

# Das Trockenstressrisiko bei einer Dauerbegrünung der Rebanlagen

## 1. Einführung

Eine Dauerbegrünung der Rebanlagen ist aus mehreren Gründen wünschenswert. Sie gewährt eine Befahrbarkeit der Rebzeilen auch bei nassen Witterungsverhältnissen. Sie erhöht den Humusanteil in den Parzellen und reduziert den Nitrat- austrag in das Grundwasser (BERTHOLD 1991). Sie erhöht das Versickerungsvermögen bei hohen Niederschlägen, minimiert damit den Oberflächenabfluss und schützt die Anlagen vor Boden- austrag.

Die häufig durchgeführte Winterbegrünung kann die Bodenerosion nicht verhindern, weil die erosiven Niederschläge im Sommer nieder- gehen (EMDE 1992). Um das Bodenwasser zu schonen, wird sie im Frühjahr umgebrochen. Durch Mineralisation können dann große Men- gen Stickstoff frei werden. Für eine umweltscho- nende Bewirtschaftung ist daher eine Dauerbe- grünung vorzuziehen.

Allerdings können in manchen Lagen die Be- grünungspflanzen eine ernst zu nehmende Kon- kurrenz zur Rebe um das verfügbare Bodenwas-

ser sein, was zu Ertrags- und Qualitätseinbußen führen kann (BREIL 1991).

Der Rheingau gehört zu den trockensten deut- schen Weinbaugebieten, daher ist dieses Risiko dort besonders hoch. An der hessischen Berg- straße hingegen sind wegen der deutlich höhe- ren Niederschläge weniger Probleme zu erwar- ten (Tab. 1).

Im Rheingau selbst ist eine Zunahme der Niederschläge von Geisenheim im Westen bis Wiesbaden im Osten festzustellen.

Da die Vegetationszeit der Begrünungspflan- zen eher beginnt als die der Rebe, kann es bei geringen Niederschlägen schon frühzeitig zu ei- nem Abfall des Bodenwasservorrats kommen (BERTHOLD 1991). Zum Zeitpunkt der Reben-Blü- te ist in manchen Jahren auf begrünten Standor- ten schon mit deutlich trockeneren Bedingungen zu rechnen als bei offen gehaltenen Rebanlagen.

Eine Abschätzung des Wasserhaushalts in Weinbergen mit Hilfe der klimatischen Wasserbi- lanz wurde von HOPPMANN & HÜSTER (1988a) durchgeführt. Die dabei zu Grunde gelegte po- tenzielle Verdunstung ist jedoch nur gegeben, wenn die Pflanzen immer optimal mit Wasser ver- sorgt sind. Dies ist jedoch nicht der Fall. Bei trok- kenen Witterungsbedingungen kommt es zu ei- ner zunehmenden Austrocknung des Bodens. Die optimale Wassernachlieferung ist nicht mehr ge- geben. Die Rebe ist bei zunehmender Wasser- knappheit in der Lage, ihren Wasserverbrauch zu reduzieren, die Verdunstung von der Bodenober- fläche ist eingeschränkt und Gras verringert sein Wachstum. Die tatsächliche Verdunstung ist da-

**Tab. 1.** Langjähriges Mittel der Niederschläge aus den hydrologischen Jahren 1961–1990 an ausgewähl- ten Stationen der hessischen Weinanbaugebiete

	Gesamtjahr Nov.–Oktober	Vegetationsperiode April–Oktober
<b>Geisenheim</b>	548 mm	342 mm
<b>Eltville</b>	612 mm	382 mm
<b>Wiesbaden</b>	636 mm	391 mm
<b>Bensheim</b>	828 mm	521 mm

\* Dipl. Geogr. B. Hofmann (e-mail: birgit.hofmann@imail.de), Forstenrieder Allee 136, D-81476 München.

her geringer als die potenzielle Verdunstung. Ihre Bestimmung ist jedoch weitaus schwieriger. Hierbei muss die Entwicklung der Bodenwassergehalte berücksichtigt werden. Mit Hilfe eines Bodenfeuchtesimulationsprogramms ist dies möglich.

Um das Risiko einer Dauerbegrünung zu beurteilen, soll die zu erwartende Entwicklung der

Bodenwassergehalte unter einer kurz gehaltenen Grasdecke berechnet werden. Dieser Ansatz wurde bereits von HÜSTER (1993) verfolgt. Letztendlich handelt es sich um eine Abschätzung des Trockenstressrisikos. Andere Wechselwirkungen zwischen Rebe und Begrünungspflanzen werden nicht berücksichtigt.

## 2. Maß für die Trockenstressgefährdung

Die Bewertung des Trockenstressrisikos beinhaltet die Frage nach dem Wasserbedarf der Reben. Der Wasserbedarf ist zu unterscheiden vom Wasserverbrauch. Der Verbrauch richtet sich nach dem Wasserangebot. Entscheidend ist aber die Frage nach dem nötigen Bedarf für ein ausreichendes Ertrags- und Qualitätsziel.

Bei der Rebe ist es jedoch schwierig Aussagen darüber zu treffen in welchem Entwicklungsabschnitt, ab welchem Grenzwert und in welchem Umfang bei nicht optimaler Wasserversorgung mit Ertrags- und Qualitätsveränderungen zu rechnen ist. Ertrag und Qualität werden von vielen Faktoren beeinflusst, und das Gewicht der einzelnen Einflussfaktoren verschiebt sich im Laufe der Vegetationszeit, so dass der reine Einfluss des Bodenwassers insbesondere unter Freilandbedingungen oft nicht eindeutig bestimmbar ist. Viele Untersuchungsergebnisse stammen daher aus Gefäßversuchen (SMART & COOMBE 1983, BERAN 1986).

Die Qualität, im herkömmlichen Sinne als Mostgewicht und Gesamtsäure gemessen, wird deutlich von der Temperatur und der Anzahl der Sonnenscheinstunden gesteuert. Die Wasserbilanz beeinflusst wesentlich stärker den Ertrag (HOPPMANN & HÜSTER 1988b). Ein Zusammenhang mit Wasserstress wird aber auch bei der Entstehung des „Unspezifischen Alterungstons“ (UTA) bei Weinen angenommen (SCHWAB 1996). Zur Einschätzung des Trockenstressrisikos soll im Folgenden der Zeitraum betrachtet werden, in dem sich Trockenstress besonders negativ auf den Ertrag auswirken würde, weil die Zusam-

menhänge mit dem Wasserhaushalt am eindeutigsten sind.

Neben anderen Autoren berichtet BETTNER (1979), dass die Rebe in der Phase des beginnenden Beerenwachstums besonders empfindlich auf Wassermangel reagiert und dann mit geringeren Erträgen zu rechnen ist. Es ist die Zeit des Beerenansatzes, der darüber entscheidet, wie viele Beeren die Trauben bilden, und die Zeit der Zellteilungen, in der die Anzahl der Zellen in den Beeren festgelegt werden. Später findet nur noch eine Zellstreckung statt, es können aber keine neuen Zellen mehr gebildet werden. Nach CURRLE et al. (1983) dauert diese Phase bei den spät reifenden Sorten, zu denen auch der Riesling gehört, ca. 44 bis 46 Tage. Früher reifende Sorten wie der Müller-Thurgau durchlaufen diese Phase schneller.

Problematischer ist die Festsetzung eines Schwellenwertes für den Bodenwassergehalt, ab dem Trockenstress angenommen werden soll. MÜLLER (1980) nennt unter Freilandbedingungen die Werte von 30–40 % der nutzbaren Feldkapazität bei Böden mit geringem Wasserspeichervermögen als problematisch. BERAN (1986) berichtet davon, dass erst erstaunlich niedrige Werte der Bodenfeuchte im Freiland einen deutlichen Einfluss hatten.

Als Grenzwert für Trockenstress wird in dieser Arbeit nicht ein bestimmter prozentualer Anteil der nutzbaren Feldkapazität herangezogen, sondern ein einheitlicher Restwassergehalt in Millimeter. Dies begründet sich darin, dass Böden miteinander verglichen werden sollen, die zum

**Tab. 2.** Restwassergehalt verschiedener Böden bei gleichem prozentualen Anteil an der nutzbaren Feldkapazität (Schicht 0–100 cm Bodentiefe)

	nFK	50 %	40 %	30 %
<b>Sand</b>	110 mm	55 mm	44 mm	33 mm
<b>Löß</b>	220 mm	110 mm	88 mm	66 mm

Teil sehr niedrige und zum Teil sehr hohe nutzbare Feldkapazitäten aufweisen. Unter der Annahme, dass bis zum Erreichen des permanenten Welkepunktes der Pflanze Bodenwasser zur Verfügung steht, befänden sich bei einem Vergleich auf prozentualer Ebene noch deutlich unterschiedliche Mengen Wasser im Boden (Tab. 2).

Auf so unterschiedlichen Böden sind gleiche prozentuale Anteile der nutzbaren Feldkapazität auch nicht mit gleich hohen Saugspannungen verknüpft. Eine Berechnung der Saugspannung nach CAMPBELL (1985) von ZIMMER (1997) ergibt für vergleichbare Horizonte bei Wassergehalten von 40 % nFK bei Sand pF-Werte kleiner 2 und bei Löss pF-Werte um 3. Je nach Totwasseranteil variieren diese Werte etwas. Bei einem tonigen Boden läge er noch höher.

Generell ist zu beachten, dass Bodenwassergehalte – wie auch das Matrixpotenzial – nur ein angenähertes indirektes Maß für Trockenstress der Pflanzen sein können. Stress ist ein physiologisches Phänomen, welches stark von den Anpassungsmöglichkeiten der Pflanzen beeinflusst ist; z. B. können der Ernährungszustand oder eine gewisse Stressgewöhnung einen modifizierenden Einfluss haben.

Für die Bewertung der Trockenstressgefährdung wird die Zeitspanne von der Blüte bis 40 Tage nach der Blüte betrachtet und der mittlere Bodenwassergehalt dieses Zeitraums für jedes Jahr berechnet. Als Schwellenwert, ab dem eine Gefährdung angenommen wird, wurde ein Restwassergehalt von 40 mm festgesetzt. Das ent-

spricht bei einer nutzbaren Feldkapazität von 100 mm einem prozentualen Anteil von 40 %. Eine ursprünglich angestrebte Auszählung der Anzahl der Tage mit Bodenwassergehalten unterhalb des Grenzwerts konnte nicht beibehalten werden. Dieses Verfahren würde in Jahren, in denen der Bodenwassergehalt im Auswertungszeitraum längere Zeit nur knapp unterhalb oder oberhalb des Grenzwerts liegt, zu größeren Fehleinschätzungen führen.

Obwohl die Rebe in der Lage ist, sehr tief reichende Wurzeln zu entwickeln, wird hier nur der Bereich bis zu einer Tiefe von 1 m berücksichtigt. Hier befindet sich die Hauptmasse der Rebwurzeln (SMART & COOMBE 1983; STEINBERG 1968) und nur für diesen Bodenraum lassen sich für eine Vielzahl von Böden unter vertretbarem Aufwand die notwendigen Bodenkennwerte ermitteln oder flächendeckend abschätzen. Insbesondere die Bodenfeuchtemessung auf skelettreichen Standorten ist extrem schwierig. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass in vielen Fällen eine Notversorgung der Rebe aus dem tieferen Untergrund gegeben ist. Sie kann aber nicht als sicher angenommen werden. Insbesondere auf Standorten mit Festgestein im Untergrund ist eine tiefere Durchwurzelung sehr von den lokalen Bedingungen abhängig.

Die ermittelte Häufigkeit des Trockenstressrisikos gilt nur für den oben genannten Zeitraum. Das relative Verhältnis des Trockenstressrisikos für die einzelnen Standorte untereinander lässt sich jedoch auf spätere Zeiträume im Jahr übertragen. Auf frühzeitig zu Austrocknung neigenden Böden kommt es im Laufe des Jahres zu einer Verschärfung des Trockenstressrisikos. Später im Jahr reagiert die Rebe aber nicht mehr so empfindlich darauf. Für Einflüsse auf die Qualität lassen sich momentan weder eindeutige Zeiträume noch Grenzwerte der Bodenwasserversorgung bestimmen.

### 3. Berechnung der Bodenwassergehalte

Entscheidend für die Einschätzung der Begrüpfungsfähigkeit eines Standorts ist die zu erwartende Häufigkeit des Auftretens von Trockenstress. Da langjährige Messreihen der Bodenfeuchte nicht ausreichend vorhanden sind, werden die Bodenwassergehalte mit Hilfe eines Simulationsmodells errechnet.

#### 3.1. Das Simulationsmodell

Grundlage des Programms war eine von GOMMES & ROBERTSON (1983) für die Food and Agriculture Organisation (FAO) der UNO vereinfachte Version des Mehrschichtmodells von BAIER & ROBERTSON (1966). Es wurde von HÜSTER (1993) an die Verhältnisse von Rebanlagen angepasst und erstkalibriert. In den Jahren 1993 und 1994 wurde das Modell an verschiedenen repräsentativen Standorten sowohl in begrüntem wie auch offenen Rebanlagen mit gemessenen Daten überprüft und in einigen Punkten überarbeitet. Letztendlich wurden mit dem resultierenden Einschicht-Modell ausreichend gute und z. T. sogar bessere Simulationsergebnisse erzielt als mit dem detaillierteren Drei-Schicht-Modell. Es können nun auch verschiedene Hangneigungen und Expositionen berücksichtigt werden.

Entscheidend für die Wahl dieses Modells war, dass es mit wenigen, relativ leicht verfügbaren Eingangsdaten auskommt.

An Klimadaten gehen der Tagesniederschlag und die täglichen Werte von Temperatur ( $t_{14}$ ) und Dampfdruck ( $e_{14}$ ) um 14 Uhr ein. An Bodenkennwerten werden der Wassergehalt bei Feldkapazität ( $pF$  1,8) und am Welkepunkt ( $pF$  4,2) – ausgedrückt in Volumenprozent – und die Bodenmächtigkeit benötigt. Die Bodenmächtigkeit wurde hier mit maximal 1 m eingegeben.

Die tägliche Änderung der Bodenfeuchte wird bilanziert als:

$$\text{Bodenfeuchte (neu)} = \text{Bodenfeuchte (alt)} + \text{Niederschlag} - \text{Sickerwasser} - \text{aktuelle Verdunstung} \quad (1)$$

Um zu gewährleisten, dass verschiedene Verläufe der Witterung gut repräsentiert sind, wird ein Zeitraum von 30 Jahren betrachtet. Dies ist ein Standardzeitraum für klimatologische Untersuchungen. Damit verschiedene Untersuchungen auch vergleichbar sind, gibt es eine weltweite Übereinkunft über den gültigen Bezugszeitraum. Momentan sind dies die Jahre 1961–1990.

Als Sickerwasser wird der Anteil der Niederschläge betrachtet, der über die Wiederauffüllung auf Feldkapazität hinausgeht.

Für die Bestimmung der aktuellen Verdunstung ( $ET_a$ ) wird zunächst die potenzielle Verdunstung ( $ET_p$ ) nach HAUDE (1963) errechnet (Tab. 3). Dieses Verfahren kommt mit wenigen und leicht zu beschaffenden Eingangsparametern aus. Der Vergleich mehrerer Berechnungsverfahren der potenziellen Verdunstung durch SPONAGEL (1980) und ERNSTBERGER (1987) für die Berechnung der Bodenwasserentwicklung zeigte, dass die oft bevorzugte Bestimmung der Verdunstung nach PENMAN (1948) nicht eindeutig überlegen war. Da in beide Verfahren monats- oder phänologiebezogene, nur empirisch bestimmbare Faktoren eingehen müssen, um die potenzielle Verdunstung des jeweils betrachteten Pflanzenbestandes zu erhalten, und die weiter unten beschriebene Reduktionsfunktion aufgrund ihres Rückkoppelungseffekts eine hohe ausgleichende Wirkung besitzt, wurde hier auf die Berechnung nach PENMAN (1948) verzichtet. Hinzu kommt, dass die benötigten Daten für den Windterm nur an wenigen Stationen vorliegen.

HAUDE (1963) bestimmt die potenzielle Verdunstung über die Menge Wasser, die auf Grund des Sättigungsdefizits der Luft um 14 Uhr noch aufgenommen werden könnte. Das Sättigungsdefizit errechnet sich aus der Differenz zwischen

**Tab. 3.** Faktoren zur Bestimmung der potenziellen Verdunstung nach HAUDE für verschiedene Bodenpflegesysteme. Die potenzielle Verdunstung wird in Abhängigkeit von der aktuellen Bodenfeuchte zur aktuellen Verdunstung (ETa) reduziert

<b>begrünt</b>	0,20	0,21	0,29	0,29	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	0,20
<b>phän. Tag</b>	60	91	121	152	182	213	244	274	305	366
<b>offen</b>			0,1	0,16	0,18	0,21	0,21	0,19	0,12	0,10
<b>phän. Tag</b>			124	150	175	208	242	288	300	366

gemessenem Feuchtegehalt der Luft (e14) und dem bei der gemessenen Temperatur (t14) maximal möglichen Feuchtegehalt der Atmosphäre. Der Feuchtegehalt wird als Dampfdruck in Hektopascal ausgedrückt.

$$\text{Sättigungsdefizit um 14 Uhr} = (E - e_{14}) \quad (2)$$

Der Sättigungsdampfdruck (E) errechnet sich nach der MAGNUS'schen Formel aus:

$$E = 6,1078^{(17,08085 \times t_{14} / (234,175 + t_{14}))} \quad (3)$$

$$\text{potenzielle Verdunstung (ETp)} = \text{Faktor} \times (E - e_{14}) \quad (4)$$

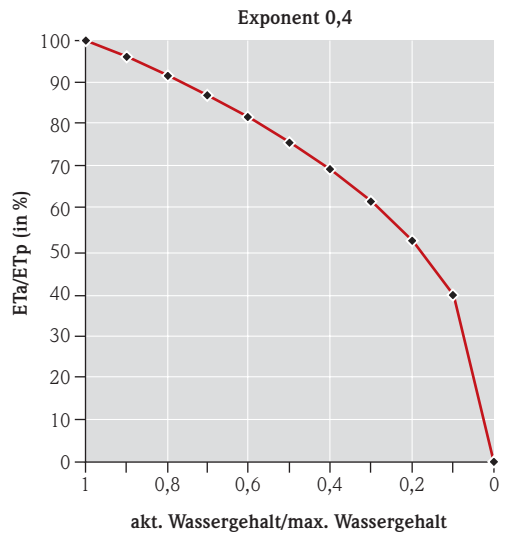
Als Bestandsfaktor werden für begrünte Weinberge die pflanzenspezifischen Faktoren für Gras verwendet. Für offene Bodenpflege wurden Faktoren für die Rebe in der Außenstelle Geisenheim des Geschäftsfeldes Landwirtschaft des Deutschen Wetterdienstes von HOPPMANN (1988) ermittelt. Diese wurden leicht modifiziert übernommen. Der phänologische Tag gibt an, bis zu welchem Tag die Faktoren Gültigkeit haben (vgl. Tab. 3).

$$ETa = (\text{aktuelle nutzbare Bodenfeuchte} / \text{maximale nutzbare Bodenfeuchte})^{0,4} \times ETp \quad (5)$$

Abb. 1 zeigt die resultierende Beziehung zwischen Bodenwassergehalt und angenommener aktuellen Verdunstung. Bei einem aktuellen Wassergehalt von 40 % des nutzbaren Bodenwassers wird die aktuelle Verdunstung mit ca. 70 %

der potentiellen Verdunstung veranschlagt. Mit weiterem Absinken des Bodenwassergehaltes wird die aktuelle Verdunstung zunehmend eingeschränkt und erliegt mit dem Aufbrauchen des nutzbaren Bodenwassers ganz.

Diese Beziehung zeichnete an vielen Messstandorten den Abfall und die Wiederauffüllung der Bodenwassergehalte am besten nach. Teilweise überschätzt sie den Wasserentzug im Vergleich zu den Messdaten. An diesen Standorten sind modifizierende Einflüsse durch Hangwasser oder parallelen Wasserentzug aus tieferen Schich-



**Abb. 1.** Reduktion der potenziellen Verdunstung zur aktuellen Verdunstung in Abhängigkeit vom Verhältnis der aktuellen Bodenfeuchte zur maximalen Bodenfeuchte bezogen auf das nutzbare Bodenwasser.

ten nachgewiesen oder können mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden. Daher wurde hier keine weitere Reduktionsbeziehung berücksichtigt. Eine Überschätzung des Wasserentzugs kann hier eher toleriert werden als eine Unterschätzung. Gesicherte Zusammenhänge verschiedener Reduktionsbeziehungen mit der nutzbaren Feldkapazität oder der Bodenart konnten nicht ermittelt werden.

Der Anteil des Niederschlags, der nicht im Boden versickert, sondern auf der Oberfläche der Pflanzen direkt als so genannte Interzeption verdunstet, wird nicht gesondert berücksichtigt, da damit keine Verbesserung der Simulationsergebnisse erreicht werden konnte.

Die unterschiedlichen Einstrahlungsbedingungen auf stärker geneigten im Vergleich zu ebenen Flächen müssen ebenso berücksichtigt werden, wie der höhere Abflussanteil von Niederschlägen an Hangstandorten.

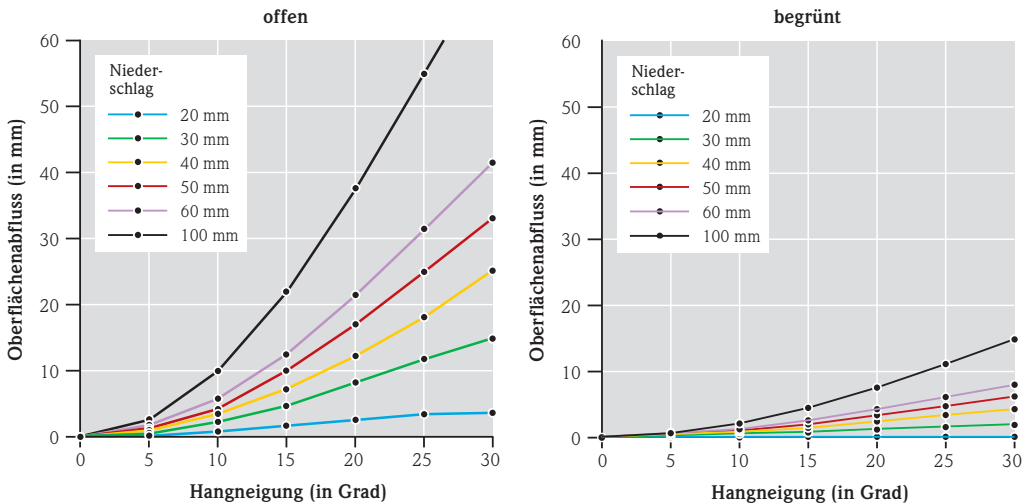
Da die Strahlung bei der Bestimmung der potenziellen Verdunstung nach HAUDE (1963) in die Berechnung nicht direkt eingeht, wurde der unterschiedliche Energiegenuss für die verschiedenen Hangneigungen und Expositionen indirekt

als Faktor eingeführt. Der berechnete Verdunstungswert nach HAUDE (1963) wird entsprechend dem monatlichen Verhältnis der Strahlungsbilanz der geneigten Fläche zur ebenen Fläche korrigiert. Die Berechnungen von JAGOUTZ im Geschäftsfeld Landwirtschaft des Deutschen Wetterdienstes in Geisenheim lagen bereits vor (Tab. 4). Nach SE oder E ausgerichtete Standorte wurden wie SW oder W ausgerichtete Standorte gerechnet. Eine Horizontüberhöhung wurde nicht berücksichtigt.

Der Niederschlag, der ausgedrückt werden kann in  $l/m^2$ , wird auf die größere Fläche der Hänge umgerechnet, denn die Projektion einer horizontal ausgerichteten Fläche von einem Quadratmeter umfasst auf einer geneigten Fläche mehr als einen Quadratmeter.

In Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe, der Hangneigung und der Art der Bodenpflege wird ein Oberflächenabfluss angenommen, so dass der Niederschlag zu einem infiltrierenden Niederschlag reduziert wird (Abb. 2).

Das Simulationsprogramm errechnet die Bodenfeuchtwerte fortlaufend. Es wird nicht von einer generellen Wiederauffüllung des Boden-



**Abb. 2.** Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von Niederschlagshöhe und Hangneigung bei offen gehaltenen und begrüntem Rebanlagen.

**Tab. 4.** Faktoren zur Korrektur der Verdunstung nach HAUDE für verschiedene Hangneigungen und Expositionen.

Die Faktoren wurden aus dem mittleren Verhältnis der Strahlungsbilanz im Vergleich zum ebenen Standort über die Jahre 1988-1992 ermittelt (JAGOUTZ, Agrarmeteorologische Beratungs- und Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes/Geisenheim)

Exposition	Süd	Süd-West	West	Süd	Süd-West	West
Hangneigung						
	Januar			Februar		
10°	1,282	1,205	1,003	1,178	1,128	0,995
20°	1,594	1,430	0,991	1,324	1,225	0,970
30°	1,928	1,663	0,962	1,429	1,285	0,924
	März			April		
10°	1,140	1,103	0,995	1,079	1,056	0,989
20°	1,245	1,173	0,968	1,116	1,077	0,951
30°	1,305	1,205	0,922	1,110	1,060	0,892
	Mai			Juni		
10°	1,042	1,027	0,983	1,001	1,002	0,988
20°	1,038	1,019	0,936	0,970	0,973	0,946
30°	0,987	0,975	0,867	0,900	0,913	0,880
	Juli			August		
10°	1,023	1,01	0,983	1,069	1,04	0,984
20°	1,004	0,993	0,936	1,091	1,05	0,942
30°	0,940	0,939	0,866	1,06	1,03	0,879
	September			Oktober		
10°	1,138	1,09	0,989	1,212	1,146	0,992
20°	1,235	1,155	0,953	1,396	1,262	0,963
30°	1,281	1,168	0,897	1,533	1,33	0,916
	November			Dezember		
10°	1,285	1,198	0,991	1,28	1,201	1,001
20°	1,548	1,371	0,968	1,565	1,379	0,988
30°	1,768	1,503	0,930	1,790	1,523	0,958

wasservorrates im Winter ausgegangen. Dies ist zur Berechnung der jährlichen Sickerwassermengen nötig. Außerdem reichen die in einigen Jahren sehr geringen Winterniederschläge bei einer theoretisch angenommenen Entleerung des Bo-

denwasservorrates im Sommer nicht aus, um alle Böden wieder aufzufüllen.

So wird z. B. in Geisenheim nur in der Hälfte der Jahre ein Winterniederschlag von über 200 mm erreicht, in 10 Prozent der Jahre bleibt

**Tab. 5.** Maximal zu erwartende Winterniederschläge (November–März) in Prozent der Jahre

Percentile	10 %	25 %	50 %
<b>Geisenheim</b>	139 mm	173 mm	207 mm
<b>Bensheim</b>	195 mm	257 mm	322 mm

er sogar unter 139 mm (Tab. 5). Bei dieser Abschätzung zur möglichen Wiederauffüllung ist eine winterliche Verdunstung noch nicht berücksichtigt.

### 3.2. Datengrundlage

Die auftretenden Expositionen und Hangneigungen wurden anhand des topographischen Kartenmaterials erarbeitet. Da die einstrahlungsbedingten Unterschiede bei Hangneigungen kleiner 10 Grad zunehmend geringer werden, wurde in dieser Neigungsklasse keine Exposition ausgewiesen.

Die Einschätzung des Wasserspeichervermögens beruht auf der Karte der nutzbaren Feldkapazität. Es wurden jedoch nur die vier Klassen unter 100 mm, 100–150 mm, 150–200 mm und über 200 mm berücksichtigt. In der nFK-Klasse über 200 mm finden sich Böden mit einer sehr guten Untergrundspeicherung (ZIMMER 1997), so dass hier ein effektiver Wasserentzug aus Schichten tiefer als 1 m einkalkuliert worden ist.

Die klimatologischen Daten stammen aus dem Stationsnetz des Deutschen Wetterdienstes.

Im Rheingau standen die Daten der Niederschlagsstationen von Lorch, Rüdesheim, Johannisberg, Geisenheim, Eltville, Eltville-Steinberg (Hattenheim), Wiesbaden und Hochheim zur Verfügung, an der Bergstraße von Bensheim, Heppenheim und Groß-Umstadt. Die Temperatur wird nur in Lorch, Geisenheim, Wiesbaden, Mainz und Bensheim erfasst, wobei in Lorch und Bensheim die Beobachtung 1989 eingestellt wur-

Bei einer fortlaufenden Simulation besteht jedoch die Gefahr, dass sich ein möglicher Fehler in der Berechnung über viele Jahre hin auswirken kann. Dies kann aber nur stattfinden, wenn keine Wiederauffüllung erfolgt. Standorte mit einer hohen nutzbaren Feldkapazität sind daher davon eher betroffen als die trockenstressgefährdeten Standorte mit niedriger nutzbarer Feldkapazität. Da zeitlich gestreut immer wieder sehr feuchte Winterhalbjahre auftreten, ist eine lang anhaltende Fehlerfortpflanzung nicht möglich.

Eine Diskussion über die Modellierung und ihre Ergebnisse findet sich bei HOFMANN (1996).

de und daher Datenergänzungen mit Hilfe der Nachbarstationen erfolgen mussten. Für Groß-Umstadt liegen für einen Teil der Jahre Daten aus Schafheim-Schlierbach vor. Als Höhenstation konnten Daten von Eltville-Steinberg benutzt werden. Heute wird dort nur noch der Niederschlag gemessen, aber einige Jahre wurden auch die Temperatur und die Luftfeuchte gemessen. Über diese Messdaten war bereits im Geschäftsfeld Landwirtschaft des Deutschen Wetterdienstes in Geisenheim eine vollständige Datenreihe berechnet worden.

Die Temperatur und Dampfdruckdaten der Station Eltville-Steinberg wurden für Höhen oberhalb von 200 m in allen Gebieten eingesetzt. An Niederschlagsdaten standen im Oberen Rheingau für die höheren Lagen durch die Station Eltville-Steinberg gemessene Daten zur Verfügung. Im Raum Geisenheim wurde auf die Station Johannisberg zurückgegriffen. Sie liegt zwar etwas niedriger als 200 m ü. NN, aber die Ausdehnung des Weinbaugebietes ist in diesem Bereich nicht sehr breit. Dieses Gebiet ist besonders durch die Regenschattenlage zum Taunus hin gekennzeichnet, was in den besonders niedrigen Niederschlagsdaten der Station Geisenheim deutlich wird. Die höheren Lagen sind von dieser Situation genauso betroffen, so dass



hier kaum ein höherer Anstieg der Niederschläge zu erwarten ist. Im Raum Lorch ist in den höheren Lagen überhaupt kein Anstieg der Niederschläge zu erwarten, da das Rheintal in die Fläche und Höhenzüge von Hunsrück und Taunus eingeschnitten ist und so keinen Einfluss auf das Niederschlagsverhalten hat. An der Bergstraße und in Groß-Umstadt macht sich der Anstieg des Odenwaldes deutlich in den insgesamt höheren Niederschlägen bemerkbar. Hier wurden aber für die höheren Lagen auch keine höheren Niederschläge in die Berechnung einbezogen.

Die Station Groß-Umstadt liegt mit 168 m ü. NN schon relativ hoch. Bensheim mit 140 m ü. NN zwar weniger, aber durch den sehr steilen Anstieg des Odenwaldes ist das Weinbaugebiet nur sehr schmal ausgebildet, so dass diese Stationen es ausreichend repräsentieren. Eine mit Hilfe der Basisstation errechnete Zunahme der Niederschläge mit der Höhe wäre für die hier benötigten Tageswerte der Niederschläge ausgesprochen problematisch und mit erheblichen Fehlern belastet.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Die Darstellung in der Karte

Auf der Karte wird der prozentuale Anteil der Jahre dargestellt, in denen im Zeitraum von der Blüte bis 40 Tage danach ein mittlerer Restwassergehalt von 40 mm in der Schicht bis 1 m Tiefe unterschritten wird. Die Prozentangaben beziehen sich auf den Zeitraum der Jahre 1961–1990. Auch wenn sich die klimatologischen Werte im Vergleich zur Bezugsperiode etwas ändern sollten, so bleibt in jedem Fall die relative mehr oder weniger Gefährdung der Standorte untereinander erhalten.

Es wurden vier Gefährdungsklassen für das Auftreten von Trockenstress ausgewiesen (Tab. 6). Je geringer der Gefährdungsgrad, umso enger wurden die Klassenbreiten gewählt. Dies ermöglicht eine differenzierte Aussage in den Wertebereichen, in denen die Einführung einer Dauerbegrünung am ehesten möglich ist. Bei einem hohen Risiko sind in zunehmendem Maße spezielle Standortbedingungen und betriebsinterne Gründe für oder

gegen eine Dauerbegrünung ausschlaggebend, die in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt werden können.

Für die Bewertung der einzelnen Stufen der nutzbaren Feldkapazitäten, Hangneigungen und Expositionen ist jeweils das maximal mögliche Trockenstressrisiko entscheidend, d. h. bei einer nutzbaren Feldkapazität von 100–150 mm wird das größte Risiko, das bei einer nutzbaren Feldkapazität von 100 mm besteht, dargestellt.

Nutzbare Feldkapazitäten <100 mm und Hangneigungen >30 Grad wurden ergänzend zur Gefährdungsklasse in eine Sonderklasse S ge-

**Tab. 6.** Einteilung der Gefährdungsklassen

	<b>Prozentualer Anteil der Jahre unter Grenzwert</b>	<b>maximale Anzahl in 30 Jahren</b>
<b>Gefährdungsklasse I:</b>	10 %	3 Jahre
<b>Gefährdungsklasse II:</b>	> 10 %–25 %	8 Jahre
<b>Gefährdungsklasse III:</b>	> 25 %–50 %	15 Jahre
<b>Gefährdungsklasse IV:</b>	> 50 %	mehr als 15 Jahre
<b>Sonderklasse S:</b>	a) bei nFk < 100 mm b) bei Hangneigungen > 30 Grad	minimale Anzahl in 30 Jahren je nach Gefährdungsklasse

stellt. Bei ihnen ist das Mindestrisiko ausgedrückt, da bei abnehmender Speicherkapazität und zunehmender Hangneigung die Anzahl der betroffenen Jahre sehr stark zunimmt. Diese Grenzbereiche werden aber kaum noch bewirt-

schaftet. Ist das Mindestrisiko auf diesen Standorten kleiner als 50 % der Jahre, wurden sie graphisch herausgehoben, da bei einer Verschlechterung der Standortbedingungen sehr schnell mehr als 50 % der Jahre erreicht werden können.

## 4.2 Die räumliche Verteilung des Trockenstressrisikos

In der Karte zum Trockenstressrisiko sind für die einzelnen Teilräume die aus den Berechnungen resultierenden Gefährdungsklassen dargestellt.

Die tiefgründigen Böden der nFK-Klasse >200 mm tragen erwartungsgemäß das geringste Risiko für Trockenstress. Allerdings können im Raum Geisenheim, Hochheim und Lorch auch hier noch bis zu 25 % der Jahre betroffen sein. In den Höhenlagen und allen anderen Gebieten sind maximal 10 % der Jahre betroffen.

In der Gefährdungsklasse liegen die Böden der nFK-Klasse 150–200 mm in Groß-Umstadt, den Höhenbereichen der Bergstraße und in westexponierten Lagen der höheren Gebiete von Lorch und dem Raum Eltville, in den Höhenlagen im Raum Geisenheim in allen bis 10 Grad geneigten Lagen und darüber hinaus in Westexposition. Sonst nimmt diese Bodengruppe die Gefährdungsklasse II ein, erreicht aber in den tieferen Lagen im Raum Geisenheim und Hochheim bereits die Klasse III. Im Raum Lorch liegen nur steile Südhänge über 20 Grad Hangneigung in der Gefährdungsklasse III.

Die nFK-Klasse 100–150 mm liegt in den Höhenlagen in Klasse II. Lediglich im Oberen Rheingau im Raum Geisenheim und Eltville wird bereits die Gefährdungsklasse III erreicht. In den Tieflagen von Lorch, Geisenheim, Hochheim und Eltville liegen sie in Klasse IV, wobei im Raum Eltville die Lagen unter 10 Grad Neigung und westexponierte Lagen unter 20 Grad noch in der Klasse III liegen. In den niederschlagsreicheren Tieflagen von Bergstraße und Groß-Umstadt wird die Gefährdungsklasse III erreicht.

Die Böden mit einer nutzbaren Feldkapazität unter 100 mm sind in allen Gebieten stark trockenstressgefährdet. So lange die Speicherkapazität nicht wesentlich unter 100 mm fällt, kann man sich noch an den Werten der nFK-Klasse 100–150 mm orientieren, aber mit zunehmend geringer werdender Speicherleistung verschlechtern sich die Standortbedingungen deutlich. Um Fehleinschätzungen zu vermeiden wurden daher Bereiche, die bei 100 mm noch nicht in der höchsten Gefährdungsklasse liegen, auf der Karte gesondert gekennzeichnet (s. Kartenlegende). Ähnlich gilt dies für Hangstandorte über 30 Grad Neigung.

Die Einschätzung des Trockenstressrisikos gibt deutlich die unterschiedlichen klimatologischen Gegebenheiten des Gebietes wieder. Die trockeneren warmen Tieflagen insbesondere im Raum Geisenheim und Hochheim zeigen die höchsten Anteile im Bereich hoher Gefährdungsklassen. Die etwas kühleren und z. T. feuchteren Hochlagen haben in der gleichen nFK-Klasse meist auch eine geringere Gefährdung.

Das niederschlagsreiche, aber etwas kühlere Gebiet von Groß-Umstadt zeigt ein noch geringeres Trockenstressrisiko als die ebenfalls niederschlagsreiche Bergstraße mit etwas höheren Temperaturen.

Die unterschiedliche Verteilung der Bodengruppen modifiziert und verstärkt zum Teil dieses Bild. So finden sich Böden der niedrigeren nFK-Klassen bis 150 mm häufiger im Unteren Rheingau bei Lorch und im Gebiet um Geisenheim, während Böden der nFK-Klassen über 150 mm im Raum Eltville häufig vertreten sind.

Die Böden mit sehr geringen Speicherleistungen kleiner als 100 mm finden sich hauptsächlich in den Höhenlagen.

In den kaum oder leicht geneigten, aber weitläufig gleich ausgerichteten Flächen des Oberen Rheingaus wird die Einschätzung des Trockenstressrisikos vor allem von der Niederschlagsverteilung und der nutzbaren Feldkapazität gesteuert. Aber selbst an der Bergstraße und im Raum Lorch ist der Einfluss von Exposition und Hangneigung weitaus geringer als erwartet. Die Unterschiede sind nur in einigen Fällen groß genug, dass es zu einem Überschreiten der Klassengrenzen kommt, auch wenn die Anzahl der betroffenen Jahre durchaus verschieden ist.

## 5. Bewertung

Kann die Rebe unter Trockenstressbedingungen Wasser aus dem tieferen Untergrund entziehen, so müssen die berechneten Bodenwassergehalte in der Schicht bis 1 m Tiefe am Standort nicht unbedingt erreicht werden. Die Rebe kann bereits vor einer völligen Entleerung dieses Profils ihren Wasserbedarf aus den unteren Schichten ergänzen. Sie muss der oberen Schicht daher nicht bis zum Welkepunkt Wasser entziehen. Die Durchwurzelbarkeit und Wasserspeicherung im tieferen Untergrund haben so indirekt Einfluss auf die realen Bodenfeuchtwerte in der oberen Bodenschicht bis 1 m Tiefe. Die hier berechneten Werte zeigen aber, ob die Rebe ohne eine Zusatzversorgung auskommen kann bzw. wie stark sie auf eine solche angewiesen wäre.

Eine genaue Standorteinschätzung kann nur vor Ort erfolgen. Durch die einzelnen nFK-Klassen sind zwar die hauptsächlich vertretenen Böden repräsentiert, aber es können immer wieder lokal schlechtere oder bessere Standorteigenschaften auftreten. Durch stauende Schichten im tieferen Untergrund oder regelmäßigen Hangwasserzufluss kann real auch eine bessere Wasserversorgung vorhanden sein, als sie aufgrund

Größere Unterschiede in der Einstrahlung bestehen vor allem im Frühjahr und im Herbst, während bei hohem Sonnenstand steile Südhänge eher schlechtere Einstrahlungsbedingungen als flache Lagen haben. Bis zum Zeitpunkt der Blüte resultieren unterschiedliche Verdunstungssummen daher lediglich aus dem höheren Energiegehalt im Frühjahr, in dem wegen der niedrigeren Temperaturen auch die Verdunstung meist niedriger ausfällt als in den heißen Sommertagen. Zum Reifebeginn macht sich der Expositionsunterschied etwas stärker bemerkbar. Bei der Berechnung hat die Reduktionsfunktion, die die potenzielle Verdunstung zur aktuellen Verdunstung reduziert, zusammen mit der betrachteten Entzugstiefe großen Einfluss auf die Ergebnisse.

der nutzbaren Feldkapazität zu erwarten wäre. Weiterhin kann an extrem windexponierten Standorten eine höhere Verdunstung auftreten, als durch das Modell angenommen wird.

Eine Einstufung in begrünungsfähig, bedingt begrünungsfähig oder nicht begrünungsfähig wurde nicht vorgenommen, da letztendlich betriebswirtschaftliche Überlegungen für das Eingehen oder Nichteingehen eines Risikos entscheidend sind.

Es existieren z. T. auch Standorte der Gefährdungsklasse IV, die dauerbegrünt sind. Bei gut etablierten Anlagen, geringem Anschnitt und in Kauf genommenen niedrigen Erträgen kann auch dies möglich sein, ist aber nur in Ausnahmefällen wirtschaftlich vertretbar.

In Abhängigkeit von der Gefährdungsklasse sollten jedoch folgende Punkte bei einer Entscheidung über eine Dauerbegrünung berücksichtigt werden.

- Altanlagen mit einem gut entwickelten Wurzelsystem sind weniger gefährdet als Junganlagen.
- Altanlagen können tief reichende Wurzeln entwickelt haben, wobei dies auf Standorten mit

Lockergestein im Untergrund eher möglich ist, als auf Standorten über Festgestein.

- Riesling-Reben zeigen bei Trockenstress geringere Auswirkungen als viele andere Rebsorten, wie z. B. der Spätburgunder oder gar der Müller-Thurgau.

Je höher die Gefährdungsklasse:

- umso sorgfältiger muss die Auswahl der Begrünpflanzen erfolgen.  
Von Leguminosen, natürlicher Dauerbegrü-  
nung bis zu speziellen Trockenrasenmischun-  
gen besteht eine breite Palette der Möglich-  
keiten.
- umso mehr muss der Deckungsgrad der Begrü-  
nung reduziert werden.  
Angefangen bei einer flächendeckenden Ein-  
saat, kann der Unterstockbereich oder jede  
zweite Reihe unbegrünt gelassen werden.

- umso kürzer muss die Begrü-  
nung insbesondere im Frühjahr gehalten werden.  
Von einer extensiven Pflege muss zu zuneh-  
mend häufigerem Mulchen übergegangen  
werden.
- umso vorsichtiger muss die Umstellung der  
Anlage erfolgen.

So kann der Bedeckungsgrad sukzessive er-  
höht werden. Nicht geklärt ist, inwieweit die  
verschiedenen Unterlagssorten einen Einfluss  
auf die Trockenstressgefährdung der Reben  
haben.

Wechselweise sind verschiedene Kombinati-  
onen möglich und die Wahl letztendlich von  
den betrieblichen Gegebenheiten abhängig.  
Auf trockenstressgefährdeten Standorten  
muss insbesondere das Mulchen der Begrü-  
nung sichergestellt sein.

## 6. Schriftenverzeichnis

- BAIER, W. & ROBERTSON, G.W. (1966): A new versatile soil moisture budget model. – *Canadian journal of plant science*, **46**: 299–315; Ottawa.
- BERAN, N. (1986): Die Bedeutung der Bodenwasser-  
versorgung in den einzelnen Entwicklungsstadien  
der Beeren und ihr Einfluss auf die Ertrags- und  
Qualitätsbildung der Rebe. – *Die Weinwissen-  
schaft*, **41**: 75–101, 219–249; Mainz.
- BERTHOLD, G. (1991): Untersuchungen zur N-Dynamik  
weinbaulich genutzter Flächen unter besonderer  
Berücksichtigung der Bewirtschaftungsform. – *Gei-  
senheimer Ber.*, **7**; Geisenheim.
- BETTNER, W. (1979): Der Wasserhaushalt der Rebe. –  
*Deutsches Weinbaujahrbuch*; Waldkirch.
- BREIL, K. (1991): Dauerbegrü-  
nung im Weinbau – Er-  
kenntnisse nach 2 Trockenjahren. – *Der Deutsche  
Weinbau*, **12**: 470–471; Darmstadt.
- CAMPBELL, G.S. (1985): Soil Physics with Basic. – *Deve-  
lopment in Soil Science*, **14**: 6–48.
- CURRLE, O., BAUER, O., HOFÄCKER, W., SCHUMANN, F. &  
FRISCH, W. (1983): *Biologie der Rebe*. – Neustadt  
an der Weinstraße.
- EMDE, K. (1992): Experimentelle Untersuchungen zu  
Oberflächenabfluss und Bodenaustrag in Verbindung  
mit Starkregen bei verschiedenen Bewirtschaftungs-  
systemen in Weinbergsarealen des Oberen Rhein-  
gaaues. – *Geisenheimer Ber.*, **12**: 248 S.; Geisenheim.
- ERNSTBERGER, H. (1987): Bestimmung der aktuellen  
Evapotranspiration unterschiedlich genutzter  
Standorte mittels der Verfahren „HAUDE“- und  
„PENMAN“-Bodenwasserhaushalt. – *Mitt. Dtsch.  
Bdcl. Ges.*, **55**: 861–866; Oldenburg.
- GOMMES, R.A. & ROBERTSON, G.W. (1983): A simplified  
3-zone versatile soil water budget. – In: GOMMES,  
R.A. (ed.): *Pocket computers in agrometeorology*. –  
FAO Plant Production and protection paper, **45**:  
107–124; Rome.
- HAUDE, W. (1963): Zur Bestimmung der Verdunstung  
auf möglichst einfache Weise. – *Mitteilungen des  
Deutschen Wetterdienstes*, **11**; Offenbach.
- HOFMANN, B. (1996): Zeitliche und räumliche Einflüsse  
bei einer flächenhaften Abschätzung des Trocken-  
stressrisikos von Rebanlagen. – *Tagungsband des XI.  
Kolloquiums des internat. Arbeitskreises „Begrü-  
nung im Weinbau“*, 18.–31.08.1996: 35–40.; Kaltern.
- HOPPMANN, D. (1988): Der Einfluss von Jahreswritte-  
rung und Standort auf die Mostgewichte der Reb-  
sorte Riesling und Müller-Thurgau (*Vitis vinifera* L.).

- Berichte des Deutschen Wetterdienstes, **176**: 213 S.; Offenbach.
- HOPPMANN, D. & HÜSTER, H. (1988a): Weinbergsbegrü-  
nung unter Berücksichtigung des Wasserbedarfs. –  
Der Deutsche Weinbau, **43**: 594–597; Darmstadt.
- HOPPMANN, D. & HÜSTER, H. (1988b): 100 Jahre Klimabe-  
obachtungen im Rheingau. Vergleich mit Ertrags- und  
Qualitätserhebungen an der Rebsorte Weißer Ries-  
ling. – Die Weinwissenschaft, **43**: 147–160; Mainz.
- HÜSTER, H. (1993): A long-term simulation of the soil  
water budget in tilled and grass covered vineyards. –  
Die Weinwissenschaft, **48**: 127–129; Mainz.
- MÜLLER, K. (1980): Untersuchungen über den Einfluss  
der Zusatzberegnung im Weinbau auf Muschelkalk-  
böden in Franken. – Bonn.
- PENMAN, H. (1948): Natural Evapotranspiration from  
open Water, bare Soil and Grass. – Proc. Roy. Soc.,  
Ser. A., **193**: 120–145; London.
- SCHWAB, A. (1996): Die Untypische Alterungsnote im  
Wein, Teil IV: Beeinflussung durch weinbauliche  
Maßnahmen. – Rebe und Wein: 181–187; Weins-  
berg.
- SMART, R.E. COOMBE, B. (1983): Water relations of  
grapevines. – In: KOSLOVSKI (ed.): Water Deficits  
and Plant Growth, **Vol. VII**; London.
- SPONAGEL, H. (1980): Zur Bestimmung der realen Eva-  
potranspiration landwirtschaftlicher Kulturpflan-  
zen. – Geol. Jb., **F 9**; Hannover.
- STEINBERG, B. (1968): Untersuchungen über die Wurzel-  
spitzenverteilung bei Propfbreben (*Vitis vinifera* L.).  
– Gießen.
- ZIMMER, T. (1997): Untersuchungen zum Wasserhaus-  
halt von Weinbergsböden im Rheingau. – Geisen-  
heimer Ber., **35**: 232 S.; Geisenheim.