das Betriebsergebnis zu verbessern, sind größer als oft angenommen, wie zahlreiche Versuchsergebnisse belegen.
Je größer die Schläge, desto sinnvoller ist eine optimale Bemessung der Zusatzwassergaben. Der Aufwand für das Wassermanagement verringert sich mit der Flächengröße und die Einsparungen an Energie, Wasser und Dünger sowie die Ertrags- und Qualitätserhöhungen multiplizieren sich. Erfolgt der Zusatzwassereinsatz nach einer objektiv begründeten Methode, so wird auch der Schutz der Umwelt am besten gewährleistet.

Bewässerungssteuerung - was heißt das?

Bewässerung steuern heißt zu entscheiden, ab wann, mit welchen Einzelgaben, in welchen Zeitintervallen und in welchem Zeitraum der Pflanzenentwicklung zu bewässern ist, um ein optimales Pflanzenwachstum bzw. eine höchst mögliche ökonomische Effizient mit einem geringst möglichen Zusatzwasseraufwand zu sichern und eine Belastung des Grundwassers durch einen bewässerungsbedingten Nährstoffeintrag zu vermeiden.
Ziel der Bewässerungssteuerung ist es, den Wassereinsatz pflanzen- und bodenartspezifisch so zu gestalten, dass Wasserstress in den entscheidenden Pflanzenentwicklungsstadien möglichst vermieden wird. Andererseits dürfen die Pflanzen aber nicht zum Luxuskonsum erzogen werden. Das erfordert Kenntnisse über das Wasserspeichervermögen der Böden, die maximale Infiltrationskapazität der Böden, die aktuelle Bodenfeuchte in unterschiedlichen Bodenschichten, Kenntnisse über das Durchwurzelungsvermögen unterschiedlicher Pflanzenbestände und nicht zuletzt Kenntnisse über den Pflanzenwasserbedarf, die Bewässerungszeiträume sowie den anzustrebenden optimalen Bodenfeuchtebereich. Beachtet werden muss auch, die Gabenhöhe der fortschreitenden Pflanzenentwicklung anzupassen, da sonst die Gefahr besteht, dass sich nur ein oberflächennahes Wurzelwerk ausbildet. Und nicht zuletzt müssen die gegebenen technologischen Möglichkeiten in die Überlegungen einbezogen werden. Dauert es nicht nur einen, sondern mehrere Tage, um den Schlag abzuregnen, muss in der Regel früher mit der Beregnung begonnen werden, um Ertragseinbußen auf den Schlagteilen, die technologisch bedingt erst später bewässert werden können, zu verhindern.
Beim Bewässerungsmanagement müssen auch die konkreten betrieblichen Bedingungen berücksichtigt werden. Soll Unkraut mechanisch bekämpft werden, kann man nicht kurz vor- oder hinterher beregnen, da sonst der Boden nicht befahren werden kann bzw. die Unkräuter wieder anwachsen. Ist der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln vorgesehen, ist das ebenfalls zu berücksichtigen.

Methoden der Bewässerungssteuerung

Tab. 1: Vergleich der gegenwärtig zur Verfügung stehenden Methoden zur Bewässerungssteuerung

Methode	Vorteile	Nachteile
Messen der Bodenfeuchte	• Aktuelle Bodenfeuchte direkt ablesbar • Keine Niederschlagsmessung auf dem Schlag erforderlich • Schnelle Kontrolle der erfolgten Bewässerung • Tropfbewässerung automatisierbar • Beim Einsatz mehrerer Sensoren Störungen der Wasserverteilung erkennbar	• Repräsentativer Standort auf dem Schlag wegen der erheblichen Streuung schwer zu finden – viele Sensoren sind erforderlich • Für jeden Schlag und Anbausatz gesonderte Messung notwendig • Hohe Kosten für Sensoren, Ein- und Ausbau erforderlich • Sensoren müssen in der Regel kalibriert werden • Hoher Aufwand für Erfassen und Auswertung der Messwerte • Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Sensoren erforderlich • Störungen und Behinderungen bei Feldarbeiten möglich
Wasserbilanz-verfahren und modellbasierte Bewässerungsberatungsmodelle	• Keine Sensoren auf dem Feld nötig, Material- und Wartungskosten entfallen • Bodenfeuchte aktuell und prognostisch kalkulierbar • Pflanzenbaulich optimale Steuerkurven im System enthalten • Bewässerungsnotwendigkeit in niederschlagsfreien Perioden vorher gut kalkulierbar • Wetterprognosen und technologische Restriktionen können bei der Entscheidung über die Bewässerung berücksichtigt werden • Bewässerungsbedarf gut dokumentierbar als Nachweis einer sachgerechten Bewässerung	• Zuverlässige Informationen über die nutzbare Feldkapazität der Schläge müssen vorliegen • Startwert der Bodenfeuchte muss vor Beginn der Beregnung bestimmt oder geschätzt werden • Niederschlagsmessung in Schlagnähe erforderlich • Niederschläge und die verabreichten Zusatzwassergaben müssen dem System mitgeteilt werden • Fehlerhafte Meldedaten können zu Fehlern in den Empfehlungen führen

Für eine objektivierte fruchtart- und schlagspezifische Bewässerungssteuerung stehen inzwischen zahlreiche Methoden, Berechnungsansätze und Messgeräte (Sensoren) zur Verfügung.
Ideal wären Verfahren, die den aktuellen Pflanzenwasserstatus sowie den sich daraus ergebenden aktuellen Pflanzenwasserbedarf direkt bestimmen können. Derzeit gibt es jedoch hierfür noch keine praxisreifen Anwendungen.
Die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Methoden lassen sich grob untergliedern in sensorgestützte und modellbasierte Bewässerungssteuerungsverfahren. Zur ersten Gruppe gehören Verfahren, die auf der Basis kontinuierlich gemessener Bodenwassergehalts- oder Saugspannungswerte basieren. Zur zweiten Gruppe gehören sogenannte Wasserbilanzverfahren und komplexere modellgestützte Beregnungsberatungsmodelle. Beide Verfahren haben, wie Tabelle 1 zeigt, Vor- und Nachteile. Da in den modellgestützten Beratungsmodellen umfangreiches wissenschaftliches pflanzenbauliches Know-how integriert ist, setzen sich diese Verfahren in Kombination mit Bodenfeuchtekontrollmessungen international immer mehr durch.

Bewässerungssteuerung auf der Grundlage von Bodenfeuchte- und Saugspannungsmesswerten

Für die Messung des Matrixpotentials (Saugspannung) bzw des aktuellen Bodenwassergehalts stehen inzwischen eine Vielzahl von Messverfahren und Sensoren zur Verfügung. Zahlreiche Firmen bieten für die Messung der Bodensaugspannung Tensiometer unterschiedlicher Bauart an. Auch für die Bestimmung des aktuellen volumetrischen Bodenwassergehalts in unterschiedlichen Bodenschichten findet man in der Literatur eine Vielzahl von Messsonden, die den Bodenwassergehalt nach verschiedenen physikalischen Messprinzipien bestimmen. Als Beispiele seien hier genannt: TensioMark, Gipsblock und Watermark für die Saugspannungsmessung, bzw. TDR- und FDR-Sonden wie Enviroscan, TriSCAN, Diviner 2000, EasyAG-Sonde u.a, die für die Messung des volumetrischen Bodenwassergehalts entwickelt wurden. An weiteren alternativen Messmethoden wie Radarmessverfahren (Huisman *et al.*, 2003) sowie mikrothermischen Messmethoden (PlantCare, 2012), wird gearbeitet. Die Sensoren unterscheiden sich deutlich im Preis (200 € bis ca. 3500 € pro Sensor) und wurden für unterschiedliche Einsatzbedingungen konzipiert und entwickelt. Ein Universalgerät für alle Fälle und Einsatzbereiche gibt es nicht. Zahlreiche Firmen wie UGT Müncheberg (UGT, 2012), UMS München (UMS, 2012), UPG Ibbenbüren (UPG, 2012), Imko Ettlingen, (IMKO, 2012), Agro-Sat Baasdorf (Agrosat, 2012) sowie MMM tech support Berlin (MMM tech support, 2012) vertreiben die Sensoren und beraten die Anwender bei der Sensorauswahl, beim Einbau im Freiland und bei der Messdatenverarbeitung. In den Unterlagen der genannten Firmen sind die unterschiedlichen Sensortypen, Messprinzipien und Einsatzbereiche umfassend beschrieben und dokumentiert.

Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen zum Sensorvergleich sowie Reviewartikel über die Möglichkeiten und Probleme der Bodensaugspannungs- und -volumetrischen Bodenwassergehaltsmessung bei Einsatz unterschiedlicher Sensortypen findet man bei Robinson *et al.,* (1999), Jones *et al.,* (2002), Robinson *et al.,* (2003), Blonquist, *et al.,* (2005a), Blonquist, *et al.,* (2005b) sowie bei Robinson *et al.* (2008).
Ein Hauptproblem bei der Nutzung von Sensoren zur Direktbestimmung der Bodenwassersaugspannung bzw. des Bodenwassergehalts besteht neben den relativ hohen Kosten darin, dass infolge der hohen Bodenheterogenität in der Regel auf einem Schlag mehrere Sensoren eingesetzt werden müssen, deren Betreuung und Funktionsüberwachung mit relativ hohem Aufwand verbunden ist. Hinzu kommt, dass die Bodenfeuchtesensoren vor dem praktischen Einsatz geeicht und deren Einbau mit großer Sorgfalt erfolgen muss. Nur ein optimaler Bodenschluss am Sensor liefert zuverlässige Resultate.
Gerade bei sandigen Böden (Welkepunkt ca. 4 Vol. %, Feldkapazität ca. 16 Vol. %), die den höchsten Beregnungsbedarf aufweisen, macht ein Messfehler von 2 Vol. % im Extremfall bis zu 20 Prozent des Messbereichs aus (Gimper, 2010). Selbst wenn man all diese Probleme vernachlässigt, ist zu berücksichtigen, dass Sensoren keine Voraussagen über die weitere Bodenfeuchteentwicklung erlauben und der Praktiker noch einen großen pflanzenphysiologischen und bodenkundlichen Sachverstand besitzen muss, um aus den erzielten Messwerten den optimalen Bewässerungszeitpunkt und die optimale Gabenhöhe abzuleiten.

Bewässerungssteuerung auf der Grundlage modellbasierter Beratungsmodelle

Auf Grund der vielfältigen Probleme, die mit dem Einsatz von Bodenfeuchtesensoren unter Praxisbedingungen verbunden sind, setzen sich in der Praxis modellbasierte Beratungsmethoden immer mehr durch, zumal die Wissenschaft inzwischen mathematische Modelle entwickelt hat, die die Pflanzenverdunstung und Bodenfeuchtedynamik mit hoher Zuverlässigkeit berechnen können. Nutzt man einen Bodenfeuchtesensor zur gelegentlichen Kontrolle der berechneten Bodenfeuchte, hat man ein quasi perfektes System.
Der Bewässerungspraxis in Deutschland stehen gegenwärtig im Wesentlichen vier modellbasierte Beratungsmodelle zur Verfügung, die den Praktiker im Vegetationsverlauf dabei unterstützen, Entscheidungen zu fällen, wann auf den einzelnen Schlägen mit der Beregnung begonnen werden sollte und wie hoch die Einzelgabe zu wählen ist.

- Wasserbilanzmethode, bekannt auch als „Geisenheimer Methode“ (Paschold, 2010), Zinkernagel, *et al.,* 2012)
- Beregnungsberatungsmodell IRRIGAMA (Wenkel und Mirschel (1991), Mirschel und Wenkel (2004a), Mirschel und Wenkel, (2004b)
- Beregnungsberatungsmodell ZEPHYR (Michel, 2008, o.V., 2010)
- Beregnungsberatung des Deutschen Wetterdienstes (Agrowetter, 2012)

Die einzelnen Verfahren unterscheiden sich insbesondere in der Zahl der berücksichtigten Faktoren, in der Breite und Qualität der hinterlegten wissenschaftlich begründeten Steuerkurven, dem Raumbezug (schlagbezogen individuell versus Allgemeinberatung) sowie in der Anwendungsbreite.
Das einfachste Modell ist die „Geisenheimer Methode“ zur Berechnung der klimatischen Wasserbilanz. Hierzu wird die Referenz-Verdunstung nach PENMAN (Penman, 1956) oder die FAO-Grasverdunstung (Paschold *et al.*, 2011) mit einem pflanzenspezifischen Korrekturfaktor multipliziert. Man erhält die potentielle Verdunstung der Kultur. Von dieser werden Niederschläge und Beregnungsmengen abgezogen. Erreicht man durch Aufsummieren der täglichen klimatischen Wasserbilanz die zuvor durch den Praktiker auf der Grundlage von Bodeninformationen zu bestimmende Gabenhöhe, wird empfohlen, den Schlag zu beregnen (siehe auch: http://www.fa-gm.de/de/fachgebiet-gemuesebau/publikationen). In leicht modifizierter Form wird dieses Verfahren auch in dem vom Deutschen Wetterdienst angebotenen Beratungsmodell „agrowetter Beregnung“ (Agrowetter, 2012) genutzt. Das Modell enthält keine wissenschaftlich begründeten pflanzenspezifischen Steuerkurven. Die Beregnungswürdigkeit einer Kultur muss vom Nutzer über die Grenzbodenfeuchte, ab der eine Beregnung erfolgen soll, individuell festgelegt werden. Das setzt viel Erfahrung voraus.
Alternativ zur „Geisenheimer Methode“ existieren die beiden Beratungsmodelle IRRIGAMA (IRRIGAMA Projektgesellschaft Dr. Schörling & Partner, Berlin) und ZEPHYR (Ingenieurgesellschaft Boden und Bodenwasser, Bad Freienwalde), die beide dynamische Mehrschichtenbodenfeuchte- und Evapotranspirationsmodelle als Grundlage für die Empfehlungsberechnung nutzen. Im Prinzip berechnen diese beiden Modelle auf der Grundlage von Bodeneigenschaften, Niederschlägen und Verdunstungswerten die Bodenfeuchte in mehreren Schichten und ermitteln für die unterschiedlichen Kulturen den Beregnungsbedarf. Sie verfügen über kulturspezifische Steuerungskurven für den gesamten Kulturverlauf, in denen die zeitliche Entwicklung von Durchwurzelung, Bodendeckung und Wasserbedarf enthalten sind. Unterschreitet bei zu trockenen Bedingungen das Verhältnis aus aktueller zu potentieller Evapotranspiration bzw. Verdunstung die vorgegebene pflanzenspezifische Grenzwertkurve um ein bestimmtes Maß (das Verhältnis von AET/PET korreliert sehr stark mit dem zu erwartenden Ertrag), wird von IRRIGAMA eine Beregnung empfohlen (Abb. 3). Dabei wird die Höhe der Beregnungsgaben der Durchwurzelungstiefe angepasst. ZEPHYR hingegen nutzt als Steuergrundlage die anzustrebende optimale Bodenfeuchte.

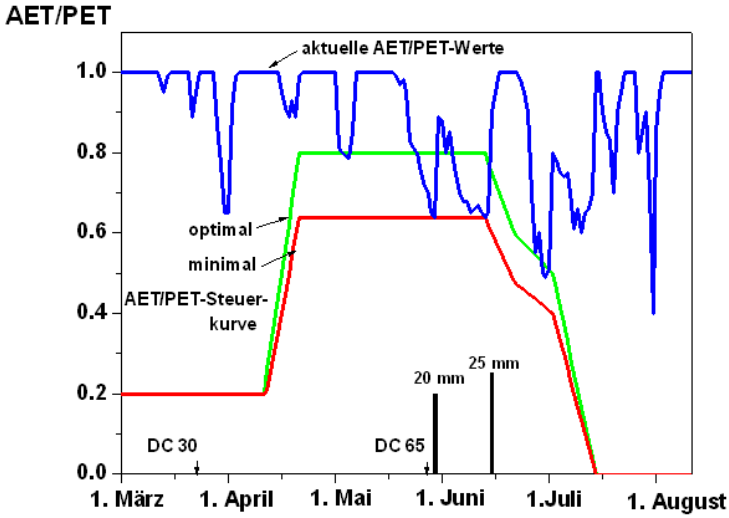


Abb. 3: Beispiel für einen gesteuerten Bewässerungseinsatz zu Winterweizen mit Hilfe des Bewässerungsberatungsmodells IRRIGAMA

Im Gegensatz zur „Geisenheimer Steuerung“ wird die bei nicht ausreichender Bodenfeuchte, Trockenheit oder Hitze eingeschränkte Transpiration der Pflanzen bei diesen Modellen berücksichtigt. IRRIGAMA, ein Derivat des bereits seit über 20 Jahren in Ostdeutschland erfolgreich genutzten Bewässerungsberatungsmodells „BEREST 90“ gibt darüber hinaus technologische Hinweise (z. B. zur Anpassung des Beregnungsturnus in Trocken- und Hitzeperioden) und zur maximal möglichen Infiltrationskapazität. Analog zur Geisenheimer Methode werden auch hier die prognostisch zu erwartende Entwicklung von Verdunstung und Niederschlag bei der Empfehlungsberechnung mit berücksichtigt.

Eine wichtige Grundlage für die beiden Modelle IRRIGAMA und ZEPHYR ist eine ausreichend sichere Einschätzung der Bodenwasserspeicherfähigkeit der Beregnungsschläge und eine Kontrolle und Korrektur des modellintern berechneten Pflanzenentwicklungsstadiums, da hiervon die Qualität der Beregnungsempfehlungen wesentlich abhängt. Wetterdaten können über Wetterstationen eingelesen werden. Die Entwicklungsstadien der Kulturen können fortwährend angepasst werden. Während beim windowsbasierten ZEPHYR aktuell noch Steuerkurven für die meisten Gemüsearten fehlen, sind in IRRIGAMA ca. 200 Steuerkurven für landwirtschaftliche, gärtnerische, Obst- und Sonderkulturen enthalten.

Fazit

Die möglichst zuverlässige Kenntnis des aktuellen und prognostisch zu erwartenden Bodenfeuchtezustandes in unterschiedlichen Bodenschichten ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für eine effektive und ressourcenschonende Steuerung des Zusatzwassereinsatzes in der Pflanzenproduktion.

Erst durch die Zusammenführung der oben genannten Information mit Kenntnissen über den Pflanzenwasserbedarf unterschiedlicher Fruchtarten und Sorten in unterschiedlichen Entwicklungsstadien und die Einbindung von Kenntnissen über die technischen Möglichkeiten und Anforderungen der Beregnungstechnik, kann das Ziel eines hocheffektiven, ressourcensparenden Zusatzwassereinsatzes zur Erzeugung hoher Erträge in bestmöglicher Qualität erreicht werden.

Die Kopplung modellgestützter Beratungsmodelle mit leistungsfähigen Sensoren und entsprechenden Datenübertragungstechnologien scheint der Weg für die Zukunft zu sein. Aktuell stehen der Praxis wie oben dargestellt, bereits sehr leistungsfähige Beratungsmodelle zur Verfügung, die unterschiedliche Stärken und Schwächen haben.

Letztendlich muss der Nutzer entscheiden, welchem Verfahren er unter Berücksichtigung der betrieblichen Gegebenheiten den Vorzug gibt.

Abschließend sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Bewässerung der sogenannte „I-Punkt“ der Intensivierung ist. Fehler in der Fruchtfolgegestaltung, der standortangepassten Sortenwahl, im Boden- und Düngungsmanagement sowie im Pflanzenschutz können durch die Bewässerung nicht oder nur bedingt wettgemacht werden. Es gibt viele Möglichkeiten, die man nutzen kann, um mit extremeren Witterungsverhältnissen zurecht zu kommen. Dazu zählen neben der Feldberegnung unter anderem:

1. Vermeidung unproduktiver Wasserverluste durch möglichst ganzjährige Bodenbedeckung
2. Sicherung eines möglichst großen Wurzeltiefgangs durch Sortenwahl, Zwischenfruchtanbau und schonende Bodenbearbeitung
3. Erhalt und Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens (Humus, biologische Verbauung)
4. Wahl trockentoleranterer Sorten
5. pflanzenbauliche Maßnahmen wie angepasste Bestandesdichte und optimaler Saattermin
6. konsequente Bekämpfung von Unkräutern als Wasserkonkurrenten
7. angepasste Düngungsmaßnahmen wie die CULTAN- oder Sensordüngung bzw. verstärkter Übergang zur Unterfuß- und Unterflurdüngung sowie
8. Anpflanzung von Windschutzhecken.

Literatur

AGROSAT, 2012: Produktinformationen der Firma Agro-Sat Baasdorf. http://www.agro-sat.de

AGROWETTER, 2012: Bewässerungsberatung des Deutschen Wetterdienstes (http://www.dwd.de/agrarwetter)

BLONQUIST J.M. JR.; JONES S.B. AND ROBINSON D.A., 2005a: Characterization and calibration of seven electromagnetic water content sensors: Part II. Evaluation. *Vadose Zone Journal* **4**, 1059-1069.

BLONQUIST J.M. JR.; JONES S.B.; ROBINSON D.A., 2005b: A low cost time domain transmission sensor with TDR performance characteristics for determining water content in soils. *Journal of Hydrology* **314**, 1-4, 235-245.

FRICKE, E., 2012: Landwirtschaftliche Bewässerung in Deutschland. In: KTBL-Schrift 492, Management der Ressource Wasser, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), 2012, S.90-92.

GIMPER, S., 2010: Evaluierung betsehender Messsensoren zur Ermittlung des Matrixpotenzials in Böden. Diplomarbeit. Fachhochschule Jena, Max-Planck-Institut für Biogeochemie Jena, 2010, 76 S.

HUISMAN, J.A.; HUBBARD, S.S.; REDMAN, J.D.; ANNAN, A.P., 2003: Measuring Soil Water Content with Ground Penetrating Radar - A Review. *Vadose Zone Journal* 2,4, 476-491.

IMKO, 2012: Produktinformationen der Firma IMKO Ettlingen. http.//www.imko.de

JONES, S.B.; WRAITH, J.M.; OR, D., 2002: Time domain reflectometry measurement principles and applications. *Hydrological Processs* **16**, **1**, 141-153.

MICHEL, R.; MICHEL J., 2008: Dokumentation Bewässerungsberatungsmodell ZEPHYT. Ingenieurbüro Boden und Bodenwasser, Bad Freienwalde

MIRSCHEL, W.; SCHULTZ, A.; WIELAND, R.; LUTZE, G.; LUZI, K., 2006: Modellgestützte Analyse ausgewählter Größen des Landschaftshaushaltes am Beispiel der Agrarfläche der Ziethener Moränenlandschaft. In: Lutze, G.; Schultz, A.; Wenkel, K.-O. (Hrsg.): Landschaften beobachten, nutzen und schützen – Landschaftsökologische Langzeit-Studie in der Agrarlandschaft Chorin 1992-2006. G.B. TeubnerVerlag, Wiesbaden, 2006, S. 164-195.

MIRSCHEL W.; WENKEL, K.-O., 2004a: Eindimensionales Bodenfeuchte- und Evapotranspirationsmodell als Basis einer computergestützten operativen Beregnungseinsatzsteuerung. In: Gnauck, A. (Hrsg.): Modellierung und Simulation von Ökosystemen: Workshop Kölpinsee 2004. (Berichte aus der Umweltinformatik), Shaker Verlag Aachen, 2006, S. 158-180.

MIRSCHEL, W.; WENKEL, K.-O., 2004b: System zur operativen computergestützten Beregnungseinsatzsteuerung (BEREST 90). In: Lüttger, A. (Hrsg.): Pilotprojekt Beregnung des Landes Brandenburg (4. Brandenburger Beregnungstag, Güterfelde, 27.11.2003), LVLF des Landes Brandenburg, 2004, S. 39-50. Online im Internet: http://www.pilotprojekt-beregnung.de/tagung_03.htm

MMM TECH SUPPORT, 2012: Produktinformationen der Firma MMM tech support Berlin. http://www.mmm-tech.de/de

PASCHOLD, P.-J. (Hrsg.), 2010: Bewässerung im Gartenbau. Ulmer-Verlag Stuttgart, 2010, 167 S.

PASCHOLD, P.-J.; FRÜHAUF, C.; SCHALLER, J.; KLEBER, J.; MAYER, N., 2011: "Geisenheimer Bewässerungssteuerung" für Penman- und FAO-Grasverdunstung - Unterschiedliche Wetterstationen sind für die Geisenheimer Methode nutzbar. *Gemüse* **47**, 6, 28 – 29.

PENMAN, H.L.,1956: Estimating evaporation. - Trans. Amer. Geophys. Union. 37: 43-46.

PLANTCARE, 2012: Die Welt der intelligenten Bewässerung. www.plant-care.ch

ROBINSON D.A.; GARDNER C.M.K.; COOPER J.D., 1999: Measurement of relative permittivity in sandy soils using TDR, capacitance and Theta probes: Comparison, including the effects of bulk soil electrical conductivity. *J. of Hydrology* 223, **3-4**. 198-211.

ROBINSON, D. A.; CAMPBELL, C. S.; HOPMANS, J. W.; HORNBUCKLE, B. K.; JONES, S. B.; KNIGHT, R.; OGDEN, F.; SELKER, J.; WENDROTH, O., 2008: Soil Moisture Measurement for Ecological and Hydrological Watershed-Scale Observatories: A Review. *Vadose Zone J.* **7**, 358–389.

ROBINSON, D.A.; JONES, S.B.; WRAITH, J.M. *et al*., 2003: A review of advances in dielectric and electrical conductivity measurement in soils using time domein reflectometry. *Vadose Zone Journal* ***2***, 444-475.

UGT, 2012: Produktinformationen der Firma UGT Müncheberg. http://ugt-online.de

UMS, 2012: Produktinformationen der Firma Umweltanalytische Mess-Systeme München. http://www.ums-muc.de

UPG, 2012: Produktinformationen der Firma Umweltanalytische Produkte Ibbenbüren. http://upgmbh.com

WENKEL, K.-O., MIRSCHEL W., 1991: BERSIM und BEREST 90 - Modelle zur Simulation der Bodenfeuchte und Evapotranspiration sowie zur operativen Beregnungseinsatzsteuerung im integrierten Landbau. In: Agrarinformatik (Informationsverarbeitung Agrarwissenschaft), Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (1991) Bd. 21, S. 349 – 360.

ZINKERNAGEL, J.; KLEBER, J.; MAYER, N., 2012: Bewässerungssteuerung für gemüsebauliche Kulturen in Praxis und Forschung. In: Management der Ressource Wasser. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V (KTBL), S. 98-106.

Selbststeuernde Unterflurbewässerung – Vom Tonkrug zum High-Tech-Kunststoffrohr

A. DÜHRKOOP, O. HENSEL
Universität Kassel, Fachgebiet Agrartechnik
Kontakt: andrea.duehrkoop@uni-kassel.de

Zusammenfassung

Der effiziente Einsatz der Ressource Wasser ist aufgrund des Klimawandels, des Bevölkerungswachstums und den ständig steigenden Nutzungsansprüchen (Industrie, Haushalte, Landwirtschaft) ein besonders aktuelles Thema. Größter Wasserverbraucher weltweit ist mit 70 % die landwirtschaftliche Bewässerung (WWAP 2011), womit effizienten Bewässerungsmethoden wie der Unterflurbewässerung eine zunehmende Bedeutung beikommt. Eine traditionelle und effektive Technik stellt dabei die Gefäßbewässerung dar, die je nach Pflanzenbedarf definiert Wasser abgibt. Dieses Selbststeuerungsvermögen wird in einem Forschungsprojekt am Institut für Agrartechnik der Universität Kassel aufgegriffen, um mit modernen Membranmaterialien eine Bewässerung zu entwickeln, die die Pflanze im Wurzelbereich präzise mit Wasser versorgt, ohne externe Energiezufuhr arbeitet, Wasserverluste minimiert und für bessere Erträge sorgt.

Einführung

Unter Einfluss des gegenwärtigen Klimawandels muss in den nächsten 25 Jahren der landwirtschaftliche Wasserverbrauch um 10 bis 20 Prozent gesenkt werden. Gleichzeitig ist als Folge des Bevölkerungswachstums eine Steigerung der weltweiten Nahrungsmittelproduktion um ca. 45 Prozent erforderlich. Eine besondere Rolle kommt dabei deshalb dem effizienten Einsatz des Bewässerungswassers zu. Der Bewässerungslandwirtschaft wird unterstellt, nur einen relativ geringen Teil des Bewässerungswassers wirklich produktiv den Pflanzen zuzuleiten, und erhebliche Teilmengen durch Verdunstung und Tiefensickerung zu verlieren. In vielen Bewässerungssystemen erreichen nur etwa 25 bis 30 Prozent des zugeführten Wassers tatsächlich die Nutzpflanzen (Lotze-Campen 2006).

Effiziente Bewässerungsmethoden

Gefäßbewässerung

Am Fachgebiet Agrartechnik der Universität Kassel am Standort Witzenhausen wird seit den 1990er Jahren zu effizienten Bewässerungsverfahren geforscht (vgl. hierzu z.B. Arbeiten von T.-M. Stein 1994-1997). Schwerpunkte der Arbeiten waren v.a. Untersuchungen zur wassersparenden Gefäßbewässerung.

Die Gefäßbewässerung (vgl. Abb. 1) wird bereits seit 2000 Jahren in China (Bainbridge *et al.*, 1998) und seit Jahrhunderten in vielen Kulturräumen des semiariden und ariden Klimas betrieben.
Sie ordnet sich ein in die Kategorie der Mikrobewässerung, bei der lokal eine kleine Wassermenge direkt im Wurzelraum der Pflanze bereitgestellt wird (Vermeiren & Joblin, 1984). In der englischsprachigen Literatur wird die Gefäßbewässerung als „Pitcher irrigation“, „Pot irrigation“ oder „Jarirrigation“ bezeichnet.
In den letzten 20 Jahren hat die Gefäßbewässerung durch ihr Potential zur Wassereinsparung sowie der Möglichkeit der Verwendung lokaler Materialien für kleinere Bewässerungsprojekte in ariden Gebieten an Bedeutung gewonnen (Stein, 1996, Bainbridge, 2001).

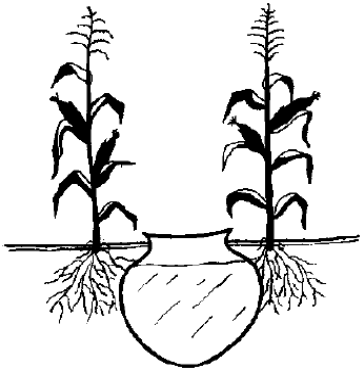


Abb. 1: Prinzip der Gefäßbewässerung (Bainbridge, 2001)

Die Gefäßbewässerung besteht in ihrer einfachsten Form aus unglasierten, gebrannten Tongefäßen, die bis zum oberen Rand in den Boden eingelassen und mit Wasser gefüllt werden. Die Bewässerung des Bodens erfolgt über die poröse Gefässwandung, wobei unter dem Einfluss von leichtem hydrostatischen Druck und / oder der Saugspannung des Bodens das Wasser in den umliegenden Wurzelraum übertritt (Stein, 1994). Die Gefässwandung befindet sich in direktem Kontakt zum umliegenden Boden und ermöglicht eine Wasserabgabe über das Porensystem der Gefässwandung in Abhängigkeit von den Feuchteverhältnissen im Boden. Stein (1997) belegt durch seine Untersuchungen, dass die Gefäßbewässerung ein autoregulatives Bewässerungssystem ist, das auf sich verändernden Bedarf mit einer Anpassung der Perkolationsrate reagiert.
Untersuchungen belegen einstimmig die enormen Vorteile der Gefäßbewässerung, die z.B. in der hohen Wassereffizienz, Vermeidung von Verdunstungsverlusten, der Verwendung lokal vorhandener Materialien und der direkten Wassergabe im Wurzelbereich der Pflanze liegen (Stein 1994 - 97, Bainbridge 2001, Siyal 2009).

Trotzdem wird dieses Verfahren nicht großflächig in der Bewässerungslandwirtschaft eingesetzt. Gründe dafür sind die aufwendige Installation der Gefäße, die aufgrund der zerbrechlichen Materialien nur per Hand einzubauen sind, und das eine maschinelle Feldbearbeitung während des Betriebes nicht möglich ist. Die Gefäße können leicht durch äußere Einwirkungen beschädigt werden. Allgemein wird die Lebensdauer der Gefäße auf nur ca. drei Jahre geschätzt.

Unterflurbewässerung

Unterflurbewässerung mit Tonrohren

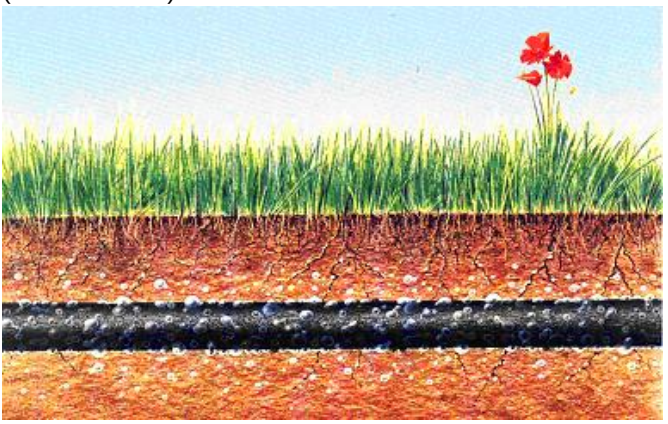
Untersuchungen zu porösen Bewässerungsrohren betrieben z.B. Bastani (1989 – 98) an der Universität Kiel oder Siyal und Skaggs (2009). Bastani fertigte im Rahmen seiner Diplomarbeit 1989 poröse Tonrohre an, die im Tonmaterial (drei unterschiedliche Tone) den bei der Gefäßbewässerung verwendeten Materialien glichen und nach demselben Prinzip wie diese funktionierten.
An diesen Rohren untersuchte er das Wasseraufnahmevermögen, die Wasserabgaberaten, sowie die Bruchlast der Rohre nach unterschiedlich gewählten Brenntemperaturen. In Feldversuchen im Iran verglich er die Unterflurbewässerung mittels Tonrohren mit der herkömmlichen Furchenbewässerung. Ergebnisse waren eine Wassererspar nis bei der Unterflurbewässerung von im Mittel 53 % und eine verminderte Verunkrautung, dies bei gleichzeitig höheren Erträgen.
Siyal und Skaggs (2009) führten numerische (HYDRUS 2D) und experimentelle Studien zur Wasserausbreitung um einen Tonrohr-Bewässerungsstrang durch. Die Studien zeigten, dass kleine Tonrohre mit höherer Wasserdurchlässigkeit ähnliche Ergebnisse in der Wasserausbreitung um den Bewässerungsstrang zeigten wie Tonrohre mit geringeren Wasserdurchlässigkeiten und größerem Volumen. Dies war nach hydraulischen Gesetzmäßigkeiten zu erwarten. Interessant sind die Vergleiche zwischen den Ergebnissen aus Feldversuchen mit denen der numerischen Modellierung (HYDRUS 2D). Hier wurden annähernd gleiche Werte erzielt. Abb. 2 zeigt die von Siyal und Skaggs (2009) in den Feldversuchen verwendeten Tonrohre.
Trotz der offensichtlichen Vorteile der Unterflurbewässerung mit porösen Rohren hat sich diese nicht durchgesetzt. Gründe dafür liegen in der aufwendigen Herstellung der Rohre, den Installationskosten, im Arbeitsaufwand und im Wartungsbedarf (Bastani, 1998).

Unterflurbewässerung mit porösen Schläuchen

Neben den für die Tropfbewässerung typischen Tropfrohren werden zur Unterflurbewässerung auch perforierte oder poröse Schläuche (engl. porous hose or porous pipe) eingesetzt. Jüngeren Datums ist die Entwicklung eines porösen Schlauches aus einem Gemisch von Altreifengranulat und Kunststoffen.

Abb. 2: Feldversuche von Siyal und Skaggs (2009) in Pakistan (Fotos von Siyal und Skaggs, 2009)

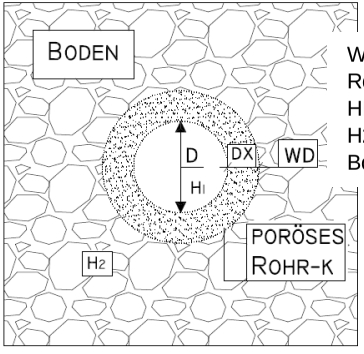
(Fa. Ecotubolar)



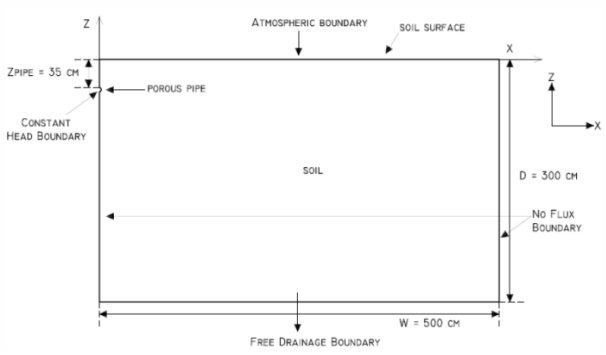
(Fa. AquaSpa)

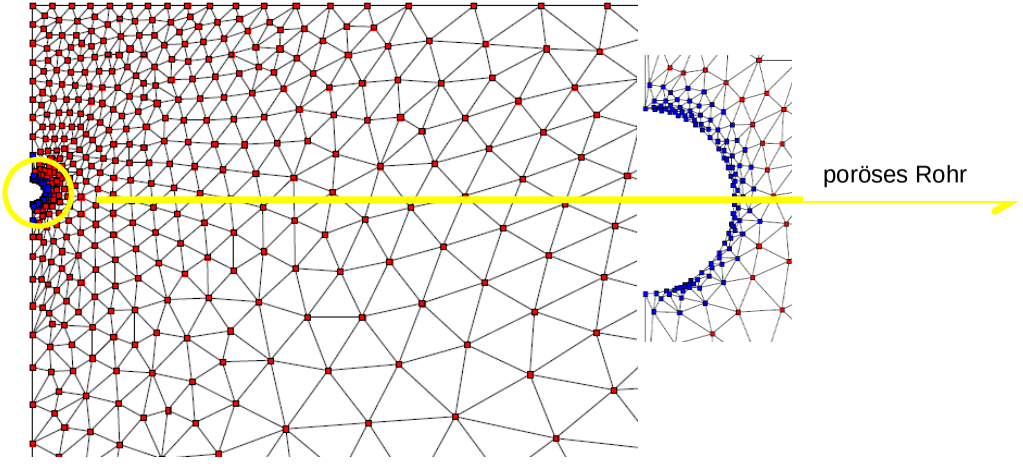
Abb. 3: Poröse Tropfschläuche

Die Schläuche (Abb. 3) sind offenporig und wasserführend. Der Abstand zwischen zwei parallel verlegten Schläuchen ist abhängig von der Verlegetiefe, der Bodenbeschaffenheit und der Pflanzenart. Der Schlauch gibt das in ihm fließende Wasser gezielt ab. Der Arbeitsdruck im System liegt zwischen 0,2 und 1,0 bar. Über den angelegten Druck kann der Volumenstrom gesteuert werden. Yoder *et al.* (1995, zit. in Bastani, 1989) führten Untersuchungen mit porösen Kunststoffrohren durch, die aus Gummi recycelter Autoreifen und Roh-Polyethylen produziert wurden. Es wird berichtet, dass bei der Produktion eine nur geringe Steuerungsmöglichkeit über die Größe und Verteilung der Poren im Material besteht. In den Versuchen von Yoder *et al.* stieg die Wasserabgaberate zwischen 0 und 2,0 bar linear mit dem Bewässerungsdruck an. Bei einem Druck von mehr als 1,4 bar traten Deformationen des Materials auf. Es gab beträchtliche Schwankungen der Wasserabgaberate entlang der Rohre, wobei diese Schwankungen nicht mit den Herstellerangaben übereinstimmten (Teeluck *et al.*, 1998).



WD-Wanddicke D-Rohrinnendurchmesser
HI-Druck im Rohr
H2-Saugspannung im Boden





Drei Versuchsböden mit hydraulischen Leitfähigkeiten v. 10 cm d^{-1} bis 106 cm d^{-1}.

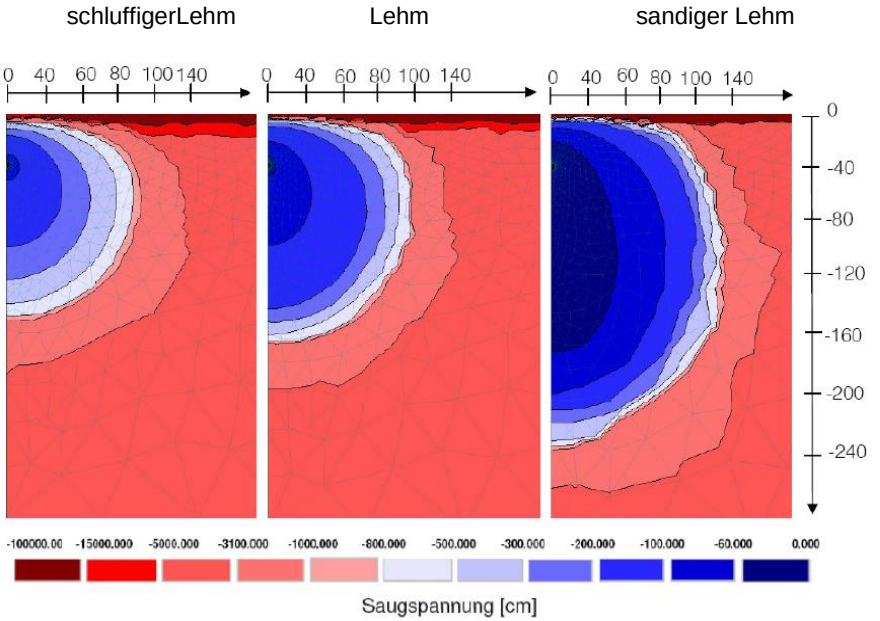


Abb. 4: Numerische Untersuchungen zur Ermittlung von Materialparametern für eine Kombination von Unterflur- und Gefäßbewässerung (Dührkoop, 2008)

Aktuelle Forschungsarbeiten am Fachgebiet Agrartechnik der Universität Kassel

Die im Vorfeld gezeigten effizienten Bewässerungsverfahren „Gefäß-“ und „Unterflurbewässerung“ bieten enorme Möglichkeiten, Wasser effektiv zu nutzen. Trotzdem stellen beide Techniken bislang nur Nischenanwendungen in der Bewässerungslandwirtschaft dar. Dies aufgreifend wird in aktuellen Forschungsarbeiten am Institut für Agrartechnik der Universität Kassel ein Bewässerungssystem entwickelt, das die Vorteile der Gefäß- mit denen der Unterflurbewässerung kombiniert. Ziel der Arbeiten ist es, der Pflanze genau dort Bewässerungswasser zur Verfügung zu stellen, wo sie es braucht, nämlich im Wurzelbereich, und nur genau so viel, wie sie zum optimalen Wachstum benötigt.

Da in früheren Arbeiten keine quantitativen Aussagen zur Bemessung einer Bewässerungsanlage bezüglich der Einflussgrößen (Durchlässigkeit, Wanddicke, Umfang) getroffen wurden, erfolgten für die funktionale Bemessung des Rohres numerische Untersuchungen mit dem Simulationsprogramm HYDRUS 2D (Dührkoop, 2008). Ergebnis war die Ermittlung der erforderlichen Rohrabmessungen (Durchmesser und Wandstärke) in Abhängigkeit von der hydraulischen Leitfähigkeit der Rohrwandung (Durchlässigkeitsbeiwert = k-Wert).

Die Ermittlung der Materialparameter war Grundlage für die Auswahl geeigneter Rohrmaterialien. Weitere geforderte Eigenschaften für ein Bewässerungsrohr waren Flexibilität sowie mechanische und chemische Stabilität. Nach einer Reihe von Laboruntersuchungen (z. B. Permeabilitätsuntersuchungen mit der Wasserdurchlässigkeitsanlage WILLE DW 1000/3) an verschiedenen Materialien wurde der Membranschlauch Accurel PP V8/2 HF (Membrana GmbH) gewählt, der bislang in der Nahrungs- und Brauereiindustrie und in der Abwasser- und sterilen Filtration verwendet wird.

Labormaßstäbliche Bewässerungsversuche mit Membranschläuchen

Material und Methoden

Um das selbststeuernde Potential des Membranschlauches im konkreten Bewässerungsfall zu testen, wurde ein Bewässerungsversuch im Labor (vgl. Abb.5) durchgeführt. Dafür wurde ein 1 Meter langer Abschnitt des Membranschlauches in 30 cm Tiefe in einem sandigen Lehm (Ls) verlegt. Der Schlauch war an ein Wasserreservoir (KG-Rohrabschnitt mit DN 200) angeschlossen, so dass der Schlauch kontinuierlich mit Wasser gefüllt war. Um die Wasserausbreitung in dem den Bewässerungsschlauch umgebenden Boden, und damit die Änderung der Saugspannung zu erfassen, wurden Tensiometer in definierten Abständen und Tiefen zum Schlauch installiert.

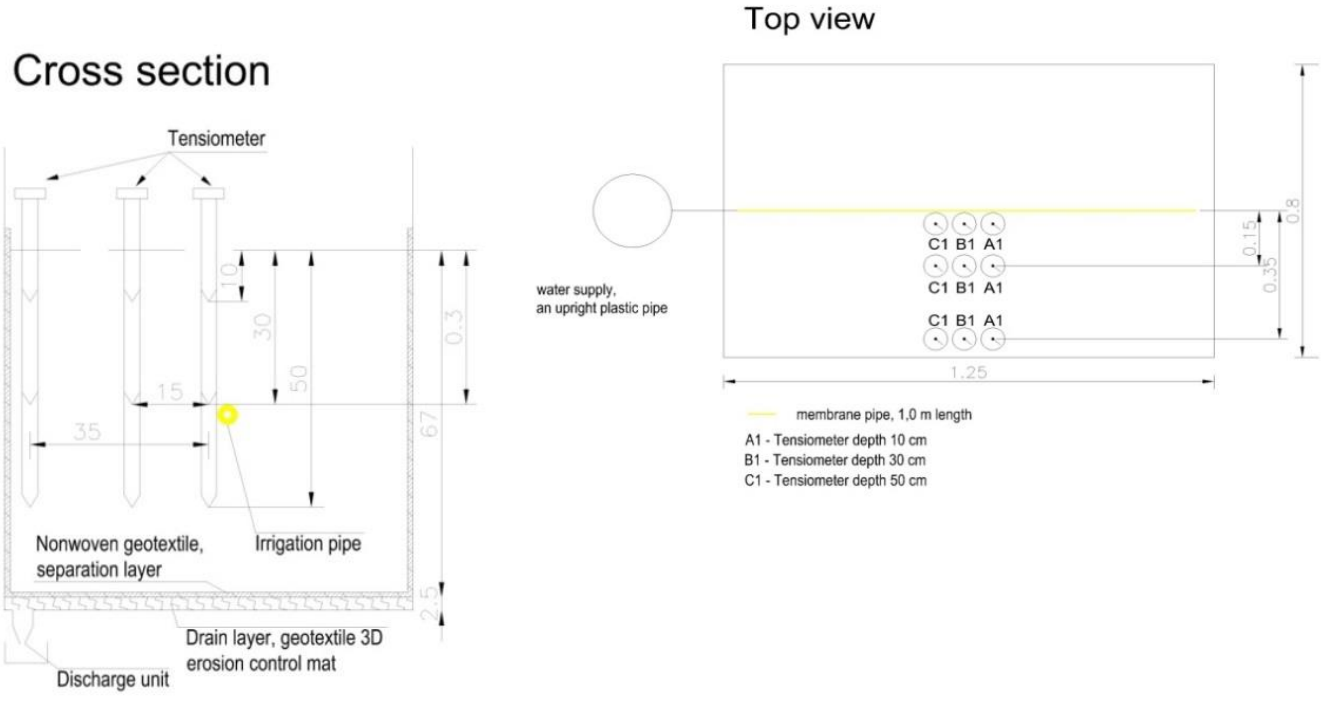


Abb. 5: Schematische Darstellung des Labor-Bewässerungsversuches mit dem Membranschlauch

Ergebnisse

Die Versuche zeigten, dass bei anfänglich trockenem Boden (vgl. Abb. 6) die Wassergabe des Rohres hoch ist. Mit steigender Bodenfeuchte sinkt die Wassergaberate schnell. Der linke Teil der Graphik zeigt, dass der Volumenstrom mit weiter steigender Bodenfeuchte gegen Null geht, was das selbststeuernde Potential des Bewässerungsrohres illustriert.

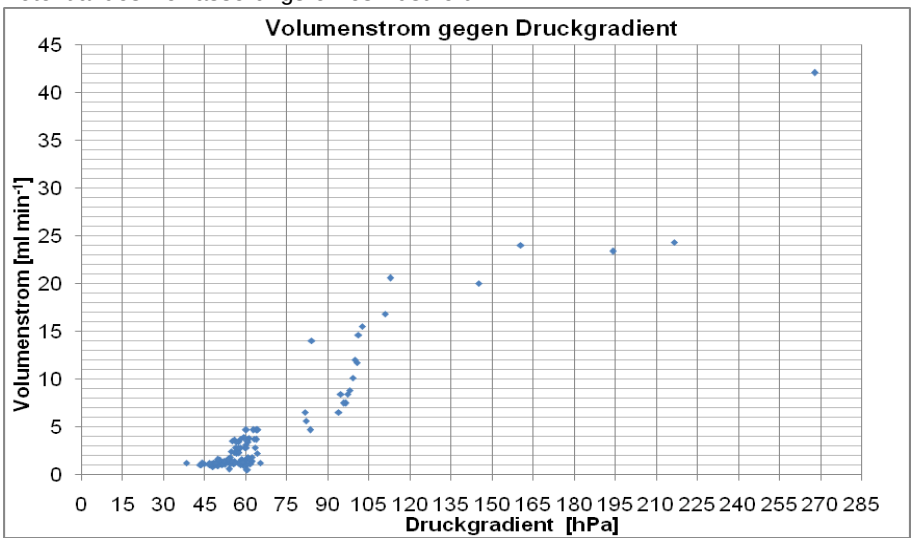


Abb. 6: Darstellung Volumenstrom gegen Druckgradient, Ergebnis des Labor-Bewässerungsversuches

Gewächshausversuch mit dem Membranschlauch

Ziel einer dann folgenden Untersuchung im Gewächshaus war, das selbststeuernde Potential des Membranschlauches in Versuchen im Praxismaßstab zu testen.

Material und Methoden

Ein im Gartenbaubetrieb Schmitz in Levitzow durchgeführter Bewässerungs-versuch mit Membranschlauch wurde folgendermaßen aufgebaut:

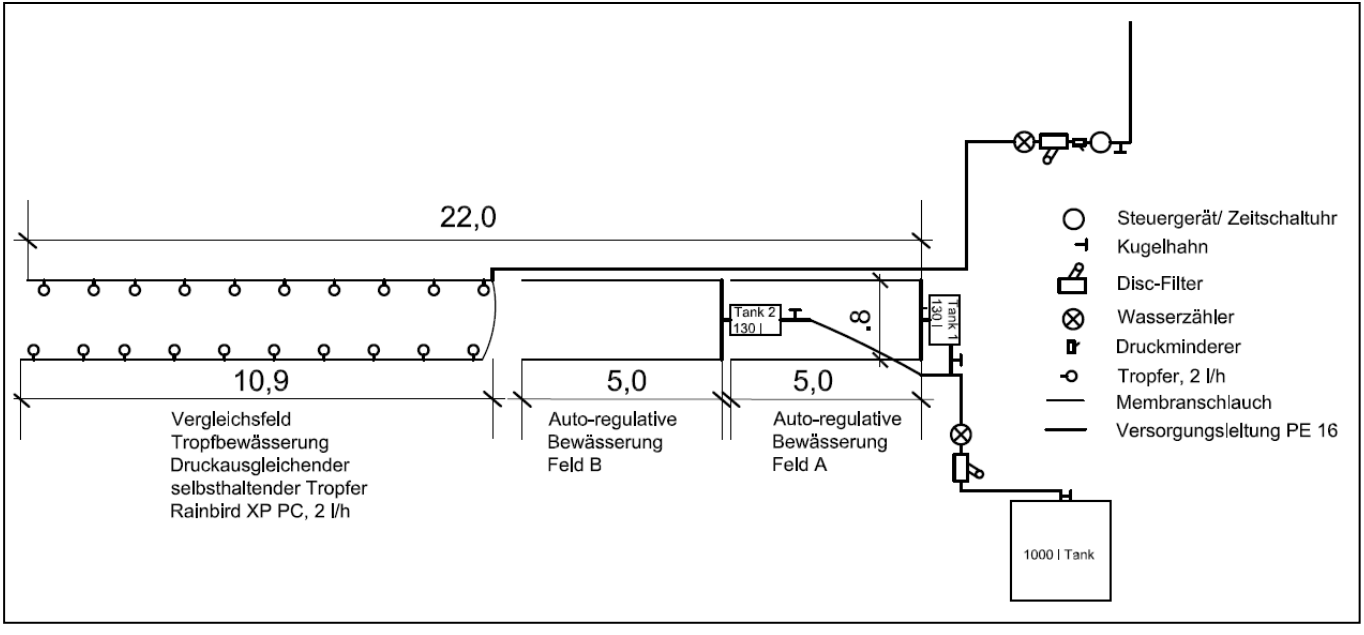


Abb. 7: Schema des Bewässerungsversuchs im Gewächshaus des Gartenbaubetriebs

Auf einer Länge von ca. 22,0 m wurden zwei Parzellen à 5,0 m × 1,5 m mit dem Membranschlauch und 10,9 m × 1,5 m als Vergleichsfläche mit herkömmlicher Tropfbewässerung ausgestattet. Der Abstand zwischen den Schläuchen betrug 0,8 m. Jede Parzelle, die mit Membranschläuchen ausgestattet wurde, bekam zur kontinuierlichen Wasserversorgung einen Wasserbehälter mit 130 l Volumen, der über einen weiteren 1000 l Tank mit Wasser nachgefüllt werden konnte. Zur Aufzeichnung des Wasserverbrauchs wurden in jeder Parzelle Wasserzähler eingebaut. Um die Änderung der Saugspannung in dem die Bewässerungsschläuche umgebenden Boden, und damit die Wasserausbreitung zu erfassen, wurden Tensiometer in definierten Abständen (unmittelbar am Schlauch und im Abstand von 0,40 m zum Schlauch) und Tiefen (in 0,10; 0,30 und 0,55 m Tiefe) zum Schlauch installiert. Der Boden war nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Eckelmann, 2005) ein schwach lehmiger Sand (Sl3).

Ergebnisse

Auf den Parzellen mit den Membranschläuchen wurde Folgendes festgestellt:

- die Bodenoberfläche blieb während des gesamten Versuchszeitraums trocken, Unkrautwachstum fand nicht statt
- die Tomatenfrüchte waren größer als auf der Vergleichsfläche mit Tropfbewässerung
- Pflanzenkrankheiten konnten sich nicht ausbreiten, weil die Bodenoberfläche trocken blieb und somit auch die Luftfeuchtigkeit lokal relativ gering blieb
- die Pflanzen war allgemein in einem sehr guten (gesunden) Zustand
- aufgrund des geringen erforderlichen Systemdrucks konnte Regenwasser verwendet werden, was die Wasserkosten auf null minimierte
- Energie war nicht erforderlich, so dass auch hier keine Kosten anfielen

Installation

Installation abgeschlossen.

Die Membran-schläuche sind mit Wassertanks verbunden.

Die Tomaten-pflanzen sind gepflanzt.

Tensiometer.

Tropfbewässerung.
35 DAP.

Membranschlauch plot. 35 DAP

Membranschlauch plot. 69 DAP.

Unkrautwachstum und feuchte Bodenoberfläche bei der Tropf-bewässerung.

Tropfbewässerung. 88 DAP.

Membranschlauch plot. 88 DAP. Trockene Bodenoberfläche und kein Unkrautwachstum.

Abb. 8: Details des Bewässerungsversuchs im Gartenbaubetrieb Schmitz (DAP = Days After Planting, Tage nach der Pflanzung)

Ein selbststeuerndes Potential konnte bei geringer werdenden Saugspannungen nicht mehr festgestellt werden, weil die Position der Wasserversorgungstanks nicht optimal gewählt war. Das führte zu einem zu hohen hydrostatischen Druck im System, der den Einfluss der Saugspannung auf den Volumenstrom überdeckte.

Auf der Vergleichsfläche mit Tropfbewässerung kam es um die Tropfer zu lokalen Feuchtestellen, was zu Unkrautwachstum führte. Aufgrund des erforderlichen Drucks wurde normales Leitungswasser mit entsprechenden Kosten verwendet. Außerdem waren die Pflanzen zum Ende des Versuches durch Kraut- bzw. Braunfäule *(Phytophtera infestans)* befallen. Der Ernteertrag bei der Membranschlauchbewässerung war 12,91 % höher als bei der Tropfbewässerung. Die folgenden Abb. 9 und 10 stellen den Wasserverbrauch und den Ernteertrag der Tropfbewässerung und der Membranschlauchbewässerung gegenüber.

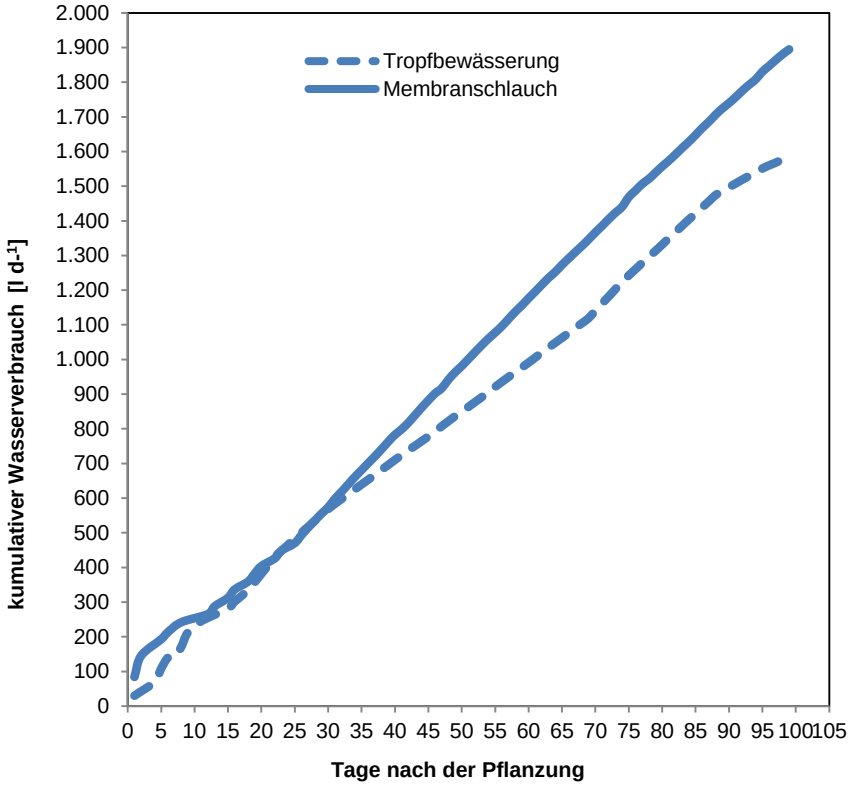


Abb. 9: Wassernutzungeffizienz der untersuchten Bewässerungsarten

Die Wassernutzungseffizienz bei der Membranschlauchbewässerung betrug 57,04 l/ kg (l Wasser pro kg Tomate), für die Tropfbewässerung wurden 51,52 l/ kg bestimmt. Der höhere spezifische Verbrauch des Membranschlauchverfahrens liegt vermutlich in o.g. ungeeigneter Anordnung des Versorgungsgefäßes begründet.

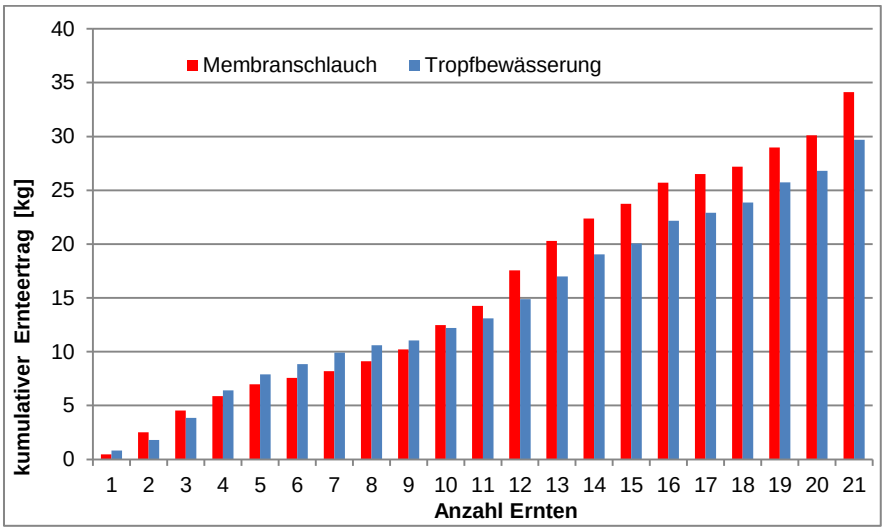


Abb. 10: Ernteerträge im Vergleich

Die Unterflurbewässerung zeigte hohe Erträge, gesunde Pflanzen und keine Wasserverluste durch Evaporation. Das selbststeuernde Potential der Membranschlauchbewässerung wird in einem Folgeversuch 2013 mit einer verbesserten Versuchsanordnung untersucht.

Literatur

Bainbridge, D.A., Steen, A., Steen, B., 1998: Super-efficient irrigation with buried clay pots. – USIU Environmental Studies Program/ TheCanelo Project, San Diego, CA/ Elgin, AZ

Bainbridge, D.A., 2001: Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation. – Environmental Studies Program, United States International University, San Diego, *Agricultural Water Management* **48**, 79-88.

Bastani, S., 1989: Unterflurbewässerung mittels Kuseh-Rohre – Theorie und Materialversuche im Iran. – Diplomarbeit, Institut für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie der Christian-Albrecht-Universität Kiel

Bastani, S., 1998: Unterflurbewässerung mittels Kuseh-Rohre. Entwicklung eines neuen Bewässerungssystems mit hoher Wassereffizienz und Bewässerungsversuche in Karadj/ Iran. – Dissertation, Schriftenreihe/ Institut für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie der Christian-Albrecht-Universität Kiel, Heft 26

Dührkoop, A., 2008: Materialparameter für eine Kombination von Unterflur- und Gefäßbewässerung. Diplomarbeit, Universität Rostock

Eckelmann, W., 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. Ad-Hoc-AG-Boden, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.). 5. Auflage, Hannover.

Siyal, A.A.; Skaggs, T.H., 2009: Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. *Agricultural Water Management* **96**, 893–904.

Stein, T.-M., 1994: Grundlagen und Technik der Gefäßbewässerung. – Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft **29** (1): 62-94

Stein, T.-M., 1996: Möglichkeiten der Veränderung der hydraulischen Leitfähigkeit von Gefäßbewässerungsmaterialien. – Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft **31** (2): 165-181

Stein, T.-M., 1997: Der Einfluss der Kultur und anderer Faktoren auf die Perkolationsrate von Gefäßen zur Gefäßbewässerung. *Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft* **29** (1), 207–234.

Teeluck, M.; Sutton, B.G., 1998: Discharge characteristics of a porous pipe microirrigation lateral. *Agricultural Water Management* **38**, 123-134.

Vermeiren, L., Jobling, G., 1984: Localized Irrigation, Design, Installation, Operation, Evaluation. – FAO Irrigation and Drainage Paper 36, Rome.

Hermann Lotze-Campen, 2006: Wasserknappheit und Ernährungssicherung, *Aus Politik und Zeitgeschichte (APuZ)* **25**, 8–13.

World Water Assessment Programme (WWAP), 2012: Water Use - Statistics: Graphs & Maps, http://www.unwater.org/statistics_use.html, Zugriff 26.11.2012

Autorenregister

Albert, E. 45
Augustin, J. 83

Bauer, B. 72
Bischoff, J. 102
Bosak, V. N. 55
Bosak, V. V. 55
Böttcher, F. 144

Deubel, A. 22
Dührkoop, A. 164

Gans, W. 83
Gonchar, L. 65
Grunert, M. 45

Hage, B. 144
Hensel, O. 165
Herbst, F. 83
Heubach, M. 36
Hlavinka, P. 6

Jäkel, K. 144

Kachura, I. 65
Kalenska, S. 65
Kalenski, V. 65
Khodyakov, E. A. 133
Koloskova, T. V. 55
Křen, J. 6
Kuzin, A. I. 59

Lilienthal, F. 144

Makary, T. 95
Martinek, P. 6
Matvienko, A. 65
Müller, M. 144
Müller, T. 95

Neudert, L. 6

Orzessek, D. 22

Pekrun, C. 95

Schaprow, M. N. 109
Schliephake, W. 45
Schmidt, N. 119
Schönberger, H. 72
Schröter, H. 36
Schulz, R. 96
Smutný, V. 6
Spott, O. 83

Trunov, Y. W. 59
Tsukanova, E. M. 59

Vyazmikina, N. S. 59
Wagner, S. 36
Wenkel, K. O. 152

Zepljaew, A. N. 109
Zepljaew, W. A. 109
Zinkernagel, J. 119
Zorn, W. 36

Hitzewellen
Düsseldorf am Rhein im Sommer 2003