

Umweltgerechte Technik für den Steillagenweinbau

Axel Böhme



Herausgeber

Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) ■ Darmstadt

Autor

Dipl.-Ing. Axel Böhme
Birkeneck 53 ▪ 25479 Ellerau

Die Veröffentlichung wurde als Dissertation an der Justus-Liebig-Universität Gießen im Fachbereich 09 Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement, Institut für Landtechnik, Prof. Dr. Hermann Seufert, eingereicht. Die Untersuchungen erfolgten in der Forschungsanstalt Geisenheim Fachgebiet Technik.

Die dargestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsprojektes erlangt, das über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) durch das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) unter Förderkennzeichen 99HS012 gefördert wurde.

© 2003

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)
Bartningstraße 49 ▪ 64289 Darmstadt
Telefon (06151) 7001-0 ▪ Fax (06151) 7001-123
E-Mail: ktbl@ktbl.de ▪ <http://www.ktbl.de>

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz,
Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) ▪ Bonn

Redaktion
Dr. Albrecht Achilles ▪ KTBL

Vertrieb
KTBL ▪ Darmstadt

Printed in Germany

Vorwort

Im Vergleich mit dem konkurrierenden Weinbau der Ebene bestehen für den Steillagenweinbau nach wie vor erhebliche Bewirtschaftungsnachteile. Um den kulturlandschaftsprägenden Weinbau entlang der Flusstäler zu erhalten, bedarf es daher weiterer Anstrengungen. In einem Geisenheimer Vorhaben mit dem Titel „Optimierung des Weinbaus in Steillagen unter besonderer Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte“ geht es um einen ganzheitlichen Ansatz, den Weinbau auf den klimatisch begünstigten Seilzuglagen unter Berücksichtigung zeitgemäßer ökologischer Anforderungen wettbewerbsfähig zu machen.

Eine entscheidende Rolle kommt im Rahmen dieser Gesamtzielsetzung dabei den in dieser Arbeit untersuchten neuen Mechanisierungslösungen für die Seilzugtechnik zu. Die Schaffung von ergonomisch verbesserten Einmann-Arbeitsverfahren für nahezu alle weinbaulich notwendigen Arbeitsschritte stellt einen wichtigen Schritt dar. Ein zweites ergibt sich aus der auch für Reihenkulturen in Steillagen möglichen Anwendung (D)GPS-gesteuerter teilflächenspezifischer Produktionsprozesse. Mit hierzu jeweils umfangreichen Untersuchungen wird die Realisierbarkeit für den praktischen Weinbau belegt.

Herrn Prof. Dr. Hermann Seufert, Institut für Landtechnik der Justus-Liebig-Universität Gießen gebührt an dieser Stelle unser Dank für die Förderung und wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit. Dem Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft danken wir für die finanzielle Förderung des Vorhabens. Für die Verbreitung der Ergebnisse in seiner Schriftenreihe sei dem KTBK gedankt.

FACHGEBIET TECHNIK
FORSCHUNGSANSTALT GEISENHEIM

Prof. Dr. Werner Rühling

Inhalt

1	Einführung	7
1.1	Steillagenweibau – Abgrenzung und Bedeutung	7
1.2	Aufgabenstellung	8
2	Weinbau in Steillagen – Anbau und Mechanisierung	9
2.1	Anbau	9
2.2	Mechanisierung	11
2.2.1	Direktzug	11
2.2.2	Seilzug	12
2.2.3	Mechanisierung unzureichend erschlossener Steillagen	13
2.2.4	Vergleich der Mechanisierungsmöglichkeiten	13
3	Untersuchung von Seilzugmechanisierungssystemen - Material und Methoden und Ergebnisse	15
3.1	Beschreibung der Seilzugmechanisierungssysteme	15
3.1.1	Entwicklung	15
3.1.2	Grundlegender Aufbau und Betrieb	17
3.1.3	Winde – Seil – Windensteuerung – Funk	18
3.1.4	Hydrauliksystem	20
3.1.5	Die untersuchten SMS-Bauarten	21
3.1.6	Geräteträger	21
3.1.7	Arbeitsgeräte	22
3.2	Arbeitszeitbedarf und Arbeitswirtschaftlichkeit	24
3.2.1	Grundlagen	24
3.2.2	Durchführung der Arbeitszeituntersuchung	24
3.2.2.1	Gliederung der Zeitelemente	25
3.2.2.2	Ermittlung der Teilzeiten	25
3.2.2.3	Berechnung des Gesamtarbeitszeitbedarfs aus Teilzeiten	26
3.2.2.4	Probleme beim Vergleich von Gesamtarbeitszeiten	28
3.2.3	Ergebnisse	28
3.2.3.1	Rüstzeiten	28
3.2.3.2	Wegezeiten	28
3.2.3.3	Verlustzeiten	29
3.2.3.4	Versorgungszeiten	29
3.2.3.5	Wendezeiten	30
3.2.3.6	Arbeitsgeschwindigkeit als Bestimmungsgröße der Hauptzeiten	31
3.2.3.7	Gesamtarbeitszeit	32
3.3	Arbeitsqualität – Anwendersicherheit – Betriebssicherheit	33
3.3.1	Arbeitsqualität beim Mulchen und Laubschneiden	33
3.3.2	Arbeitsqualität beim Pflanzenschutz	34
3.3.2.1	Vorgehensweise	35
3.3.2.2	Ergebnisse	37
3.3.3	Anwendersicherheit	40
3.3.4	Betriebssicherheit und Handhabung	42
4	Messungen zum Leistungsbedarf und Energieverbrauch an Seilzugmechanisierungs	45
4.1	Leistungsbedarf	45
4.1.1	Grundlagen	45
4.1.2	Messungen	46
4.1.2.1	Messwertaufnehmer	46
4.1.2.2	Leistungsmessungen unter kontrollierten Bedingungen	47
4.1.2.3	Leistungsmessungen im Feld	48

4.1.3	Ergebnisse	49
4.1.3.1	Zugkraft- und Zugleistungsbedarf	49
4.1.3.2	Antriebsleistungsbedarf der Winde mit Verstellpumpe	51
4.1.3.3	Wirkungsgrade	52
4.1.3.4	Vergleich der Hydrauliksysteme	52
4.1.3.5	Wahl der Pumpendrehzahl	53
4.1.3.6	Leistungsbedarf der Anbaugeräte	54
4.2	Energie- und Kraftstoffverbrauch	54
4.2.1	Vorgehensweise	54
4.2.2	Berechnung	56
4.2.3	Ergebnisse	56
5	Ortsbestimmung mit Satelliten in Steillagen und Reihenkulturen	62
5.1	Ortsbestimmung mit GPS	62
5.1.1	Funktionsweise des GPS	63
5.1.2	Ungenauigkeiten beim GPS	63
5.1.3	GPS Empfänger	64
5.2	Untersuchungen zum Einsatz von GPS in Reihenkulturen und Steillagen	66
5.2.1	Messaufbau	66
5.2.2	Messungen zur Beurteilung der Genauigkeit	67
5.2.2.1	Vorgehensweise	67
5.2.2.2	Ergebnisse	69
5.2.3	Zugkraftmessungen in Verbindung mit GPS	69
5.2.3.1	Vorgehensweise	70
5.2.3.2	Ergebnisse	70
5.2.4	Arbeitszeitaufnahme	73
5.2.4.1	Vorgehensweise	73
5.2.4.2	Ergebnisse	73
6	Kosten der Steillagentechnik	76
6.1	Abschreibung und Zinssatz	76
6.2	Betriebsstoffe	77
6.3	Unterhaltskosten	78
6.4	Kalkulation	78
7	Diskussion	80
8	Zusammenfassung	86
9	Englischsprachige Zusammenfassung (Summary)	88
	Literatur- und Quellenverzeichnis	92
	Anhang 1–8	94

1 Einführung

Weinreben (*Vitis* spp) werden auf ca. $7,3 \cdot 10^6$ ha weltweit zur Traubenerzeugung angebaut. Der überwiegende Teil der Traubenernte von jährlich etwa $62,0 \cdot 10^6$ t wird zu Wein verarbeitet. In Deutschland wurde der Weinbau von den Römern eingeführt. Unter den hier vorherrschenden Klimabedingungen haben sich die Steilhänge entlang der Flussläufe als geeignete Standorte für den Weinbau erwiesen. Heute machen Steillagen noch ca. 15 % der deutschen Rebfläche von $101\,573$ ha aus¹. Einen Überblick über den Umfang des Steillagenweinbaus bietet Tabelle 1:

Weinbau wird in Steillagen nicht nur wegen der kleinklimatischen Vorteile in Höhenlagen oder hohen Breiten betrieben, oft sind Steillagen, beispielsweise auf Inseln, die einzigen verfügbaren Anbaustandorte und Reben wegen ihrer geringen Bodenansprüche die einzige anbauwürdige Kultur.

1.1 Steillagenweinbau – Abgrenzung und Bedeutung

Als Steillagen gelten im Allgemeinen Rebanlagen mit einer Hangneigung von mehr als 30 %². Weiterhin werden Steillagen danach abgegrenzt, in wie weit sie noch mit dem Schlepper im Direktzug bewirtschaftet werden können. Unter günstigen Bedingungen ist der Schleppereinsatz bis ca. 60 % Hangneigung möglich. Ungeeignete Anbausysteme, offener und feuchter Boden, Terrassie-

rung und fehlende Zuwegung können jedoch zur Verschiebung der Direktzuggrenze auf unter 40 % Hangneigung führen.

In der Ebene ist der Weinbau heute weitgehend mechanisiert. In Steillagen müssen hingegen die meisten Arbeiten noch von Hand erledigt werden. Daraus folgt, dass der Arbeitszeitaufwand bei der Bewirtschaftung von Steillagen um ein Vielfaches höher liegt als in der Ebene (Tab. 2):

In den Preisen für Wein aus Steillagen spiegelt sich der hohe Arbeitsaufwand nicht wider, trotz der oft beschworenen Qualität dieser Weine. Die Folge ist ein stetiger Rückgang des Steillagenweinbaus. In den 7 Jahren von 1972/73 bis 1979/80 gingen die mit Seilzug bewirtschafteten Flächen um fast 20 % zurück³.

Durch Mechanisierung des Steillagenweinbaus können die Kosten gesenkt und damit die Abnahme des Steillagenweinbaus aufgehalten werden. Die Ziele dabei sind,

- das vom Steillagenweinbau geprägte, jahrhundertealte Kulturlandschaftsbild zu erhalten, und
- die mit dem Weinbau verbundenen Arbeitsplätze zu sichern und Abwanderungen aus den Weinbaugebieten zu verhindern.

Umstritten ist, in wie weit das Kulturlandschaftsbild von den teilweise vorherrschenden Terrassen geprägt wird. Der Umbau von Rebflächen im Rahmen von Flurbereinigungsmaßnahmen, um sie für eine Mechanisierung zu erschließen, könnte dann im Widerspruch zum Erhalt der Kulturlandschaft stehen.

Tab. 1: Schätzung der Weinbauflächen in Steillagen (Quellen: Deutscher Weinbauverband (2002), Statistisches Bundesamt (1992), eigene Schätzung)

Land	Anbauggebiete	Fläche in ha
Portugal	Douro-Tal, Madeira	40 000
Italien	Aosta, Cinque Terra, Colli Apuani, Colli di Luni, Elba, Ischia	15 000
Deutschland	Mosel-Saar-Ruwer, Mittelrhein, Baden, Württemberg	15 000
Schweiz		7 000
Österreich	Wachau, Steiermark	3 500
Spanien	Galizien, Ribeira Sacra	3 000

Tab. 2: Arbeitszeitaufwand unterschiedlicher Bewirtschaftungsformen (Quelle: RÜHLING 1999)

Australischer Weinbau (Minimalschnitt)	70 h/ha
Deutscher Weinbau in der Ebene (maschinelle Ernte)	300 h/ha
Weinbau in Hanglagen, unterhalb der Direktzuggrenze (Handlese)	600 h/ha
Steillagenweinbau mit Seilzug	1 000 h/ha
Weinbau in terrassierten, unerschlossenen Steillagen	1 400 h/ha

1.2 Aufgabenstellung

Diese Arbeit ist Teil des vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft geförderten Projekts „Optimierte Systeme für den Steillagenweinbau unter besonderer Berücksichtigung der Ökologie“. Im Mittelpunkt des Projekts steht die Untersuchung von Bodenpflegesystemen, die auf einer Ganzflächenbegrünung beruhen. Weiterhin werden Tropfbewässerungssysteme zur Ertrags- und Qualitätssicherung und arbeitssparende Erziehungssysteme untersucht. Mit dem Ziel, Umweltauswirkungen gering zu halten und Kosten zu senken, um die Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern, werden neue Technologien zur Bewirtschaftung von Steillagen beurteilt.

In der Vergangenheit gab es verschiedene Ansätze, die Arbeiten in Steillagen, die nicht mit dem Traktor befahren werden können, zu mechanisieren. Seilzugmechanisierungssysteme konnten sich am Markt behaupten. Um sie zu beurteilen, werden in dieser Arbeit Arbeitszeitbedarf, Arbeitsqualität, Leistungsbedarf und Kraftstoffverbrauch der neuen Seilzugmechanisierungssysteme untersucht. Die Einführung von „Precision Farming“-Technologien ist mit der Erwartung verbunden, Umweltauswirkungen bei der Landbewirtschaftung zu verringern und Kosten zu senken. Eine Schlüsseltechnologie dabei ist die Ortsbestimmung durch Satelliten. In wie weit diese Technologie für „Precision Viticulture“ im Weinbau geeignet ist wurde unter Steillagenbedingungen erprobt.

¹ Anbauflächen, Erträge aus: FAO (2001): FAOSTAT Agriculture Data. Steillagenfläche: Eigene Schätzung

² Vgl.: Fregoni, M. (2001): La Viti-Viniculture en Europe et dans le monde: Perspectives et risques, in: Viticulture de montagne (CERVIM) 12, 3-5

³ Statistisches Bundesamt (1982): Weinbauerhebung 1979/80

2 Weinbau in Steillagen – Anbau und Mechanisierung

Im Folgenden werden die Grundzüge des modernen Steillagenweinbaus dargestellt und die zur Mechanisierung von Steillagen eingesetzte Technik aufgezeigt. Ertrag und Qualität der Weintrauben werden von Boden und Klima bestimmt. Beim Weinbau werden diese Standortbedingungen oft mit dem Begriff „Terroir“ umschrieben¹.

2.1 Anbau

Dem Klima kommt beim Weinbau besondere Bedeutung zu. Der begrenzende Faktor für erfolgreichen Weinbau in höheren Breiten und größeren Höhen ist zu niedrige Temperatur. Entscheidend für ein günstiges Klein- oder Bestandsklima ist die Sonneneinstrahlung. Darin liegt der Hauptvorteil des Weinanbaus in Steillagen: Bei flachstehender Sonne (auf der Nordhalbkugel insbesondere im Herbst zur Zeit der Beerenreife) erhalten in Sonnenrichtung geneigte Rebflächen weit mehr Sonneneinstrahlung als ebene Flächen.

Bei der Anlage eines Steillagenweinbergs werden zur Vorbereitung des Geländes zwei Ansätze verfolgt. Entweder wird die Rebanlage unter Beibehaltung der natürlichen Konturen des Hangs ausgerichtet, oder der Hang wird terrassiert, um die Rebanlage auf ebenen, wenig geneigten Flächen errichten zu können. Die Anlage des Steillagenweinbergs bestimmt die Mechanisierungsmöglichkeiten. Zu Zeiten, als die Mechanisierung der Weinbergsarbeiten noch nicht weit fortgeschritten war, bot die Terrassierung den Vorteil, dass man sich bei der Erledigung der Handarbeiten auf einer Ebene bewegen konnte. Mühsame Anstiege während der Arbeit entfielen. Auf den in der Vergangenheit angelegten Terrassen wurden die Reben meist in mehreren Reihen gepflanzt, Zuwegungen für Maschinen sind oft nicht vorhanden.

Bei den heute noch in Italien und einigen deutschen Bundesländern geförderten Querterrassen² wird auf jede Terrasse eine Rebreihe auf die dem Hang abgewandte Terrassenseite gepflanzt³. Sind die Terrassen breit genug, können sie noch mit Schmalspurschleppern oder kleinen handgeführten Raupen befahren werden. Der Bau der Terrassen erfordert umfangreiche Erdarbeiten. Je steiler

der Hang ist, umso mehr Boden muss dabei bewegt werden. Die Mächtigkeit des Bodens wird so zum begrenzenden Faktor beim Terrassenbau⁴. Bei gleichbleibender Terrassengröße nehmen mit zunehmender Hangneigung die Böschungen immer mehr Raum ein und der verfügbare Pflanzraum nimmt ab. Auch wenn die Böschungen im Allgemeinen begrünt sind, besteht die Gefahr, dass sie großflächig abrutschen.

In Rebanlagen, die an den natürlichen Konturen des Hangs ausgerichtet sind, werden die Reben überwiegend in Reihen gepflanzt, die der Falllinie folgen. Das ermöglicht verschiedene Mechanisierungslösungen. Seltener erfolgt die Anordnung der Reizeilen quer zum Hang. Auch in Steillagen, in denen die Reben dem Hangverlauf folgend gepflanzt sind, werden zur Erschließung meist umfassende Erdbauarbeiten durchgeführt. Neben der Gestaltung der Wasserführung steht dabei der Wegebau im Vordergrund. Dabei entsprechen die in der Vergangenheit angelegten Wege und Stützmauern oft nicht mehr den Anforderungen moderner Mechanisierung an Zuwegungen und Vorgehende.

Das Anbausystem kennzeichnet die äußerliche Gestaltung einer Rebanlage. Elemente des Anbausystems sind das Pflanzsystem, das Bodenpflegesystem und das Erziehungssystem mit dem Unterstützungsgerüst. Mit den Zielen Ertrags- und Qualitätssicherung sollen durch das Anbausystem Laubmasse und Trauben in einem optimalen Verhältnis gehalten werden, ein für die Traubentwicklung günstiges Kleinklima erreicht werden und Möglichkeiten zur Mechanisierung geschaffen werden, um den Arbeitsaufwand zu verringern.

Das Pflanzsystem bestimmt die Pflanzdichte durch den Reihen- und Stockabstand. Der Reihenabstand wird entsprechend der angestrebten Mechanisierung gewählt. 1,6 m sind gerade ausreichend für eine Bearbeitung mit Schmalspurschleppern und modernen Seilzuggeräten, besser ist ein Abstand von 2 m. In Weitraumanlagen mit Reihenabständen von 2,5 bis 3 m können auch Normalspurschlepper eingesetzt werden. Hohe Reihenabstände bergen jedoch die Gefahr ungünstiger Blatt-Frucht-Verhältnisse und dadurch Überlastung des Rebstocks. Zum sicheren Befahren einer Rebanlage muss der Reihenabstand mindestens 0,6 m weiter gewählt werden als die äußere Schlepperbreite.

Die Bodenpflegesysteme reichen von offener Bodenhaltung über Teilzeitbegrünung und Teilflächenbegrünung bis zu ganzflächiger Dauerbegrünung und Mulchabdeckung. Vorteile einer dauerhaften ganzflächigen Bodenbedeckung durch eine eingebrachte Mulchschicht oder durch Mulchen einer Begrünung und den Verzicht auf Bodenbearbeitung sind:

- Die Infiltration wird erhöht und Erosion eingeschränkt (dies ist vor allem für Steillagen von Bedeutung)
- Organische Masse wird im Boden angereichert, die Bodenstruktur dauerhaft verbessert und Infiltration, Wasserspeichervermögen, Bodenleben und Bodengare gefördert
- Die Befahrbarkeit mit dem Schlepper wird verbessert und größere Steigungen ermöglicht
- Durch die Aussaat und Mulchwirtschaft von Leguminosen kann der Stickstoffbedarf der Reben ohne mineralische Zusatzdüngung abgedeckt werden⁵
- Blüten kräuterreicher Begrünung fördern nützliche Insekten⁶
- Die Kapillarwirkung wird unterbrochen und die Evapotranspiration eingeschränkt
Durch Wegfall der Bodenbearbeitung werden hohe Zugleistungen überflüssig

Gegen Begrünung im Weinberg werden hauptsächlich zwei Gründe angeführt: Wasserkonkurrenz durch die Begrünung und Bodenverdichtungen wegen der ausbleibenden Bodenbearbeitung. Dagegen steht, dass offener Boden grundsätzlich anfälliger für Verdichtungen ist – im begrünten Boden sorgen vermehrtes Bodenleben und Wurzeln für Lockerung. Hinzu kommt, dass die Gewichtsbelastung der in Steillagen eingesetzten Maschinen im Allgemeinen gering ist.

Richtig ist, dass während anhaltender Trockenzeiten Bodenwasservorräte soweit abnehmen können, dass das Pflanzenwachstum beeinträchtigt ist. Besonders betroffen davon sind Hanglagen. Die Begrünung konkurriert dann mit den Reben um Wasser. Soll die Wasserkonkurrenz jedoch durch Bodenbearbeitung ausgeschlossen werden, wird damit gleichzeitig die Mineralisierung organischer Substanz gefördert, wodurch das Wasserspeichervermögen des Bodens abnimmt. Ursache für Wassermangel ist nicht die Bodenbedeckung, die die Grundlage moderner Bodenpflegesysteme bildet, sondern die lebende Begrünung. Durch regelmäßiges Mähen (Mulchen) wird die Begrü-

nung kurz gehalten, um den Wasserverbrauch einzuschränken. Üblich ist, drei- bis viermal im Jahr zu mulchen. Reicht das Mulchen nicht aus, kann die Begrünung nachhaltig mit Herbiziden kontrolliert werden. Allerdings erlaubt das Pflanzenschutzgesetz den Herbizideinsatz erst, wenn mit anderen kulturtechnischen Maßnahmen kein Erfolg erzielt wurde.

Bewässerung bietet die Möglichkeit, die Wasserversorgung im Steilhang auch während Trockenperioden zu sichern. Bewährt haben sich dazu druckkompensierte Tropfbewässerungssysteme.

Durch die Rebenerziehung wird der Aufbau und die Formgebung des Rebstocks bestimmt. Mit Eingriffen in die natürliche Entwicklung der Reben wird dabei das vegetative (Laubmasse) und generative (Traubenbehang) Wachstum gesteuert, um regelmäßige Erträge und Qualitäten zu erzielen. Dazu wird beim Rebschnitt im Winter das einjährige Fruchtholz vor dem Austrieb der Knospen (Augen) zurückgeschnitten. Ergänzend werden bei den Laubarbeiten im Sommer Triebe gekürzt und Blätter entfernt, die die Trauben abdecken. In Verbindung mit dem Pflanzsystem wird durch die Rebenerziehung das Kleinklima beeinflusst. Auch die Möglichkeiten der Mechanisierung werden durch das Erziehungssystem beeinflusst. Bei Minimalschnittsystemen wird die Menge des Fruchtholzes und der Augen nicht kontrolliert. Ihre Eignung für Steillagen wird noch untersucht⁷.

Da junge Reben sich nicht selber stützen können, werden Unterstützungsgerüste angelegt, die den Ranken Halt bieten. In Steillagen werden teilweise noch Einzelpfähle als Unterstützungsgerüst verwendet. Anlagen mit Einzelpfählen haben den Vorteil, dass bei Handarbeiten quer zum Hang gegangen werden kann. Sie bieten auf Grund fehlender ausreichend breiter Fahrgassen kaum Möglichkeiten zur Mechanisierung. Zur umfassenden Mechanisierung sind Spalieranlagen am besten geeignet, in denen die Reben in Reihen gepflanzt werden und Drahtrahmen als Unterstützungsgerüst dienen. Aufwändiger gestaltete Drahtrahmen verfügen über (Heft-) Drahtpaare, zwischen denen die Sommertriebe Halt finden.

Neben dem Rebschnitt und den Laubarbeiten zur Pflege des Erziehungssystems und dem Mulchen der Dauerbegrünung zur Bodenpflege erfordert der Pflanzenschutz zur Pilzbekämpfung im modernen Steilla-

genweinbau den größten Arbeitsaufwand vor der Ernte. Verbleibt das Rebholz nach dem Rebschnitt im Weinberg und werden Trester und Trub nach der Weinbereitung wieder in den Weinberg zurückgeführt, ist der Nährstoffentzug durch das Erntegut gering (je ca. 2 kg N, P_2O_5 und CaO, 1 kg MgO und 6 kg K_2O pro Hektar jährlich⁸). Der Nährstoffaustrag durch Auswaschung und Bodenabtrag wird durch geeignete Bodenpflege gering gehalten. Wird die vorübergehende Festlegung – vor allem von Stickstoff – durch die Begrünung berücksichtigt, sind nur geringe Düngergaben zur Pflanzenernährung notwendig. Meist wird deshalb auf eine jährliche Düngung verzichtet.

2.2 Mechanisierung

Bei Weinbau in ebenem Gelände sind heute Pflanzen, Bodenpflege, Laubarbeiten, Pflanzenschutz, Düngung und die Ernte mechanisiert. Teilmechanisierte Lösungen existieren zum Vorschneiden von Rebanlagen und zum Entfernen abgeschnittener Triebe aus dem Drahtrahmen. Darüber hinaus haben sich für die vom Arbeitsaufwand umfangreichen Schnitarbeiten, sieht man einmal von pneumatischen oder elektrischen Handscheren ab, auch in der Ebene noch keine Lösungen für eine Vollmechanisierung durchgesetzt.

Die Anforderungen an Mechanisierungslösungen für den Steillagenweinbau sind:

- Verwendbar zur sachgerechten, bodenschonenden und qualitativ hochwertigen Durchführung der wichtigsten Arbeiten im Weinberg, vorzugsweise im gleichen Umfang, wie es für die Arbeiten in der Ebene möglich ist
- Hohe Schlagkraft, um den Arbeitszeitaufwand gering zu halten und die termingerechte Durchführung zu ermöglichen und Kosten zu sparen
- Geringes Gewicht, um die Hangabtriebskraft zu minimieren
- Geringer Energieverbrauch, Abgasausstoß und Lärmentwicklung
- Umsturz- und absturzsicher und den Geräteführer vor Gefahrstoffen und Lärmeinwirkung schützend
- Zeitgemäße Arbeitsplatzgestaltung, mit möglichst sitzender Gerätebedienung
- Standardisierter Geräteanbau und standardisierte Anhängung, um ein breites Gerä-

teangebot nutzen zu können und teure Insellösungen zu vermeiden

2.2.1 Direktzug

In der Ebene bildet beim Weinbau, wie in der übrigen Landwirtschaft, der Schlepper die Grundlage der Mechanisierung. Er trägt oder zieht die zur Erledigung der verschiedenen Weinbergsarbeiten eingesetzten Maschinen und Geräte und treibt sie an. Außerdem dient er für reine Transportaufgaben. Bedingt durch die oft engen Reihenabstände werden im Weinbau überwiegend Schmalspurschlepper und, in geringem Maße, auch Hochschlepper als Überzeilenschlepper eingesetzt. In Steillagen wird der Einsatz des Schleppers jedoch begrenzt durch

- verringerte Zugleistung
- geringe Steigfähigkeit und erhöhten Schlupf, wodurch der Boden verdichtet wird und Strukturschäden auftreten können,
- eingeschränkte Lenkfähigkeit,
- Umsturzgefahr.

Allradgetriebene Schlepper haben eine höhere Steigfähigkeit als hinterradgetriebene Schlepper (abhängig von der Belastung der Vorderachse, den Triebkraft- und Rollwiderstandsbeiwerten der Vorderräder und vom „Multipass-Effekt“). Auf schieferer, trockener und vorzugsweise begrünter Fahrbahn werden bei geringerem Schlupf höher Steigungswerte erreicht als auf offenem Boden. Allradschlepper können dann günstigstenfalls bei Hangneigungen bis 60 % eingesetzt werden⁹. Neben den Fahrbahnbedingungen erhöhen große Aufstandsflächen die Steigfähigkeit. Durch eine größere Aufstandsfläche sinkt der Schlepper weniger tief auf nachgiebigem Boden ein und der Rollwiderstand nimmt ab. Große Aufstandsflächen werden bei Radschleppern durch den Einsatz breiter Reifen, Zwillingsbereifung oder niedrigem Reifenluftdruck erzielt oder durch die Verwendung von Raupenschleppern¹⁰. Eine günstige Gewichtsverteilung, wie sie beispielsweise Knicklenker aufweisen, trägt zum Erhalt der Lenkfähigkeit bei.

Um den Schlepper bei nachlassender Bodenhaftung am Hang vor dem Abrutschen zu hindern, kann der Traktor mit einem Notbremssystem ausgerüstet werden. Nach dem Auslösen bohren sich dabei Zinken in den Boden und halten den Schlepper. Die Hangtauglichkeit wird auch durch unter Last

schaltbare Getriebe verbessert. Sie ermöglichen den Wechsel zu niedrigeren Gängen, ohne den Kraftschluss zum Motor zu unterbrechen. Ein bis zwei Lastschaltstufen werden bereits in mehreren Schmalspurschleppern angeboten. Die Einführung stufenloser Lastschaltgetriebe, wie in Ackerschleppern verwendet, die den gesamten Übersetzungsbereich abdecken, beschränkt sich in Schmalspurschleppern bisher auf hydrostatische Getriebe mit schlechtem Wirkungsgrad.

Der Umsturzgefahr bei Schleppern, die im Hang eingesetzt werden, kann am wirksamsten mit tiefliegendem Schwerpunkt und breiter Spur begegnet werden. Beides kennzeichnet die für alpine Grünlandbewirtschaftung entwickelten Spezialschlepper. Auf Grund ihrer Außenbreite von mindestens 1,7 m sind diese Spezialschlepper für die in Steillagen überwiegenden Reihenabstände jedoch ungeeignet.

2.2.2 Seilzug

Die Hangneigung, bei der die Traktion zum Vorschub bei der Bergfahrt und zur Sicherung bei der Talfahrt nicht mehr ausreicht, ist die Direktzuggrenze. Der Vorschub und die Sicherung muss dann statt über Traktion über ein Seil erfolgen. Dazu können Hangelwinden oder am Bergende der Reihe stehende Winden verwendet werden. Voraussetzung für den Betrieb von Hangelwinden sind Anker am oberen Ende der Reihe zur Befestigung des Seils. Hangelwinden arbeiten seilschonend, da das Seil nicht über den Boden gezogen wird. Gegenwärtig bietet noch ein Hersteller für seine Kleinraupe eine Hangelwinde an. Nicht mehr vertrieben wird ein österreichischer Spezialschlepper mit Hangelwinde für den Weinbau in Steillagen. Nicht über die Erprobung hinaus gekommen ist ein Geräteträger mit Elektromotor und Hangelwinde. Ein Schlepper am Bergende der Reihe diente als Anker, zum Transport des Geräteträgers und zur Stromerzeugung (380 V) mit zapfwellengetriebenem Generator.

Die verbreitetste Form der Mechanisierung im Steillagenweinbau war über viele Jahre der Sitzpflug. Die zapfwellengetriebene Winde zum Zug des Pfluges ist meist im Zwischenachsbereich eines Schleppers angebaut. Vom Schlepper am oberen Ende der Rebzeile wird der Seilzugpflug am Seil in die

zu bearbeitende Rebzeile herabgelassen. Dazu ist der von einer Person geführte Pflug mit Rädern ausgestattet. Als Antrieb zur Talfahrt dient allein die Hangabtriebskraft. Die Winde wird dazu ausgekuppelt. Um die Fahrgeschwindigkeit zu steuern, kann sie mechanisch abgebremst werden. Zum Pflügen wird die Winde eingekuppelt und der Pflug den Berg heraufgezogen. Dabei steht oder sitzt der Pflugführer auf dem Pflug, um die Pflugschare zu belasten und sich selbst zu entlasten. Neben dem Sitzpflug wurden auch Mulcher, Laubschneider und Transportschlitten an Stelle des Sitzpfluges für den einfachen Seilzug angeboten.

Voraussetzung für alle Seilzugverfahren sind in Falllinie verlaufende Rebzeilen. Hangneigung und Fahrbahnverhältnisse müssen ausreichend sein, die Talfahrt zu gewährleisten, sofern das Arbeitsgerät nicht über einen Fahntrieb verfügt. Als Standort für die Winde wird ein Wirtschaftsweg am bergseitigen Ende des Weinbergs benötigt. Nachteilig am einfachen Seilzug ist, dass er immer zwei Arbeitskräfte erfordert und das Versetzen in die nächste Reihe mühsam ist. Er wird fast ausschließlich zur Bodenbearbeitung eingesetzt, andere Arbeitsgeräte haben sich nicht durchgesetzt. Zur Pflege einer Dauerbegrünung ist er deshalb nicht geeignet. Im Vergleich zum Direktzug ist zur Bearbeitung jeder Rebzeile eine Leerfahrt erforderlich.

Nicht weiter gebaut wird ein selbstlenkendes Seilzugerät eines anderen Herstellers. Das Grundgerät dieses Seilzugerätes ist ein dreirädriger Spritzwagen. Bei der Fahrt tastet ein Bügel am Spritzwagen die Reihen ab und setzt Berührungen mit Reben oder Pfählen in Lenkbewegungen um. Zusätzlich zum Spritzwagen wurden Mulcher, und Transportwagen angeboten.

Als Weiterentwicklung des einfachen Seilzuges haben sich Seilzugmechanisierungssysteme (Abb. 1) durchgesetzt, bei denen ein Geräteträger für die Aufnahme unterschiedlicher Arbeitsgeräte am Seil den Steilhang heraufgezogen oder herabgelassen wird. Die Winde, angetrieben durch den Schlepper oder von einem eigenen Motor, wird dabei vom Geräteträger aus über Funk gesteuert. Die Winden haben eine Auffahrpitsche zur Aufnahme des Geräteträgers. Damit kann der Geräteträger zum Weinberg transportiert und von einer Reihe zur Nächsten versetzt werden. Außer einer Erntemaschine kann der Geräteträger praktisch alle grundlegenden Arbeitsgeräte für den Wein-

bau aufnehmen. Nachteilig ist, dass diese Geräte immer Spezialanfertigungen, abgestimmt auf den Geräteträger, sein müssen. Die Seilzugmechanisierungssysteme werden in den nachfolgenden Kapiteln untersucht.

2.2.3 Mechanisierung unzureichend erschlossener Steillagen

Zur teilweisen Mechanisierung unzureichend erschlossener Steillagen mit geringen Zeilenabständen und schlechter Zuwegung eignen sich Kleinraupen, Bahnen und Hub-schrauber. Handgeführte oder mit Steh- oder Sitzgelegenheit versehene Kleinraupen stellen eine Sonderform des Schleppers dar. Angeboten werden sie mit Mulcher, Sprühgerät, Laub-schneider und mit Lade-fläche für Transportauf-gaben¹¹. Die Kleinraupen bewältigen vergleichbare Hangneigungen wie Schmalspurschlepper. Bahnen ermöglichen den Personen- und Material-transport in unerschlos-senen Steillagen ohne Wegeanschluss¹². Auch

handgeführte Mulch- oder Spritzgeräte und Kleinraupen lassen sich damit in steile Hän-ge bringen. Für Pflanzenschutzbehand-lungen in Steillagen werden vielfach Hub-schrauber eingesetzt. Sie bieten eine hohe Schlagkraft und stellen keine Ansprüche an die Erschließung des Geländes. Hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen sind sie jedoch kritisch zu beurteilen.

2.2.4 Vergleich der Mechanisierungsmöglichkeiten

An die Vorteile eines Schleppers, nämlich Schlagkraft, Arbeitskomfort, Schutz vor Ge-

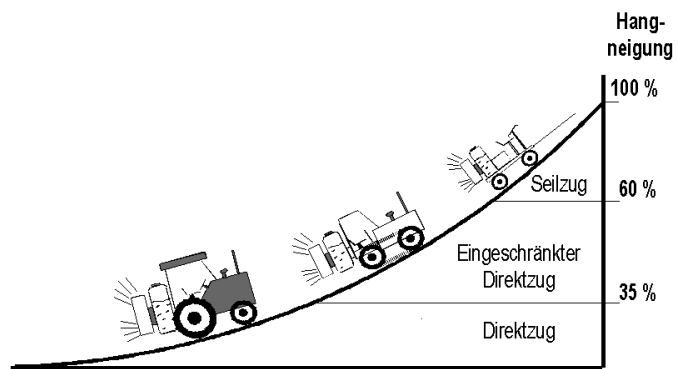


Abb. 1: Mechanisierungsmöglichkeiten in Abhängigkeit von der Hangneigung

Tab. 3: Vergleich verschiedener Systeme zur Steillagenmechanisierung

Mechanisierungssystem	Allrad- oder Raupenschlepper	Überzeilen-schlepper	Herkömmlicher Seilzug	Selbstlenkendes Seilzuggerät	Seilzugmechanisierungs-systeme
Ausführbare Arbeiten	alle, wie in der Ebene, Ernte nur bis ca. 25 %	alle wie in der Ebene	Pflügen, eingeschränkt Mulchen, Laubschnitt, Sprühen	Spritzen, Mulchen, Transport	wie in der Ebene, jedoch keine Ernte
Maximale Hangneigung	60 %	30 %	Weinbaugrenze	Weinbaugrenze	Weinbaugrenze
Schlagkraft	hoch	hoch	niedrig	mittel	mittel
Umweltauswirkungen (Energieverbrauch, Lärm, etc.)	mittel	mittel	gering	gering	gering
Bodenschonend	mittel	mittel	gering (offene Bodenhaltung)	hoch	hoch
Arbeitssicherheit	mittel	mittel	hoch	hoch	hoch
Schutz v. Gefahrstoffen und Lärm	hoch	hoch	gering	hoch	gering
Arbeitskomfort	hoch	hoch	gering	hoch	mittel
Standardisierter Geräteanbau	ja	nein	nein	nein	nein
Anschaffungskosten	mittel	mittel bis hoch	gering	mittel / gering	mittel

fahrstoffen und Lärm durch die Fahrerkabine und Auswahl an Geräten zum standardisierten Anbau, reichen andere Systemen zur Steillagenmechanisierung nicht heran. Sein Einsatz ist aber nur bis zu maximal 60 % Hangneigung möglich (Abb. 1).

Bereits unterhalb dieser Direktzuggrenze besteht beim Schlepper eine erhöhte Umsturz- und Abrutschgefahr. Darüber hinaus kann der mit höheren Steigungen zunehmende Schlupf zu Bodenschädigungen führen. In der annähernd unbegrenzten Steigfä-

higkeit und der geringen Bodenbelastung liegen dann auch die Hauptvorteile des Seilzugs. Die modernen Seilzugmechanisierungssysteme mit Geräteträger und funkgesteuerter Winde bieten die Möglichkeit, Geräte für alle mechanisierbaren Arbeiten im Weinberg anzubauen.

Die Gegenüberstellung in Tabelle 3 bietet einen groben Vergleich gängiger Möglichkeiten zur Steillagenmechanisierung. Unterschiede bei der Arbeitsqualität sind darin nicht berücksichtigt.

¹ Burgmann, J. (2001): *Terroir in aller Munde*, in: *Das deutsche Weinmagazin* 9-10/01, 78-81

² Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau, Mainz (Hrsg.) (1999): *Terrassierung von Weinbergs-Steillagen in der Flurbereinigung Koblenz-Moselweiß Ein Modell für Weinbau in Steillagen*, Mainz

³ Eine ausführliche Beschreibung zur Anlage von Terrassen findet sich in: *Südtiroler Beraterring für Obst- und Weinbau* (Hrsg.) (1999): *Neuanlagen im Weinbau*, Kaltern

⁴ Leimbrock, F. (1984): *Möglichkeiten der Querterrassierung im Steillagenweinbau*, Gießen

⁵ Vgl.: Stotz, J. (1994): *Stickstoffdynamik und Stickstofffixierung bei Begrünung mit Leguminosen*.

In: X. Kolloquium des internationalen Arbeitskreises Begrünung im Weinbau, Krems/Donau

⁶ Vgl.: Rückert, F.-E., Steinberg, B., Bettner, W. (1994): *Einsatzmöglichkeiten artenreicher Dauerbegrünungsmischungen im Weinbau*. In: X. Kolloquium des internationalen Arbeitskreises Begrünung im Weinbau, Krems/Donau

⁷ Schultz, H. (2001): *Eine Alternative zu bestehenden Produktionssystemen? Minimalschnitt Teil 1*, in: *Der Deutsche Weinbau* 11/01, 10-34

⁸ Müller, E., Schulze, G., Walg, O. (1999): *Weinbau-Taschenbuch*, Mainz

⁹ Steinmetz, H. (1985): *Grenzhängerschließung im Weinbau*, KTBL-Schrift 300, Darmstadt

¹⁰ Vgl. Rühling, W. (1988): *Schmalspurkettenschlepper für den Steillagenweinbau*, in: *Der Deutsche Weinbau* 12/88, 597-601

¹¹ Vgl.: Rühling, W. (1991): *Mechanisierung von Steillagen auf der Basis handgeführter Kleinraupen*, in: *Der deutsche Weinbau* 16/91, 631-638. Und: Dietrich, H. (1995): *Mechanisierung und Produktionsplanung im Steillagenweinbau*. KTBL-Schrift 366, Darmstadt

¹² Bäcker, G. (1980): *Einschienebahn im Weinbau in Steillagen*, KTBL-Schrift 246, Darmstadt

3 Untersuchung von Seilzugmechanisierungssystemen – Material und Methoden und Ergebnisse

Um die Eignung der neuen Seilzugmechanisierungssysteme (SMS) für die Traubenerzeugung in Steillagen zu beurteilen, wurden Untersuchungen und Messungen durchgeführt, mit dem Ziel:

- das Verfahren umfassend zu beschreiben und Einsatzmöglichkeiten, Stärken und Schwächen sowie Verbesserungsbedarf und Entwicklungsmöglichkeiten aufzuzeigen,
- Vergleiche mit alternativen Verfahren oder Maschinen zu ermöglichen,
- Daten zur Planung der Investitionen und des Geräteeinsatzes zu erhalten.

Die untersuchten Seilzugmechanisierungssysteme befinden sich noch in der Entwicklung. Den Verbesserungsbedarf der Konstruktion aufzuzeigen war deshalb eines der Hauptziele bei der Beurteilung.

Die Untersuchungen wurden an drei verschiedenen SMS vorgenommen. Im Mittelpunkt standen dabei die mit dem SMS durchgeführten Arbeiten Pflanzenschutz, Mulchen und Laubschnitt. Für die Untersuchung wurden die Verfahren in einzelne Elemente zerlegt. So lassen sich Standort- und Anwendereinflüsse herausarbeiten. Das Ziel war es, möglichst unabhängige Ergebnisse zu erhalten, die auf unterschiedlichste Einsatzbedingungen übertragbar sind. Die Zerlegung in Elemente hat den zusätzlichen Vorteil, dass dadurch die Stärken und Schwächen, die Gemeinsamkeiten und Unterschiede unterschiedlicher Verfahren besser erkannt und ausgewertet werden können.

Beurteilungsgrößen

Kriterien an Hand derer ein Verfahren oder Gerät beurteilt werden kann, sind

- Arbeitszeitbedarf und Arbeitswirtschaftlichkeit
- Arbeitsqualität
- Anwendersicherheit
- Betriebssicherheit und Handhabung
- Leistungsbedarf und Energieverbrauch
- Kosten für Anschaffung, Betrieb und Unterhalt

Einige der Beurteilungsgrößen, wie Arbeitszeitbedarf und Energieverbrauch, lassen sich quantifizieren. Andere, wie Arbeitsqualität und Handhabbarkeit, lassen sich nur

qualitativ beschreiben. Bei der Ermittlung aller Beurteilungsgrößen müssen die bei der Anwendung der Geräte wirkenden Einflüsse berücksichtigt werden¹:

- Menschliche Einflussgrößen, also das Leistungsvermögen und die Leistungsbereitschaft der Geräteanwender
- Standorteinflüsse, wie Boden- und Fahrbahnbeschaffenheit, Bewuchs, Hangneigung, Schlaggröße und Anbausystem, Klima und Witterung
- Einflüsse auf Grund der natürlichen Variabilität der betrachteten Kulturpflanze

Für die Beurteilung von Landmaschinen gibt es keine verbindlichen Richtlinien. In einigen Bereichen haben einzelne Organisationen Richtlinien und Standards erstellt. In diesen Fällen wird angestrebt, Untersuchungen diesen Richtlinien entsprechend durchzuführen, bzw. die Einhaltung dieser Standards zu überprüfen. Die so gewonnenen Ergebnisse können dann besser für Geräte- und Verfahrensvergleiche verwendet werden.

Nachfolgend wird zuerst die Entwicklung der Seilzugmechanisierungssysteme aufgezeigt und deren Aufbau und Bestandteile beschrieben. Darauf folgen Untersuchungen zur Arbeitswirtschaftlichkeit und zur Arbeitsqualität. Im sich anschließenden Kapitel werden Messungen zum Leistungsbedarf und Kraftstoffverbrauch vorgestellt.

3.1 Beschreibung der Seilzugmechanisierungssysteme

Seilzugmechanisierungssysteme werden von zwei Firmen angeboten. Insgesamt wurden bis heute ca. 25 SMS verkauft. Dabei gleicht kaum ein Gerät dem anderen, denn die im Betrieb aufgetretenen Probleme führten zu fortlaufenden Verbesserungen.

3.1.1 Entwicklung

Vorläufer der SMS war der traditionelle Seilzug mit Schlepperanbauwinde und Sitzpflug². Um den Seilzug in Steillagen auch für andere Arbeiten als Pflügen einsetzen zu können, wurden weitere seilgezogene Arbeitsgeräte entwickelt: Mulcher, Sprühgerät und Transportwagen auf lenkbaren Fahrstellen³ und für den Anbau an den Sitzpflug, Herbizidspritzen, Düngerstreuer und Laubschneider. Die Handhabung dieser Geräte

war jedoch unbefriedigend, insbesondere beim Versetzen am Vorgewende und bei der Steuerung.

Eine Verbesserung brachte die Entwicklung des SMS durch den badischen Winzer Georg Obrecht. 1981 baute er einen vierrädri- gen seilgezogenen Geräteträger mit einem Mulchgerät. Der Geräteträger war mit Achs- schenkellenkung an beiden Achsen ausge- rüstet. Gelenkt wurde jeweils die in Fahr- richtung vordere Achse. Zum Fahrtrichtungs- wechsel wurde der Sitz gedreht und die Len- kung umgesteckt. Zur Sicherung bei Seilris- sen hatte der Geräteträger Fallspieße, die bei plötzlicher Entlastung des Seils automatisch ausklappten.

Um den Geräteträger zu ziehen, setzte man eine herkömmliche Schlepperanbau- winde mit Zweiganggetriebe für den Anbau an der Dreipunkthydraulik ein. Angetrieben wurde sie durch die Zapfwelle des Schlep- pers. Die Geschwindigkeit bei der Bergfahrt wurde vom Schlepperfahrer über die Motor- drehzahl geregelt. Talwärts bremste der Schlepperfahrer den Geräteträger mit der mechanischen Bremse der Winde. Zum Um- setzen am Vorgewende war an der Winde eine Pritsche angebracht auf die der Geräte- träger gezogen werden konnte.

Bereits im Folgejahr, 1982, wurde ein Sprühgerät und, zur besseren Geschwindig- keitsregelung, eine hydraulische Steuerung der Seilwinde konstruiert (Abb. 2). Unbefrie- digend blieb aber weiterhin das Abbremsen bei der Talfahrt. Die verwendete mechani- sche Bremse lief rasch heiß. Dadurch war die Leistungsfähigkeit und die Betriebsssi- cherheit der Konstruktion stark eingeschränkt. 1987 wurde das Bremsproblem dann durch eine verbes- serte Hydraulikeinheit mit Lasthalteventil gelöst.

Bis 1991 wurde der Geräteträger am Fachge- biet Technik der For- schungsanstalt Geisen- heim weiterentwickelt. Er bekam einen in Tal- richtung offenen U-Rah- men um den Arbeitsgerä- tewechsel zu erleichtern.

1989 erwarb die Fir- ma Clemens⁴ das Know- how um das SMS und be- gann mit der Produktion von Geräteträger und Schlepperanbauwinde

mit Auffahrpritsche. Bis 1997 wurden die Systeme von Clemens im eigenen Werk gefertigt, danach im Auftrag von der Firma Leible⁵. Eine grundlegende Verbesserung brachte die Einführung der Funkfernsteue- rung 1993, mit der die Winde vom Geräte- träger aus geregelt werden konnte. Mit der Funkfernsteuerung wurde die Grundlage für den Betrieb des SMS mit nur einer Arbeits- kraft geschaffen. Hinderlich beim Betrieb mit einer Arbeitskraft blieb das Versetzen des Antriebsschleppers am Vorgewende in die nächste Gasse. Dazu musste umständlich und zeitaufwendig vom Geräteträger abge- stiegen und auf den Schlepper gewechselt werden. Abhilfe schaffte 1999 die Einfüh- rung einer Anhängerwinde mit eigenem An- triebsmotor und hydrostatischem Fahren- trieb (Abb. 3). Mit dem Antrieb konnte die Winde selbständig versetzt werden. Dazu konnte die Winde vom Geräteträger aus ge- steuert werden. Die Palette der für den Ge- räteträger angebotenen Aufbauten wurde um Transportwanne, Düngerstreuer und Kreise- legge erweitert.

Josef Obrecht⁶ führte parallel die Entwick- lung seines Vaters weiter. 1995 baute er ein SMS mit selbstfahrender, allradgetriebener und -gelenkter Winde mit der Möglich- keit zur Straßenfahrt. Seit 2001 bietet er zusätz- lich einen selbstvorfahrenden Zweiachs- anhängen mit Achsschenkellenkung an. In der Entwicklung befindet sich eine Arbeitsplatt- form mit mechanischen Tastern zur automa- tischen Lenkung.

Im Jahr 2001 hat die Firma Clemens an einen kalifornischen Kunden eine Doppelseilwinde mit Überzeilengeräteträger gelie- fert. Auf der Grundlage dieses Überzeilenge-



Abb. 2: Erstes Seilzugmechanisierungssystem (Foto: FG Technik, FA Geisenheim)

räteträgers könnte zukünftig die Entwicklung eines seilgezogenen Vollernters betrieben werden. 2002 stellt Clemens eine SMS-Winde, aufgebaut auf ein umgerüstetes Transportfahrzeug, vor. Das allradgetriebene Fahrzeug kann am Vorgewende vom Geräteträger aus versetzt werden. Es ist mit einer hydraulisch lenkbaren Hinterachse ausgerüstet, die für die Straßenfahrt gesperrt wird. Als Geräteträger-Zugfahrzeug hat es eine Zulassung bis 40 km/h.

Für den Betrieb der verschiedenen Arbeitsgeräte auf dem Geräteträger bieten unterdessen beide Herstellerfirmen universelle dieselhydraulische Antriebseinheiten an. Sie sollen die, speziell auf die jeweiligen Arbeitsgeräte abgestimmten, Benzinmotoren ablösen. Die zwischenzeitlich in den die universellen Antriebseinheiten verwendeten Benzinmotoren haben sich nicht bewährt (vgl. 4.2). Teilweise sind die Antriebseinheiten sich zum gleichzeitigen Betrieb von zwei Arbeitsgeräten geeignet.

Einteilen lassen sich die SMS nach Bauarten mit Winden, die vom Schlepper angetrieben und versetzt werden, und solche, die über einen eigenen Dieselmotor zum Antrieb der Winde verfügen. Diese Unterscheidung ist vor allem hinsichtlich der Arbeitserledigung von Bedeutung. Unterschiede im Aufbau des Hydrauliksystems der Winden sind für den Leistungsbedarf und damit den Energieverbrauch entscheidend. Die Art der Seilauwicklung hat Auswirkungen auf die Betriebssicherheit. Beim Aufbau des Geräteträgers und bei den Arbeitsgeräten gibt es keine bedeutenden Unterschiede zwischen den Modellen der Hersteller. Hatte bis vor zwei Jahren jedes Arbeitsgerät einen speziel-

len Benzinmotor als Antrieb, werden jetzt universale, Dieselmotoreinheiten angeboten, mit der wahlweise Mulcher, Laubschneider oder Kreiseleggen betrieben werden können, teilweise auch kombiniert.

3.1.2 Grundlegender Aufbau und Betrieb

Hauptbestandteile aller SMS sind die Winde mit Auffahrpritsche und der Geräteträger, der mit verschiedenen Arbeitsgeräten ausgerüstet werden kann. Der Geräteträger wird zur Arbeitserledigung am Seil von der Pritsche aus in die Rebreihe abgelassen und wieder heraufgezogen. Die Windensteuerung erfolgt über Funk vom Geräteträger aus. Beim Versetzen der Winde von einer Reihe zur nächsten und beim Straßentransport steht der Geräteträger auf der Pritsche (Abb. 4 bis 6). Voraussetzung für den Betrieb des SMS sind in Fallrichtung angelegte Rebreihen mit einer Hangneigung, die ausreicht, den Geräteträger frei ablaufen zu lassen. Für die Winde muss am bergseitigen Vorgewende ein annähernd rechtwinklig zu den Rebreihen verlaufender Weg vorhanden sein.

Die Pritsche lässt sich hydraulisch zu einer Seite ausfahren (der Talseite) und um bis zu 30° (ca. 60 %) neigen. Am Ende der Pritsche ist eine klappbares Endstück angebracht. Hochgeklappt sichert es während des Straßentransport den Geräteträger auf der Pritsche. Um den Geräteträger von der Pritsche in die Rebreihen abzurufen, muss die Pritsche so weit geneigt werden, dass die Auffahrrampe auf dem Boden aufliegt. Mit der Hydraulik in Schwimmstellung kann die Pritsche beim Versetzen in die nächste Rebreihe mit dem beweglichen Endstück über den Boden rutschen. Am bergseitigen Ende der Pritsche befindet sich der Anlenkpunkt für das Zugseil, entweder starr an der Pritsche angebracht oder an einem speziellen in der Höhe verstellbaren Träger⁷. Der Seilanlenkpunkt soll nach Möglichkeit soweit angehoben werden, dass das Seil frei über dem Boden läuft und nicht auf der Pritsche schleift. Der am höhenverstellbaren Träger an-



Abb. 3: Selbstfahrendes SMS



Abb. 4: Start zur Talfahrt mit dem SMS



Abb. 5: Pflanzenschutz mit dem SMS



Abb. 6: Versetzen des Geräteträgers

gebrachte Seilanlenkpunkt kann dabei weiter angehoben werden als der durch den Kippwinkel der Pritsche in der Höhe beschränkte starre Anlenkpunkt. Der Seilanlenkpunkt am Träger lässt sich zusätzlich seitlich verschieben und so ungünstigen Anfahrwinkeln anpassen. Das erleichtert das Auffahren auf die Pritsche, wenn die Winde nicht annähernd im rechten Winkel zu den Rebzeilen steht. Vom Anlenkpunkt wird das Seil über eine Umlenkrolle entweder direkt auf die unterhalb der Pritsche angebrachte Windentrommel oder über eine zweite Umlenkrolle zu der seitlich der Pritsche angebauten Windentrommel geleitet.

3.1.3 Winde – Seil – Windensteuerung – Funk

Als Windentrommeln werden entweder Spillwinden⁸ (Firma Clemens) oder direkt aufwickelnde Trommelwinden (Firma Obrecht) eingebaut. Da bei den Spillwinden wiederholt Probleme auftraten (vgl. 3.3.4), wird sie in zukünftig zu bauenden Winden durch eine breite Trommelwinde mit geführ-

ter Seilaufwicklung ersetzt werden.

Bei den bisher eingesetzten Spillwinden wird die Zugkraft auf das Seil über zwei Rillenscheiben übertragen. Die Rillenscheiben haben einen Durchmesser von ca. 14 cm. Der Abstand zwischen den Scheiben beträgt ca. 25 cm, die erste Scheibe hat sechs Seilrillen, die zweite fünf. Das Seil wird vom Geräteträger kommend über eine Umlenkrolle auf die erste

Rillenscheibe geleitet, umgelenkt und zur zweiten Scheibe geführt, umgelenkt und wieder zur ersten Rillenscheibe zurückgeführt. Insgesamt wechselt das Seil fünfmal zwischen den beiden Scheiben und wird anschließend auf einer Haspel (Speichertrommel) aufgerollt. Angetrieben wird die erste Rillenscheibe von einem (über eine elastische Wellenkupplung gesicherten) Ölmotor. Die zweite Rillenscheibe wird von der ersten über einen Keilriemen angetrieben. Um das Seil ohne Schlingenbildung auf- und abzurollen, wird die Haspel von einem eigenen Ölantrieb auf Vorspannung gehalten.

Die Spillwinden haben gegenüber Trommelwinden den Vorteil, dass sie das Seil bei konstanter Rillenscheibendrehzahl mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf- oder abwickeln. Nachteilig ist die hohe Flankenreibung bei der Spillwinde. Da die Rillen der zweiten Rillenscheibe immer genau zwischen zwei Rillen der ersten Scheibe liegen, wird das Seil bei jedem Wechsel zwischen den Rillenscheiben um eine halbe Rillenscheibenbreite abgelenkt. Bei dieser Ablenkung scheuert das Seil an den Rillen und erhält einen Drall. Beides verkürzt die Nutzungs-

dauer des Seils. Um ausreichend Kraft auf das Seil übertragen zu können, werden beide Rillenscheiben angetrieben. Allerdings muss für einen Differentialausgleich zwischen den Scheiben gesorgt werden. Das Seil wird zwischen dem Eintritt auf die erste Rillenscheibe, von der Zugseite kommend, bis zum Austritt zur Haspel entspannt. Dadurch wird es mit jeder Umlenkung zur Haspel hin ein Stück kürzer. Diese Längenunterschiede müssen über unterschiedliche Umdrehungsgeschwindigkeit der beiden Scheiben ausgeglichen werden. Eine starre Kettenverbindung zwischen den beiden Scheiben ohne Differentialausgleich würde zum Bruch führen. Zudem sollten die Achsen der beiden Rillenscheiben vollkommen parallel zueinander ausgerichtet sein. Andernfalls ist entweder beim Seil-Ab- oder Aufrollen der Abstand zwischen den Rillen am Seileintritt kleiner als am Seilaustritt. Wie viel Seillänge für einen Umlauf zwischen den Rillenscheiben zur Verfügung steht, wird am Seileintritt bestimmt. Nimmt bei nicht vollkommen ausgerichteten Scheiben der Abstand zwischen den Scheiben zu, reicht die am Eintritt vorgegebene Seillänge für weitere Umläufe nicht aus. Die Folge sind übermäßige Belastungen des Seils und der Rillenscheibenachsen (vgl. 3.3.4).

Bei Trommelwinden wird das Seil auf der selben Trommel aufgerollt, über die auch die Kraft auf das Seil übertragen wird (Abb. 7). Die Seiltrommel wird durch einen Ölmotor angetrieben. Da das gesamte bis zu 150 m lange Zugseil in mehreren Lagen auf die Trommel gerollt wird, ändert sich der für die Seilgeschwindigkeit maßgebliche Durchmesser im Betrieb. Zudem erfolgt das Aufrollen nicht immer gleichmäßig. Um trotz der wechselnden Trommeldurchmesser eine beispielsweise für sachgerechten Pflanzenschutz dringend erforderliche konstante Geschwindigkeit halten zu können, muss die Trommeldrehzahl fortlaufend dem maßgebenden Durchmesser angepasst werden. Anfänglich wurde dafür der Durchmesser des aufgewickelten Seils mit einem auf der Trommel laufenden Rad abgetastet. Unter-



Abb.7: Windentrommel

dessen wird die tatsächliche Seilgeschwindigkeit mit einem induktiven Aufnehmer an einer als Lochscheibe ausgebildeten Umlenkrolle erfasst und die Trommeldrehzahl einem Sollwert entsprechend geregelt. Bei den als Ersatz für die Spillwinden geplanten Trommelwinden ist die Trommel so breit, dass darauf die gesamte Seillänge in nur drei Lagen passt. Dadurch ist der durch die Durchmesseränderung bedingte Geschwindigkeitsunterschied klein genug, um auf eine elektronische Drehzahlregelung verzichten zu können. Zur Aufwicklung auf die breite Trommel wird das Seil über eine Kreuzspindel kontrolliert geführt. Bei Trommelwinden darf sich das Seil auf der Trommel nicht lockern, ansonsten besteht die Gefahr, dass es sich beim Straffen zwischen den unteren Lagen verkeilt. Sensoren sollen Seilentlastungen messen, um die Trommel gegebenenfalls anzuhalten. Bei der Anbauwinde wird dazu ein Magnetkontakt eingesetzt, der ausgelöst wird, wenn das Zugseil nicht mehr unter Spannung steht. Möglich ist auch, Seilentlastung durch Dehnmessstreifen an der Trommelachse aufzunehmen.

Für die Winden werden Drahtseile mit Durchmessern zwischen 6 bis 8 mm eingesetzt. Es werden sowohl Gleichschlagseile, bei denen Einzeldrähte und Litzen die gleiche Schlagrichtung haben, als auch Kreuzschlagseile verwendet. Für Winden werden Kreuzschlagseile empfohlen, da sie weniger verdrehen als Gleichschlagseile. Gleichschlagseile haben jedoch eine längere Aufliegezeit (Nutzungsdauer). Teilweise kommen hochverdichtete Seile zum Einsatz, sogenannte Pythonseile. Hochverdichtete Seile

haben, bezogen auf den Seildurchmesser eine erhöhte Festigkeit. Nachteilig ist, dass sie sich schwieriger biegen lassen als schwächere Seile. Neben der Seilart sind die durch Seilumlenkungen bedingten Biegewechsel entscheidend für die Aufliegezeit eines Seils. Je geringer das Verhältnis von Umlenkrollendurchmesser zu Seildurchmesser und je höher die Zahl der Seilumlenkungen/Biegewechsel ist, um so kürzer ist die Aufliegezeit. Die Verwendung von Wirbeln an der Verbindung zwischen Geräteträger und Seil kann das Aufdrehen des Seils begünstigen.

Die Regelung der Ölmotoren für den Windenantrieb erfolgt durch Magnetventile. Diese Ventile lassen sich elektrisch proportional öffnen oder schließen. Die Steuerung erfolgt über Funk von einem Sender auf dem Geräteträger aus. Die für die Funkübertragung zur Verfügung stehenden Proportionalkanäle liegen im Frequenzbereich von 433,05 bis 434,79 MHz.

3.1.4 Hydrauliksystem

Alle SMS verfügen über ein eigenes Hydrauliksystem zum Antrieb der Windentrommel, zum Bewegen der Pritsche und bei den selbstfahrenden Winden für den Fahrtrieb (Abb. 8). Die Hydraulikkreisläufe sind als lastkompensierte Hydrauliksysteme (engl.: Load Sensing System) ausgebildet⁹. Die lastkompensierten Systeme unterscheiden sich grundlegend darin, ob sie mit Konstantpumpen (engl.: Open Center Load Sensing System)¹⁰ oder mit Verstellpumpen (engl.: Closed Center Load Sensing System) ausgerüstet sind.

Lastkompensierte Systeme verfügen über spezielle Wegeventile zur Steuerung der Verbraucher (LS-Wegeventile) und, bei Verwendung von Konstantpumpen, über eine Druckwaage. Bei Verwendung einer Verstellpumpe ersetzt ein Pumpenregler die Druckwaage¹¹. Pumpenregler und Druckwaage benötigen zum Regeln einen Differenzdruck von ca. 15 bar. Mit einem Druckbegrenzungsventil ist der Maximaldruck je nach System auf maximal 260 bar beschränkt. Als Verstell-

pumpen werden Axialkolbenpumpen eingesetzt, die Konstantpumpen sind Außenzahnrادpumpen.

In Abhängigkeit von der Antriebsdrehzahl fördern die Konstantpumpen einen gleichbleibenden Volumenstrom. Der Druck wird an den Konstantpumpen entsprechend der Anforderung des Verbrauchers mit dem größten Lastdruck hergestellt. Wird am Verbraucher nur ein geringer Förderstrom, aber sehr hoher Druck abgefordert (beispielsweise am Ölmotor für den Seilantrieb bei geringen Geschwindigkeiten, aber hohen Zuglasten), entsteht ein Leistungsüberschuss, der an der Druckwaage in Wärme umgesetzt wird. In bezug auf den Leistungsbedarf unterscheiden sich lastkompensierte Systeme mit Konstantpumpen nicht grundlegend von Konstantstromsystemen (Open Center System) mit negativer Schaltüberdeckung.

Die lastkompensierten Systeme mit Verstellpumpe haben hingegen einen geringeren Leistungsbedarf. Bei der Verwendung von Verstellpumpen in lastkompensierten Systemen wird der Förderstrom an der Pumpe entsprechend dem Verbrauch geregelt. Damit entspricht der von der Pumpe erbrachte Durchfluss und der Druck, also die Pumpenleistung, immer nur der von den Verbrauchern abgeforderten Leistung, zuzüglich der Reibungsverluste im System und des für die Steuerung der Verstellpumpe notwendigen Differenzdrucks (ca. 15 bar).

Als Antriebsmotor für die Windentrommeln werden Innenzahnradmotoren verwendet. Über ein Drei-Wege-Ventil kann der Ölzufluss und Ölablauf zum Motor gewechselt und so die Drehrichtung des Motors umgekehrt werden (der „dritte Weg“ am Drei-Wege-Ventil ist die Nullstellung). An der Trommel wird das Seil dann auf- oder abgewickelt und der Geräteträger fährt bergauf

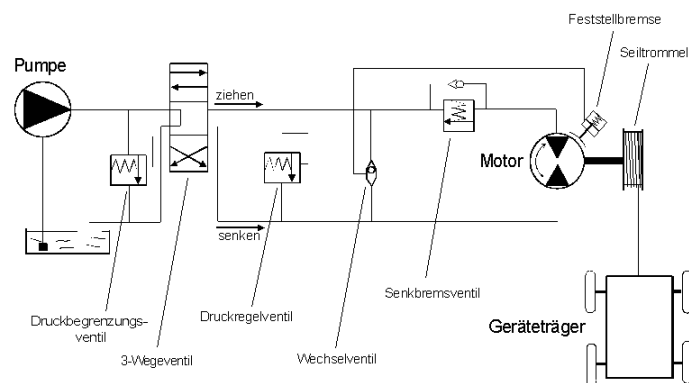


Abb. 8: Hydrauliksystem der Winde

oder bergab. Zur Sicherung der Last (also des Geräteträgers am Hang) im Stand wirkt auf den Motor eine mechanische Feststellbremse, die erst bei Erreichen eines Öldrucks von ca. 25 bar in der jeweiligen Zulaufseite aufgeht. Zur weiteren Absicherung des Geräteträgers beim Halten und zum kontrollierten Abbremsen beim Ablassen ist auf der Ablaufseite ein Lasthalteventil (auch als Senkbremssventil bezeichnet) eingebaut. Das durch die Zugkraft des Geräteträgers am Seil entstehende Drehmoment am Motor bewirkt, dass das Hydrauliköl auf der Ablaufseite gegen das geschlossene Lasthalteventil unter Druck gesetzt wird. Erst durch eine Druckerhöhung auf der Zulaufseite vor dem Windenantrieb auf ca. 50 bar wird das Lasthalteventil kontrolliert geöffnet. Die beim Abbremsen der Talfahrt des Geräteträgers frei werdende Energie wird dann am Lasthalteventil beim Entspannen des Hydrauliköls in Wärme umgewandelt. Wie beim Aufwickeln des Seils wird auch beim Abwickeln die Drehgeschwindigkeit des Motors (und damit die Fahrgeschwindigkeit des Geräteträgers) durch den am proportional gesteuerten Wegeventil auf der Zulaufseite durchgelassenen Volumenstrom geregelt. Da der zur stetigen Talfahrt benötigte Durchfluss unter Druck gehalten werden muss um das Lasthalteventil offen zu halten, wird auch für das eigentlich Energie zuführende Abbremsen von der Pumpe Leistung gefordert¹².

3.1.5 Die untersuchten SMS-Bauarten

Ein SMS mit selbstfahrender Anhängerwinde der Firma Clemens, ausgeliefert im Frühjahr 2000 (nachfolgend als selbstfahrendes SMS bezeichnet) und ein SMS mit Anbauwinde der Firma Obrecht, gebaut im Sommer 1999 (Anbau-SMS) wurden näher untersucht. Zugkraft- und Leistungsmessungen wurden zusätzlich an einer vom Schlepper angetriebenen Anhängerwinde der Firma Obrecht (Anhänge-SMS) durchgeführt.

Die Typenbezeichnung der Winde des untersuchten Anbau-SMS (Abb. 4) lautet „Obrecht 3-Punkt Anbauseilwinde AWF2“. Die Winde besteht aus einem Rahmen mit Seiltrommel und einer Transportpritsche für den Geräteträger, der in Schlepperfahrtrichtung rechts abgelassen wird. Die betriebsbereite Winde wiegt ca. 600 kg. Dazu kommt beim Einsatz das Gewicht des Geräteträgers und des Fahrers (bis zu 520 kg mit Mulcher

und Unterstockspritze). Die Winde wird an der Dreipunkt-Hydraulik eines geeigneten Schleppers angebaut. Über die Auswahl des Schleppers werden in der Bedienungsanleitung des Herstellers keine Angaben gemacht. Für einen sicheren Betrieb muss aber die Standfestigkeit des Antriebsschleppers gewährleistet sein. Dies setzt aus Erfahrung einen Schlepper mit einer normalen Spurweite (ca. 150 cm) und einem Eigengewicht von mindestens 2 500 kg voraus. Als Pumpe für das Hydrauliksystem der Winde wird eine Zahnradpumpe mit konstantem Verdrängungsvolumen verwendet, die direkt auf die Schlepperzapfwelle gesteckt wird. Der Rahmen der Winde dient als Hydraulikölreservoir mit 27 l Inhalt. Die Seiltrommel fasst ein 150 m langes, 6 mm starkes verdichtetes Stahlseil.

Das selbstfahrende SMS (Abb. 3) der Firma Clemens trägt die Bezeichnung SMS-SF. Die Winde ist auf einem selbstfahrenden Dreirad aufgebaut. Als Antriebsmaschine dient ein Lombardini-Dieselmotor mit 17 kW Leistung. Der Motor treibt die Konstantpumpe des Hydrauliksystems an. Neben der Winde wird auch das Vorderrad des Fahrentriebs hydraulisch angetrieben. Das Vorderrad ist mit einer Lamellenbremse ausgerüstet. Für den Straßentransport wird die Winde auf dem Dreirad mit der Deichsel an eine Zugmaschine gehängt, das Vorderrad vom Boden abgehoben und das SMS als Einachsanhänger gezogen. Die ca. 2 200 kg schwere Winde verfügt über eine Ladepritsche zum Mitführen von Betriebsstoffen. Die Speicherhaspel reicht für ein 150 m langes, 8 mm starkes Drahtseil.

Die als Einachsanhänger ausgelegte Winde des Anhänge-SMS, an der Zugkraft- und Leistungsmessungen durchgeführt wurden, trägt die Bezeichnung EHF 1. Sie unterscheidet sich grundlegend von dem Anbau-SMS und dem selbstfahrenden SMS in der Art der verwendeten Hydraulikpumpe. Statt mit einer Konstantpumpe ist das Anhänge-SMS mit einer Verstellpumpe ausgerüstet.

3.1.6 Geräteträger

Der am Seil gezogene vierrädrige Geräteträger trägt die Arbeitsgeräte und den Geräteträgerfahrer. Für den Fahrer gibt es einen gefederten Sitz, gesteuert wird über eine Lenkstange. Der Fahrersitz kann entsprechend der Hangneigung verstellt werden. Am Len-

ker befinden sich der Auslösegriff für die Nothalteeinrichtung, Bedienelemente für die Funkfernsteuerung der Winde und ein Notstoppschalter. Bei einigen Ausführungen ist am Lenker auch der Geschwindigkeitsregler angebracht, bei anderen wird die Geschwindigkeit über einen Fußschalter geregelt. Fahrersitz und Lenker bilden eine Einheit, die auf einer Bodenplatte steht. Die Einheit aus Sitz und Lenker ist um 180° drehbar, der Fahrer kann also immer in Fahrtrichtung sitzen. Gelenkt werden über Achsschenkellenkung jeweils die beiden in Fahrtrichtung vorne befindlichen Räder. Die Umschaltung der Lenkung auf die jeweiligen Vorderräder und die Verriegelung der Hinterräder erfolgt mit der Drehung des Sitzes.

Der in Talrichtung offene U-Rahmen des Geräteträgers ermöglicht es, die Arbeitsgeräte zum Wechseln einzuschieben oder mit dem Geräteträger über das abgestellte Arbeitsgerät zu fahren. Die Arbeitsgeräte werden mit Spannhebeln am Geräteträger in dafür vorgesehenen Halterungen befestigt. Um den Anbau der Arbeitsgeräte zu erleichtern, haben sich Abstellfüße an Verstellspindeln bewährt. Damit lassen sich die teilweise über 200 kg schweren Arbeitsgeräte auf die Höhe der Halterungen am Geräteträger anheben. Der Abstand zwischen den Rädern ist groß genug, dass der Geräteträger über eine 80 cm breite Europalette fahren kann. Nicht gebrauchte Arbeitsgeräte können so beim Wechsel gleich auf einer Palette abgestellt werden.

Die Räder des Geräteträgers haben eine 8-Zoll Bereifung. Es besteht die Möglichkeit, Doppelbereifung aufzuziehen. Die Abmessungen des Geräteträgers betragen 1,05 x 1,70 m (Breite x Länge).

3.1.7 Arbeitsgeräte

Als Arbeitsgeräte werden Mulcher, Unterstockspritzen, Laubschneider, Sprühgeräte für den Pflanzenschutz, Düngerstreuer, Transportwannen, Grubber, Kreiseleggen und Stockputzer angeboten¹³. Die Geräte werden von eigenen, auf die Leistung abgestimmten Benzinmotoren¹⁴ mechanisch oder hydraulisch von einer universalen Antriebseinheit angetrieben. Die universalen Antriebseinheiten mit elektrischen Anlasser wurden erst mit einem 13,5 kW leistenden Benzinmotor¹⁵ und seit 2001/2002 auch mit Dieselmotor angeboten.

Untersuchungen zur Arbeitsqualität, zur Handhabung und zum Kraftstoffverbrauch wurden am Kreiselmulcher, am Schlegelmulcher mit universalen Antriebseinheit und am Sprühgerät durchgeführt. Sie sind im Kapitel 3.3 beschrieben.

Der untersuchte Kreiselmulcher¹⁶ wird im Zwischenachsbereich des Geräteträgers angebaut. Er hat eine Arbeitsbreite von ca. 90 cm. An zwei Scheiben sind je drei Messer angebracht. Die Scheiben rotieren mit einem Höhenunterschied von ca. 3 cm zueinander, damit sich die überlappenden Messer nicht berühren. Angetrieben werden die Scheiben von einem 9,6 kW 4-Takt-Benzinmotor der Firma Honda mit elektrischem Anlasser. Der Mulcher stützt sich nicht selbst auf dem Boden ab, sondern wird vom Geräteträger getragen. Mit Stellschrauben kann er in Höhe und Neigung verstellt werden. Zusätzlich kann der Mulcher an einem Handgriff seitlich ca. 10 cm über die Spur des Geräteträgers hinaus ausgeschwenkt werden.

Der untersuchte Schlegelmulcher¹⁷ wird mit der universalen Antriebseinheit betrieben (Abb. 3). Vom Hydraulikmotor der Antriebseinheit wird die Schlegelwelle über eine Kette angetrieben. Der hydraulische Antrieb ermöglicht bei der Tal- wie auch bei der Bergfahrt eine Drehrichtung entgegen der Fahrtrichtung. Die Arbeitsbreite beträgt 100 cm. Die Höheneinstellung erfolgt über Distanzringe am Stützrad. Der Mulcher kann hydraulisch zu beiden Seiten über die Spur des Geräteträgers hinaus ausgeschwenkt werden.

Das Sprühgerät für den Pflanzenschutz ist vom Typ Niko TS8¹⁸ (Abb. 6). Angetrieben wird es von einem 6,6-kW-Benzinmotor. Es verfügt über ein Umkehraxialgebläse, eine Membrankolbenpumpe und acht Düsenstationen. Die gemessenen Leistungen des Sprühgerätes sind im Kapitel 3.5.2 dargestellt. Die Luftleistung wird mit 20 000 m³/h angegeben, der Maximaldruck mit 20 bar. Das Gerät wird mit verschiedenen Brühetanks ausgeliefert. Die Tankinhalte betragen zwischen 80 und 140 Litern. Aus der Funktionszeichnung des Sprühgerätes (Abb. 9) wird deutlich, dass die Armaturen nicht über ein zentrales Absperrventil vor den Düsen verfügen. Zum Abschalten der Düsen im Feld wird das Ventil der Rücklaufleitung geöffnet, der Druckabfall im System im Zusammenwirken mit Rückschlagventilen an den Düsen soll dann einen weiteren Mittelaustritt verhindern.

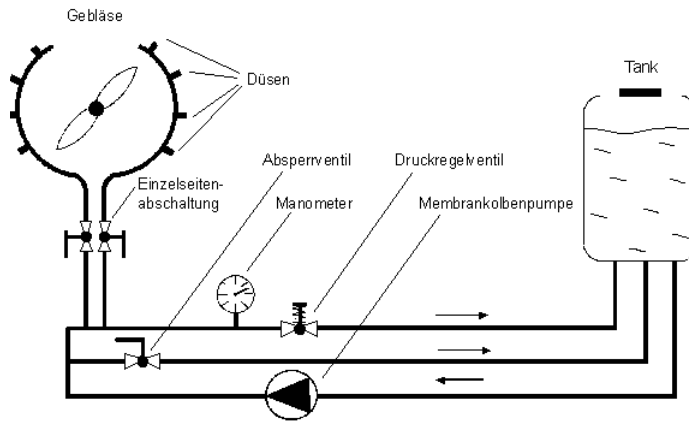


Abb. 9: Funktionsschema des SMS-Sprühgeräts

Der untersuchte Laubschneider¹⁹ in L-Form (Abb. 10) hat fünf senkrechte Kreisel mit einer Gesamtschnitlänge von 150 cm und zwei waagerechte Kreisel mit einer Schnitlänge von 60 cm. Angetrieben wird er über Keilriemen von einem 4,0 kW starken Benzinmotor. Der Messerbalken kann in der Neigung hydraulisch verstellt und von der einen auf die andere Seite des Geräteträgers geschwenkt werden.

Mit der universalen Motoreinheit besteht die Möglichkeit, den Laubschneider zusammen mit dem Mulcher oder mit Bodenbearbeitungsgeräten zu betreiben²⁰. Die angebotenen Transportwannen (Abb. 11) haben einen Rauminhalt von ca. 0,4 m³. Sie sind hydraulisch kippbar und verfügen über eine zu öffnende Bordwand. Als Bodenbearbeitungsgeräte für das SMS werden Grubber und Kreiseleggen (Abb. 12) vertrieben, zum Anlegen von Pflanzlöchern ein Erdbohrer. Die Kreiseleggen werden durch die universale Motor- und Hydraulikeinheit oder mit

einem eigenem Antriebsmotor angetrieben. Bei einer Arbeitsbreite von 120 cm hat die Egge sieben Kreisel. Die Arbeitstiefe wird durch eine in der Höhe verstellbare Walze begrenzt. Als Mineraldüngerstreuer werden Schleuderstreuer²¹ (Abb. 13) und Pendelstreuer hergestellt und mit eigenem Antrieb oder durch die universale Motor- und Hydraulikeinheit betrieben. Die Um-

drehungsgeschwindigkeit der Streuscheibe wird über die Gasstellung des Antriebsmotors geregelt. Die Einstellung der Wurfweite erfolgt über einen verstellbaren Prallschutz, der von oben die Flugbahn des Düngers begrenzt. Der Streuer hat einen kegelförmigen Düngerbehälter, der in der Waagerechten ca. 100 kg Mineraldünger fasst. In Steillagen ist dieses Fassungsvermögen jedoch stark eingeschränkt, da die Gefahr besteht, dass Dünger aus der nicht verschließbaren Öffnung fällt (der Streuer kann in Höhe oder Neigung nicht verändert werden). Etwas Abhilfe kann erreicht werden in dem man die Behälteröffnung zur Talseite hin abschließt – mit dem Nachteil einer dann verkleinerten Öffnung. Möglich wäre auch, einen Deckel anzubringen. Nachteilig ist die Nähe des Düngerstreuers zum Antriebsmotor. Bei staubenden Düngern (Kalkdünger) besteht die Gefahr, dass der Motor bis zur Einschränkung der Betriebstüchtigkeit einstaubt.



Abb. 10: Laubschneider



Abb. 11: Transportwanne



Abb. 12: Kreislegge



Abb.13: Düngerstreuer

3.2 Arbeitszeitbedarf und Arbeitswirtschaftlichkeit

Die Arbeitszeit ist ein entscheidender Kostenfaktor. Untersuchungen über den Arbeitszeitaufwand eines Verfahrens sind deshalb Voraussetzung für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit. Auf der Grundlage des Arbeitszeitaufwandes lassen sich unterschiedliche Verfahren vergleichen und Einsparungsmöglichkeiten erkennen.

3.2.1 Grundlagen

Bei Arbeitszeituntersuchungen wird die notwendige Dauer für die Ausführung eines Verfahrens gemessen und auf die bearbeitete Fläche und die Zahl der eingesetzten Arbeitskräfte bezogen. Richtlinien für die Arbeitszeituntersuchung wurden von REFA - Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V.²² und, speziell für die Landwirtschaft, vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL)²³ herausgegeben. Arbeitszeiten unterliegen einer großen Zahl von Einflussgrößen, wie der Eignung der beteiligten Arbeitskräfte, den Geländebedingungen und dem Zustand der Maschinen. Das Ziel bei Arbeitszeituntersuchungen ist es, möglichst allgemeingültige Ergebnisse zu erhalten, die auf unterschiedlichste Einsatzbedingungen übertragbar sind. Dafür reicht die Erfassung des Gesamtzeitaufwandes für ein Verfahren nicht aus. Bei der Arbeitszeituntersuchung wird statt dessen ein Verfahren in eigenständige und in sich abgeschlossene Elemente zerlegt. Je kleiner der gemessene Arbeitsabschnitt ist, umso geringer ist die Zahl der Einflussgrößen und umso

besser können die Einflussgrößen erkannt und beschrieben werden²⁴.

Durch die Zerlegung in einzelne Elemente wird auch deutlich, warum und an welchen Stellen wie viel Zeitaufwand notwendig ist. Stärken und Schwächen, Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Einsparungsmöglichkeiten der verschiedenen Verfahren können so ausgewertet werden. Sind die gewählten Zeitabschnitte (auch als Zeitelemente bezeichnet) wie gefordert eigenständig und in sich abgeschlossen und damit voneinander unabhängig, können sie als frei kombinierbare Bausteine verwendet werden. Mit diesen Bausteinen kann dann ein Verfahren modellhaft dargestellt werden. In Verbindung mit betriebspezifischen Größen lassen sich aus den einzelnen Bausteinen, unter Berücksichtigung der nicht erfassten Einflussgrößen, Planzeiten ableiten. Werden standardisierte Größen verwendet, ist bedingt auch ein Vergleich des Gesamtzeitaufwandes verschiedener Verfahren möglich.

3.2.2 Durchführung der Arbeitszeituntersuchung

Zur Arbeitszeituntersuchung am SMS wurden

1. mit dem SMS ausgeführte Arbeitsvorgänge in Arbeitszeitelemente zerlegt,
2. Teilzeiten für die einzelnen Elemente ermittelt,
3. eine Formel zur Berechnung des Gesamtzeitaufwandes aus Teilzeiten auf der Grundlage von Halbtagen abgeleitet,
4. eine Kalkulationstabelle erstellt, mit der die Arbeitskraftstunden für verschiedene

Verfahren unter unterschiedlichen Bedingungen errechnet werden können.

Für die wichtigsten Verfahren wurde aus den Teilzeiten der Gesamtarbeitszeitbedarf errechnet. Die Ergebnisse für einzelne Arbeitsvorgänge wurden bewertet und mit alternativen Verfahren auf der Grundlage der vom KTBL veröffentlichten Datensammlungen über Zeitbedarf im Weinbau²⁵ verglichen.

3.2.2.1 Gliederung der Zeitelemente

Die Zeitelemente wurden entsprechend der KTBL-Rechenmethode²⁶ gegliedert (Abb. 14). Das grundlegende Zeitelement ist dabei die als Hauptzeit bezeichnete Arbeitszeit im Feld. Im Unterschied zu Direktzugarbeiten wird mit Seilzuggeräten jede Gasse immer zweimal befahren, bergab und bergauf. Obwohl nicht immer bei beiden Fahrten auch Arbeiten durchgeführt werden, wird dennoch die Tal- und die Bergfahrt zur Hauptzeit gerechnet. Bestimmend für die Hauptzeit ist die Arbeitsgeschwindigkeit. Die Wendezeit wird durch den Wechsel der Fahrtrichtung des Geräteträgers am Ende der Rebasse gekennzeichnet. Am oberen Ende der Gasse wird zusätzlich noch die Winde

um eine oder mehrere Reihen versetzt. Obere und untere Wendezeit unterscheiden sich also.

Die Wendezeiten werden mit der Versorgungszeit zur Nebenzeit zusammengefasst. Während der Versorgungszeiten werden Treibstoffe und Dünge- oder Pflanzenschutzmittel aufgefüllt. Nebenzeit und Hauptzeit bilden die Grundzeit und zusammen mit den Verlustzeiten die Ausführungszeit. Für die Gesamtarbeitszeit werden noch Rüstzeiten auf dem Hof und am Feld und Wegezeiten zwischen Hof und Feld und zwischen verschiedenen Feldern berücksichtigt.

3.2.2.2 Ermittlung der Teilzeiten

Die Haupt- und Wendezeiten wurden bei der durchgehenden Bearbeitung aufeinanderfolgender Reihen ermittelt. Da die Arbeitszeiten auf die Fläche bezogen werden, wurde gleichzeitig die Gassenbreite und -länge festgehalten.

Die Messungen sollen mit geübten Arbeitskräften und unter normalen Betriebsbedingungen durchgeführt werden. Störungen, Unterbrechungen und Zufälligkeiten im Arbeitsablauf müssen ausgeschlossen sein²⁷. Störungen, die nicht zufällig auftreten, sind

meist vermeidbar. Sie sind Folge schlechter Wartung, fehlerhafter Gerätebedienung oder unzureichender Ablaufplanung. Solche vermeidbaren Störungen bleiben bei der Arbeitszeituntersuchung gänzlich unberücksichtigt. Unvermeidbare Störungen können der Grundzeit als Verlustzeit dazugerechnet werden²⁸. Unvermeidbare Störungen sind oft Folge eines konstruktiven Mangels. Sie treten bei noch nicht ausgereiften Konstruktionen, wie dem SMS, gehäuft auf. Ihre Ursachen wurden mit der Weiterentwicklung des SMS oft behoben. Auf Grund des zufälligen Auftretens sind sie nur unzureichend abschätzbar. Für die nach-

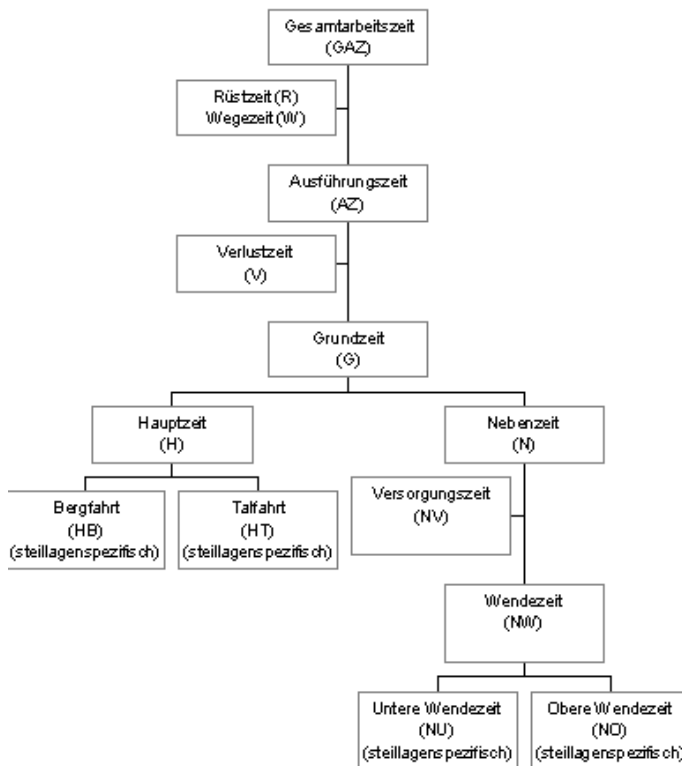


Abb. 14: Gliederung der Zeitelemente

folgende Berechnung der Gesamtarbeitszeit wurden längere Verlustzeiten deshalb nicht berücksichtigt. Kürzere Störzeiten werden bei Arbeitszeituntersuchungen in den Teilzeiten miterfasst. Gemittelt über mehrere Wiederholungen verstärken die Störzeiten so die Wirklichkeitsnähe der Ergebnisse²⁹.

Die ermittelten Haupt- und Wendezeiten der einzelnen Reihen wurden als Teil einer Stichprobe betrachtet und ausgewertet ($n \geq 30$, n ist die Zahl der Stichproben). Als Kenngrößen dienen Mittelwert, Varianz (durchschnittliche quadratische Abweichung vom Mittelwert), Standardabweichungen (Quadratwurzel der Varianz), Variationskoeffizient (Verhältnis von Standardabweichung zu Mittelwert), Spannweite und Kleinst- und Größtwert. Die Varianz und daraus abgeleitete Größen wurden auf Grund des Stichprobenumfangs mit n^{-1} Freiheitsgraden berechnet. Verglichen mit den Haupt- und Wendezeiten unterliegen die Rüst-, Wege- und Versorgungszeiten einer sehr viel größeren Zahl schlecht kontrollierbarer Einflüsse. Gleichzeitig fallen Rüst-, Wege- und Versorgungszeiten im Verhältnis viel seltener an und können deshalb in nur geringem Umfang beobachtet werden, eine zuverlässige statistische Absicherung ist nicht möglich. Diese Zeiten wurden an Hand von Einzelmessungen und Beobachtungen abgeschätzt.

Zusätzlich zu den eigenen Messungen wurden 17 Arbeitszeituntersuchungen über SMS aus früheren Studien ausgewertet. Die Maßstäbe und Bedingungen, nach denen diese Untersuchungen durchgeführt wurden, sind nicht immer eindeutig ausgewiesen, und die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen weichen stark voneinander ab.

Für alle Ergebnisse gilt, dass sie mit einer begrenzten Zahl an Geräteführern und Einsatzorten durchgeführt wurden. Für die Arbeitskraft als Einflussgröße bedeutet das beispielsweise, dass auch bei großem Stichprobenumfang die Ergebnisse zwar die durchschnittliche Leistungsbereitschaft einiger Anwender, nicht aber das durchschnittliche Leistungsvermögen und die Leistungsbereitschaft aller Anwender berücksichtigt – ungeachtet der oben beschriebenen Festlegung auf geübte Mitarbeiter und normale Betriebsbedingungen.

3.2.2.3 Berechnung des Gesamtarbeitszeitbedarfs aus Teilzeiten

Die Bewertung und der Vergleich von Verfahren erfolgt im Allgemeinen auf der Grundlage der Gesamtarbeitszeit in Arbeitskraftstunden je Hektar. Für die meisten Verfahren sind keine Teilzeiten sondern nur die Gesamtarbeitszeit veröffentlicht.

Die Gesamtarbeitszeit lässt sich aus den ermittelten Teilzeiten errechnen. Die bislang zur Berechnung der Gesamtarbeitszeit eines Verfahrens in Arbeitsstunden pro Hektar (AKh/ha) im Weinbau auf der Grundlage von Teilzeiten angewendete Formel ist nur näherungsweise gültig³⁰. Deshalb wurde eine neue Formel abgeleitet, mit der sich die Gesamtarbeitszeit errechnen lässt. Einschränkend gilt, dass sich die Unteilbarkeit einiger in die Berechnung eingehender Faktoren (Rüst- und Wegezeiten, Gassenlänge) in einer Formel nicht berücksichtigen lässt.

Verkürzt³¹ wird zur Berechnung der Arbeitskraftstunden je Hektar (AKh/ha), der

(I) Gesamtarbeitszeitbedarf am Feld je m^2

[min/ m^2] =

$$\frac{\text{Grundzeit} + \text{Rüstzeit am Feld je } m^2 + \text{Wegezeit} \cdot \text{Feld} - \text{Feld}}{m^2}$$

durch die

(II) Am Feld verfügbare Zeit je Halbtage

[min/Halbtage] bei Wechsel von Feld zu Feld =

$$\frac{\text{Halbtagsdauer}[\text{min}] - \text{Rüstzt.Hof} - \text{Wegezeit} - \text{Hof} - \text{Feld} + \text{Wegezeit} - \text{Fd.} - \text{Fd.}}{\text{Halbtage}}$$

geteilt:

(III) Halbtage je m^2 [HT/ m^2] = (I) / (II) =

$$\frac{\text{Grundzeit} + \text{Rüstzeit am Feld} + \text{Wegezeit} - \text{Feld} - \text{Feld}}{m^2} \cdot \frac{\text{Halbtagsdauer} \text{Rüstzeit am Hof} - \text{Wegezeit} - \text{Hof} - \text{Feld} + \text{Wegezeit} - \text{Fd.} - \text{Fd.}}{\text{Halbtage}}$$

Das Ergebnis wird abschließend mit der Zahl der eingesetzten Arbeitskräfte multipliziert:

(IV) AKh/ha =

$$\frac{\text{Halbtage}[\text{HT}]}{m^2} \cdot \text{Zahl der Arbeitskräfte}[\text{AK}] \cdot \frac{10000 m^2}{1 \text{ ha}} \cdot \frac{\text{Stunden}[\text{h}]}{\text{Halbtage}[\text{HT}]}$$

Mit diesen Formeln lässt sich eine Rechentabelle erstellen, aus der für alle Konstellationen die Gesamtarbeitszeit eines Verfahrens entnommen werden kann. Eingegeben werden Wendezeiten, Arbeits- und Transportgeschwindigkeiten, Versorgungs-

Tab. 4: Exemplarische Berechnung des Arbeitszeitbedarfs

Arbeitszeitbedarf je Hektar, auf Grundlage von Halbtagen, einschließlich Rüst- und Wegezeiten				
Gerät Verfahren	SMS als Anhängewinde			
	Größe	Wert	Einheit	
Eingaben	Arbeitskräfte	2	AK	
	Hof-Feld-Entfernung(KTBL: 1 km)	1 km	
	Feld-Feld-Entfernung	(KTBL: 0,5 km)	0,5 km	
	Fahrgeschwindigkeit	(KTBL: 10 km/h)	10 km/h	
	Feldgröße	(KTBL: 0,1 ha)	0,1 ha	
	Zeilenlänge	(KTBL: 60 m)	60 m	
	Zeilenbreite	(KTBL: 1,6 m)	1,6 m	
	Halbtagsdauer	(KTBL: 240 min)	240 min	
	Rüstzeit am Hof, je Halbtag	12	min	
	Rüstzeit am Feld	4	min	
	Versorgungszeit je Tankfüllung	6	min	
	Tankinhalt	80	kg, l	
	Ausbringungsmenge / ha	400	kg/ha, l/ha	
	Arbeitsgeschwindigkeit bei Talfahrt	4	km/h	
	Arbeitsgeschwindigkeit bei Bergfahrt	4	km/h	
	Untere Wende	15	s	
	Obere Wende	24	s	
	Zwischenergebnisse	Wegezeit Hof-Feld	12	min
		Wegezeit Feld-Feld	3	min
Wegzeit je Feld / m ²		0,0030	min/m ²	
Rüstzeit am Feld / m ²		0,0030	min/m ²	
Grundfläche einer Gasse		96	m ²	
Abgedeckte Fläche / Tankfüllung		2000	m ²	
Versorgungszeit / Gasse		0,29	min	
Talfahrt je Gasse		0,90	min	
Bergfahrt je Gasse		0,90	min	
Hauptzeit / Gasse		1,8	min	
Nebenzeit / Gasse		0,94	min	
Grundzeit / Gasse		2,74	min	
Grundzeit / m ²		0,03	min/m ²	
Gesamtzeit am Feld / m ²		0,04	min/m ²	
Zeit am Feld / Halbtag		222	min/m ²	
Halbtage / m ²		0,0002	HT/m ²	
Gassen / Feld		10,42	Gassen	
Felder / Hektar		10	Felder	
Halbtage / Hektar		1,55	HT/ha	
Hektar / Halbtag		0,64	ha/HT	
Grundzeit / Feld		28,52	min	
Gesamtzeit / Feld		34,52	min	
Felder / Halbtag		7,78	Felder	
Rüst- u. Wegezeit je Feld		6	min	
Ergebnisse		Arbeitskraftstunden je Hektar (nach KTBL)	12,44	AKh/ha
	Grundzeit je Hektar	9,51	AKh/ha	
	Grundzeit ohne Versorgungszeit, je Hektar	8,51	AKh/ha	
	Rüst- u. Wegezeit am Feld je Hektar	1,84	AKh/ha	
	Rüst- u. Wegezeit am / vom und zum Hof je Hektar	1,09	AKh/ha	
	Rüstzeit am Feld je Hektar	1,00	AKh/ha	
	Wegezeit von Feld zu Feld je Hektar	0,84	AKh/ha	
	Rüstzeit am Hof, je Halbtag	0,47	AKh/ha	
	Wegezeit vom und zum Hof je Halbtag	0,62	AKh/ha	

zeit, Zeilenlänge, Zeilenabstand, Feldgrößen, Hof-zu-Feld-Entfernung, Feld-zu-Feld-Entfernung und Halbtagsdauer. Beispielhaft ist hier die Berechnung für eine Pflanzenschutzbehandlung mit zwei Arbeitskräften und einer Arbeitsgeschwindigkeit von 4 km/h dargestellt (Tab. 4). Zeilenlänge, Zeilenabstand, Feldgrößen, Hof-zu-Feld-Entfernung, Feld-zu-Feld-Entfernung und Halbtagsdauer entsprechen dem KTBL Standard:

3.2.2.4 Probleme beim Vergleich von Gesamtarbeitszeiten

Um die Vergleichbarkeit verschiedener Verfahren zu ermöglichen, wird die Berechnung der Gesamtarbeitszeit mit standardisierten Reihenlängen und Abständen, Feldgrößen, Entfernungen und Halbtagslängen durchgeführt. Diese Standards beeinflussen das Ergebnis. Die vom KTBL verwendeten Standards sind jedoch nicht mehr alle zeitgemäß³². So bedeutet beispielsweise die Feldgröße von nur 0,1 ha, dass bei den mit dem SMS erzielten Ausführungszeiten mehrere Feldwechsel innerhalb eines Halbtages notwendig werden. Die bei jedem Feldwechsel anfallenden und nur grob abschätzbaren Rüst- und Wegezeiten erhalten dadurch eine größere Gewichtung. Verfahren mit kurzen Ausführungszeiten (beispielsweise auf Grund schneller Arbeitsgeschwindigkeiten) werden durch die kleine Feldgröße gegenüber Verfahren mit langen Ausführungszeiten unterbewertet:

Beispielsweise sind bei der oben aufgeführten Berechnung auf Grund der Feldgröße 7,45 Feldwechsel je Halbtage notwendig. Bei einem Gesamtarbeitszeitbedarf von 12,9 Stunden je Hektar fallen so 1,8 Stunden je Hektar für Rüstzeiten am Feld und Wegezeiten von Feld zu Feld an. Eine Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit um 25 Prozent von 4 auf 5 km/h bewirkt nur eine 11-prozentige Abnahme der Gesamtarbeitszeit. Wird die Rüstzeit statt mit drei Minuten je Feldwechsel mit durchaus praxisüblichen sechs Minuten veranschlagt, erhöht sich die Rüst- und Wegezeit am Feld auf 2,8 Stunden. Der Gesamtarbeitszeitbedarf steigt um 9 % auf 14,04 Stunden.

Unterstellt man statt der Feldgröße von 0,1 Hektar Verhältnisse entsprechend dem Versuchstandort Johannisberg mit 0,66 Hektar, beträgt der Gesamtarbeitszeitbedarf nur noch 11,1 Stunden.

3.2.3 Ergebnisse

Vorab werden die einzelnen Teilzeiten aufgeführt, daran anschließend der Gesamtarbeitszeitbedarf für verschiedene Arbeitsgänge.

3.2.3.1 Rüstzeiten

Unterschieden werden Rüstzeiten auf dem Hof und am Feld. Auf dem Hof müssen Anhängewinden für den Transport zum Feld an einen Schlepper gehängt werden, Anbauwinden an den Antriebsschlepper angebaut werden. Im Allgemeinen werden die Winden nicht täglich an- und abgebaut, sondern erst wenn der Transport- und/oder Antriebsschlepper für andere Aufgaben gebraucht wird. Die Winde mitsamt Geräteträger und Arbeitsgerät sollte täglich gewartet und abgeschmiert werden und die Winden mit eigenem Antrieb und die Arbeitsgeräte müssen täglich betankt werden. Je nach Bedarf muss das Arbeitsgerät auf dem Geräteträger gewechselt werden. Zum Ende jedes Arbeitstages sollte die Winde mit Geräteträger und Anbaugerät grob gereinigt werden.

Die Rüstzeit der Anbauwinde am Feld beginnt mit dem Abbau der Beleuchtungsleiste. Die Anbauwinde und Anhängewinden ohne eigenen Antrieb werden vom Schlepper direkt an die zu bearbeitende Rebgasse gefahren. Die selbstfahrende Anhängewinde wird im Allgemeinen am Feldrand vom Transportschlepper abgehängt (dazu wird der Antriebsmotor gestartet und bei der Dreiradwinde das vordere Rad abgesenkt) und die Winde wird dann eigenständig an die Rebgasse gefahren. An den Winden ohne eigenen Antrieb muss die zapfwellengetriebene Pumpe eingeschaltet werden. Vor Beginn der eigentlichen Arbeiten muss dann die Auffahrpritsche eingerichtet, der Geräteträger entsichert und gegebenenfalls der Motor des Arbeitsgerätes gestartet werden. Einen groben Überblick über die anfallenden Rüstzeiten vermittelt die Tabelle 5.

3.2.3.2 Wegezeiten

Die Wegezeiten für den Transport vom Hof zum Feld und zwischen den Feldern wird bestimmt durch die Entfernung und die durchschnittliche Geschwindigkeit. Die erreichbare Geschwindigkeit hängt wiederum

Tab. 5: Rüstzeiten des SMS (in Minuten)

	Selbstfahrende Anhängewinde		Anbauwinde	
	je Arbeitsgang	je Einsatz (Halbtage)	je Arbeitsgang	je Einsatz (Halbtage)
Abschmieren, betanken (täglich)	8	4	8	4
Anhängen / Anbauen (tägl. / alle 10 Tage)	20	2	30	3
Wechsel des Arbeitsgerätes (alle 10 T.)	30	3	20	2
Abrüsten / Reinigen (tägl.)	6	3	6	3
Rüstzeiten am Hof je Halbtage		12		12
Anrüsten am Feld	2	2	2	2
Abrüsten am Feld	2	2	2	2
Rüstzeiten am Feld, gesamt		4		4

von den Straßenverhältnissen und vom verwendeten Transportfahrzeug ab. Die Anbau- und Anhänger-SMS werden von landwirtschaftlichen Zugmaschinen an den Einsatzort gebracht. Die Höchstgeschwindigkeit der Anhängerwinden ist auf 25 km/h beschränkt. Die Anbauwinden können entsprechend der Höchstgeschwindigkeit des Trägerfahrzeuges transportiert werden.

In KTBL-Berechnungen wird als Transportgeschwindigkeit von Landmaschinen 10 km/h angenommen, ein Wert, der auch für SMS vertreten werden kann.

3.2.3.3 Verlustzeiten

Wie oben ausgeführt, können Verlustzeiten auf Grund von längeren Erfahrungen abgeschätzt werden (vgl. 3.2.2), der Aussagewert ist aber wegen des beliebigen Auftretens beschränkt. Im Beobachtungszeitraum aufgetretene Störungen sind im Abschnitt zur Betriebssicherheit (vgl. 3.3.4) dargestellt. Typische Verlustzeiten auf den Versuchsbetrieben im Jahr 2000 waren 10 Minuten je Arbeitsstunde.

3.2.3.4 Versorgungszeiten

Die Versorgungszeit dient dazu, Treibstoff für den Motor des eingesetzten Arbeitsgerätes zu tanken und Behältnisse, wie z. B. den Pflanzenschutzmitteltank, aufzufüllen. Tankinhalt und Verbrauch (vgl. 4.2) der Arbeitsgeräte bestimmen die Häufigkeit des Tankens. Beim Pflanzenschutz und beim Mulchen mit gleichzeitiger Bandspritzung zur Beikrautbekämpfung reicht eine Tankfüllung immer weiter als eine Behälterfüllung mit

Spritzbrühe. Nachgetankt wird während des Auffüllens der Spritzbrühe. Beim Laubschneider mit spezieller Antriebseinheit reicht eine Tankfüllung über die Halbtagsdauer hinaus. Das Nachtanken geschieht in diesem Fall während der Rüstzeiten.

Die Häufigkeit, mit der Pflanzenschutzgerät und Bandspritze aufgefüllt werden müssen, wird durch die Ausbringungsmenge und den jeweiligen Tankinhalt bestimmt. Die Sprühgeräte fassen je nach Typ zwischen 80 und 140 Liter, die Bandspritze am Kreiselmulcher 42 Liter. Bei einer typischen Ausbringungsmenge beim Pflanzenschutz von 300 l/ha reicht der 140-Liter-Tank für fast einen halben Hektar. Im Allgemeinen wird nur am Vorgewende aufgefüllt. Mit der Bandspritze werden während des Mulchens 100 l/ha ausgebracht, die 42 Liter Tankfüllung reicht also theoretisch für 0,4 ha.

Die Dauer des Auffüllens hängt von der angewandten Technik ab. Bei Winden mit Ladepritsche kann die Spritzbrühe in einem auf der Winde aufgebauten Tank mitgeführt werden. Am Steilhang kann der unterhalb des Versorgungsbehälters abgestellte Geräteträger durch Ausnutzen des Höhenunterschieds aufgefüllt werden. Eine Pumpe ermöglicht das Auffüllen auch wenn der Geräteträger auf der Pritsche abgestellt ist. Ohne Versorgungstank auf der Winde muss mit der Winde entweder auf den Hof oder zu einer anderen Wasserversorgungsstelle gefahren werden, oder es wird die Spritzbrühe durch ein Versorgungsfahrzeug angeliefert. Unter Berücksichtigung der verschiedenen technischen Möglichkeiten wird die Versorgungszeit zum Auffüllen der Sprühbrühe mit sechs Minuten veranschlagt.

Der angebotene Mineraldüngerstreuer hat einen nutzbaren Rauminhalt von 80 Litern.

Auch die für das Auffüllen des Düngerstreuers benötigte Zeit hängt von der eingesetzten Technik ab. Mit einer Ladefläche an der Winde und darauf mitgeführtem (abgesackten) Dünger dauert es ca. 2 Minuten. Abhängig von der Arbeitsgeschwindigkeit, der Reihlänge und der Versorgungszeit ist es entweder vorteilhafter, am Reihenende einen nicht ganz leer gestreuten Streuer aufzufüllen oder die letzte Reihe nur teilweise zu streuen und dann leer an das Reihenende zurückzukehren.

Versorgungszeiten fallen auch bei der Ausbringung organischer Dünger, bei der Einsaat von Begrünung und anderen Transportarbeiten an. Für eine Auflage mit Pferdemist von ca. 5 cm müssen in eine 60 m langen und 1,5 m breiten Rebgasse ca. 9 m³ eingebracht werden. Mit der ca. 0,6 m³ Pferdemist fassenden Transportwanne müssen in jede Gasse also acht Fahren gefahren werden. Für das Beladen der Transportwanne mit einem Schlepper mit Frontlader (und eigens dafür abgestelltem Fahrer) wurde eine Durchschnittszeit von 2,8 Minuten beobachtet. Versuchsweise wurde eine Saatgutmischung von einer in der Transportwanne sitzenden Arbeitskraft ausgebracht. Dabei hatte die Arbeitskraft eine normale Säwanne mit 1,5 kg Inhalt umgebunden, aus der sie das Saatgut entnahm. Bei einer Ausbringungsmenge von 55 kg/ha reicht der Inhalt der Säwanne für ca. drei Gassen mit 60 m Reihlänge und 1,5 m Breite. Danach muss wieder aufgefüllt werden, was ca. 0,5 Minuten dauert. Vereinzelt wird das SMS zum Transport von Trauben bei der Ernte aus den Reihen verwendet. Dazu werden vier Büten in der Transportwanne untergebracht. Während der Versorgungszeit werden die Büten am Vorgewende von Hand in einen Anhänger umgefüllt. Das dauert mit zwei Arbeitskräften ca. zwei Minuten.

3.2.3.5 Wendezeiten

Die untere Wendezeit kennzeichnet den Wechsel der Fahrtrichtung des Geräteträgers am Hangfuß. Dabei wird der Fahrersitz mit der Steuersäule in die neue Fahrtrichtung gebracht und gegebenenfalls (beim Mulcher und Laubschneider) das Arbeitsgerät zur neu zu bearbeitenden Rebzeile hingeschwenkt. Während des Wendens müssen Sprüh- und

Spritzgeräte abgeschaltet sein. Das Abschalten erfolgt, wie auch das Umschwenken der Arbeitsgeräte, bei geübten Geräteführern noch während der Fahrt. Wendezeiten sind also unabhängig vom eingesetzten Arbeitsgerät und, da sich die Geräteträger der beiden Hersteller in ihrer Handhabung nicht maßgeblich unterscheiden, unabhängig vom Fabrikat.

Die obere Wendezeit umfasst das Versetzen der Winde mit dem Geräteträger in die nächste zu befahrende Rebgasse und den Wechsel der Fahrtrichtung am Geräteträger. Bei den am Schlepper angebauten oder vom Schlepper gezogenen Winden wird während der oberen Wendezeit der Schlepper mit der Winde zur nächsten Rebgasse vorgefahren. Im Zwei-Mann-Betrieb hat der Geräteträgerführer während des Vorfahrens ausreichend Zeit, den Fahrersitz von Berg- auf Talfahrt umzustellen. Die Dauer der oberen Wendezeit wird dann ausschließlich durch das Vorfahren bestimmt. Schlepperfahrer, Schlepptyp und Zeilenabstand sind dabei die maßgeblichen Einflussgrößen. Beim Einmann-Betrieb des Anbau-SMS muss der Geräteträgerführer vom auf der Pritsche abgestellten Geräteträger auf den Fahrersitz des Schlepplers und zurück wechseln und vor- oder nachher noch die Fahrtrichtung am Geräteträger wechseln. Mit selbstfahrendem SMS bringt der Geräteträgerführer erst den Fahrersitz und das Arbeitsgerät in die neue Stellung, bevor er die Winde vorfährt. Der Fahrtrichtungswechsel des Geräteträgers am oberen Hangende vollzieht sich gleich dem Fahrtrichtungswechsel am Hangfuß, er entspricht somit der unteren Wendezeit. Der Zeitaufwand für das Vorfahren hängt hauptsächlich vom Fahrer und den Fahrbahnverhältnissen ab.

Zusammenfassend bedeutet dies,

1. die Wendezeiten sind weitgehend unabhängig von der ausgeführten Arbeit
2. der Umfang der unteren Wendezeit ist vom Zeitaufwand für den Fahrtrichtungswechsel des Geräteträgers bestimmt. Das Ein- und Ausschalten oder Umschwenken von Arbeitsgeräten wird während des Fahrtrichtungswechsels von geübten Fahrern ohne zusätzlichen Zeitaufwand erledigt
3. dass für die obere Wendezeit neben dem Zeitaufwand für den Fahrtrichtungswechsel noch Zeit für das Versetzen der Winde benötigt wird.

Tab. 6: Wendezeiten des SMS (in Sekunden, beim Einsatz des Laubschneiders am Schloss Johannisberg in 30 aufeinander folgenden Rebzeilen mit 1,5 m Abstand, Vorfahrt jeweils um eine Zeile)

	Untere Wendezeit	Obere Wendezeit (Anbau-/Anhänge-SMS im 2-Mann-Betrieb)	Obere Wendezeit (Selbstfahrendes SMS)
Mittelwert	15	24	29
Stichprobenumfang	30	30	31
Varianz	11,7	29,0	52,8
Standardabweichung	3,4	5,3	7,3
Variationskoeffizient (%)	23,2	22,3	25,2
Kleinstwert	3	5	16
Größtwer	25	40	49
Spannweite	2	35	33

Tab. 7: Wendezeiten aus älteren Beobachtungen (in Sekunden) (Quellen: DIETRICH 1995, Erhebungen am Fachgebiet Technik 1999)

	Untere Wendezeit	Obere Wendezeit		
		Anbau/Anhängewinde im Zwei-Mann-Betrieb	Anbauwinde im Ein-Mann-Betrieb	Selbstfahrer
Mittelwert	18	41	80	25
Anzahl der Untersuchungen	17	10	3	4
Standardabweichung	8,53	15,94	11,37	6,83
Variationskoeffizient	0,48	0,39	0,14	0,27
Kleinstwert	7,32	21,03	71,00	16,39
Größtwer	43,00	79,00	93,00	32,95

Die Wendezeiten aus eigenen Untersuchungen (Tab. 6).

Zum Vergleich, Wendezeiten aus den 17 älteren Beobachtungen (Tab. 7).

Die einzelnen Untersuchungen weichen erheblich voneinander ab – am Variationskoeffizienten von fast 50 % bei der unteren Wendezeit deutlich erkennbar. Verglichen mit den selbst durchgeführten Arbeitszeitversuchen fällt vor allem die lange obere Wendezeit (41 Sekunden) beim Zwei-Mann-Betrieb auf. Nicht zu erklären ist, warum sie länger sein soll als die durchschnittlich mit nur 25 Sekunden bestimmte obere Wendezeit der selbstfahrenden Winde.

3.2.3.6 Arbeitsgeschwindigkeit als Bestimmungsgröße der Hauptzeiten

Arbeitsgeschwindigkeit und Zeilenlänge sind bestimmend für die Hauptzeiten. Konstruktiv ist die Seilgeschwindigkeit des SMS, und damit die Arbeitsgeschwindigkeit, auf ca. 6 km/h beschränkt. Im Direktzug wird mit dem (Kreisel-) Mulcher, dem Sprüher und dem Laubschneider zwischen 5 und 6 km/h schnell gefahren. Auf Grund des Leistungsvermögens der Anbaugeräte ist diese Arbeitsgeschwindigkeit auch mit dem SMS möglich. Tatsächlich jedoch wird meist mit geringeren Geschwindigkeiten gefahren. Teilweise, weil die Fahrgeschwindigkeit durch geringe Reihenabstände von 1,5 m oder weniger und ungünstige Fahrbahnver-

Tab. 8: Arbeitsgeschwindigkeiten des SMS aus älteren Beobachtungen

	Mulchen		Pflanzenschutz		Laubschnitt	
	Talfahrt	Bergfahrt	Talfahrt	Bergfahrt	Talfahrt	Bergfahrt
Mittelwert (km/h)	2,6	2,8	4,2	4,0	3,2	3,4
Untersuchungen	5	5	7	7	5	5
Standardabweichungen	0,55	0,37	0,8	0,4	0,62	0,53
Variationskzfnt. (%)	21	13	19	10	19	16

hältnisse begrenzt wird, oder weil das Hydrauliksystem an die Leistungsgrenze kommt (bei Fahrbahnen mit sehr hohen Rollwiderständen in Verbindung mit großen Steigungen und hohen Gewichtsbelastungen). Meistens ist jedoch nicht erkennbar, aus welchem Grund eine bestimmte Arbeitsgeschwindigkeit von den Fahrern oder Verantwortlichen gewählt wurde.

Ergebnisse aus älteren Beobachtungen³³ (Tab. 8) zeigen tatsächlich gefahrene Geschwindigkeiten beim Mulchen, Pflanzenschutz und Laubschnitt auf. Sie decken sich mit den Ergebnissen eigener Untersuchungen, bei denen Arbeitsgeschwindigkeiten zwischen 2 und 4 km/h gemessen wurden.

Für die Ausbringung einer 0,1 m hohen Auflage organischen Düngers (am Beispiel Pferdemist) wurde für eine 60 Meter lange, 1,5 m breite Reihe eine durchschnittliche Hauptzeit³⁴ von 50,4 Minuten festgestellt. In dieser Zeit muss der Geräteträger 8mal in die Gasse gefahren werden. Zum Ausbringen zieht ein Arbeiter mit der Gabel den Dünger von der Transportwanne und verteilt ihn gleichmäßig. Der Geräteträgerfahrer unterstützt das Abziehen durch Kippen der Wanne. Beim Transport in die Gasse wird mit einer Geschwindigkeit von 2 bis 3 km/h gefahren, während des Ausbringens mit ca. 1 km/h. Bei der versuchsweisen Ausbringung von Saatgut wurde eine Arbeitsgeschwindigkeit von 2,3 km/h ermittelt. Die Hauptzeit beim Einsatz des Geräteträgers

zum Abtransport von Trauben bei der Lese hängt maßgeblich von der Zahl der eingesetzten Lesekräfte und des Ertrags ab. Die Versuchsfläche Ehrenfels mit 1,8 ha, wurde 2001 mit 24 Lesekräften und einem SMS-Fahrer in 5,25 Stunden (reine Grundzeit) gelesen. Das entspricht 72,9 AKh/ha. Die Steigung auf der Versuchsfläche beträgt zwischen 59 und 73 %. Der Traubenertrag der Versuchsfläche lag bei 1,2 t/ha (angestrebt waren 3 t/ha), die Verhältnisse sind deshalb nicht ohne weiteres auf andere Flächen übertragbar.

3.2.3.7 Gesamtarbeitszeit

Für die wichtigsten mit dem SMS ausgeführten Arbeiten ist der Arbeitskraftbedarf je Hektar in der nachfolgenden Tabelle (Tab. 9) aufgeführt. Darin wird in Anbau- und Anhänger-SMS, mit einer oder zwei Personen betrieben, und selbstfahrendes SMS, jeweils mit zwei Arbeitsgeschwindigkeiten unterteilt. Um den Einfluss der Schlaggröße aufzuzeigen, sind Gesamtarbeitszeiten auf Grundlage des KTBL-Standards und den Maßen der Versuchsfläche Johannisberg und die Grundzeit dargestellt.

In Abbildung 15 ist Gesamtarbeitszeit für das selbstfahrende SMS im Vergleich mit dem Anbau-SMS im Betrieb mit ein und zwei Arbeitskräften dargestellt. Dabei werden die Einsparungsmöglichkeiten beim Be-

Tab. 9: Gesamtarbeitszeiten und Grundzeiten für ausgewählte Bearbeitungsmaßnahmen mit dem SMS (in Stunden je Hektar)

	Arbeitskräfte	Anbau-/Anhänge-SMS						Selbstfahrendes SMS			
		2			1			4	1		
		3	4	5	3	4	5		3	4	5
KTBL-Schlaggröße (0,1 ha)	Pflanzenschutz (80 l Tank, 400 l/ha, 6 min/Füllung)	12,4	11,1		8,3	7,6			6,7	6,0	
	Mulchen mit Unterstockspritzen (42 l Tank, 100 l/ha, 6 min/Füllung)	11,9	10,5		8,0	7,3			6,4	5,7	
	Laubschnitt	11,4	10,0		7,7	7,0			6,1	5,4	
	Rindenmulch (600m ³ /ha), Lager am Feld, zusätzlich Frontlader	449,6									
Johannisberg (0,8ha)	Pflanzenschutz (80 l Tank, 400 l/ha, 6 min/Füll.)	12,8	10,6	9,2	8,3	7,1	6,5		6,7	5,5	4,8
	Mulchen mit Unterstockspritzen (42 l Tank, 100 l/ha, 6 min/Füll.)	12,2	10,0	8,6	8,0	6,9	6,2		6,4	5,2	4,6
	Laubschnitt	11,7	9,5	8,1	7,7	6,6	5,9		6,1	5,0	4,3
	Rindenmulch (600m ³ /ha), Lager am Feld, zusätzlich Frontlader	445,9									
Nur Grundzeit	Pflanzenschutz	11,6	9,5	8,3	7,4	6,4	5,8		5,9	4,9	4,3
	Mulchen mit Unterstockspritzen	11,1	9,0	7,7	7,2	6,1	5,5		5,7	4,6	4,0
	Laubschnitt	10,6	8,5	7,3	6,9	5,9	5,3		5,4	4,4	3,8

trieb mit einer Arbeitskraft deutlich. Im Vergleich zum Anbau-SMS im Betrieb mit zwei Arbeitskräften, verringert sich die Arbeitszeit beim Mulchen, Pflanzenschutz und Laubschnitt mit der selbstfahrenden Winde um 46 bis 48 %.

Die Bedeutung der Arbeitsgeschwindigkeit für die Gesamtarbeitszeit ist in Abbildung 16 dargestellt. Durch die Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit von 3 auf 5 km/h lässt sich die Arbeitszeit um durchschnittlich 30 % reduzieren.

Die Bedeutung der Schlaggröße auf die Gesamtarbeitszeit wird in Abbildung 17 deutlich: Wird für die Berechnungen eine Schlaggröße von 0,8 ha statt 0,1 ha unterstellt, reduziert sich der Arbeitszeitaufwand um durchschnittlich 18 %.

3.3 Arbeitsqualität – Anwendersicherheit – Betriebssicherheit

Zur Beurteilung der Qualität der mit dem SMS durchzuführenden Arbeiten standen Mulcher, Laubschneider und Pflanzenschutzgerät zur Verfügung. Der Schwerpunkt lag dabei auf den Untersuchungen am Pflanzenschutzgerät, da die Applikationsqualität der Pflanzenschutzmittel unmittelbare Auswirkungen auf die Umweltverträglichkeit eines Anbausystems hat. Erfahrungen im Betrieb mit den SMS des Staatsweinguts Rudesheim und des Schlosses Johannisberg bilden die Grundlage für die Beurteilung der Anwenderbelastung, Anwendersicherheit und Betriebssicherheit.

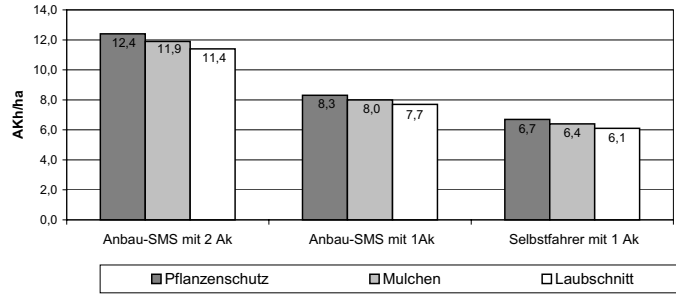


Abb. 15: Arbeitszeitbedarf mit verschiedenen SMS-Typen und unterschiedlicher Anzahl Arbeitskräften (berechnet für die Standardschlaggröße nach KTBL von 0,1 ha)

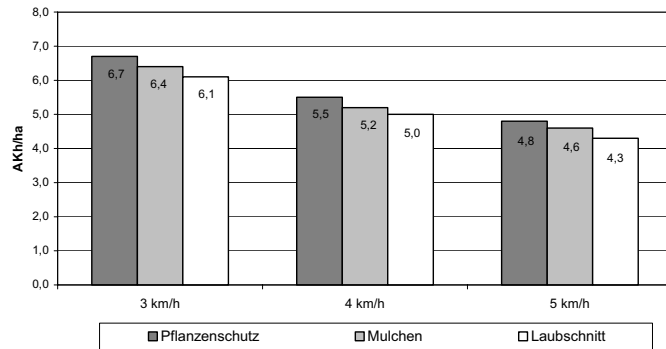


Abb. 16: Arbeitszeitbedarf in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit (berechnet für das selbstfahrende SMS und eine Schlaggröße von 0,8 ha)

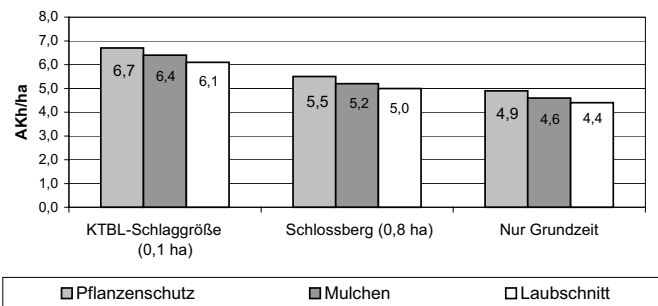


Abb. 17: Arbeitszeitbedarf in Abhängigkeit von der Schlaggröße (selbstfah. SMS)

3.3.1 Arbeitsqualität beim Mulchen und Laubschneiden

Anhaltspunkte zur Beurteilung der Arbeitsqualität beim Mulchen und Laubschneiden finden sich in den DLG-Prüfrahmen³⁵. Qualitätsmerkmale beim Mulchen sind die Schnittbreite, die Schnitthöhe und die Zerkleinerung und Verteilung des Schnittgutes. Angestrebt wird eine Schnittbreite, die nur geringfügig von der Gerätebreite abweicht, um bis an den Rebstock mulchen zu können. Außerdem werden gleichmäßige Schnitthöhen, auch bei lagerndem Bewuchs, und klein zerteiltes und gleichmäßig verteiltes Schnittgut erwartet, um die Verrottung zu

fördern. Beim Laubschnitt gilt ein glatter Schnitt und im Schnittbereich möglichst wenig ungeschnittene Triebe als Qualitätsmerkmal. Untersucht wurde der Kreiselmulcher der Firma Obrecht, der Schlegelmulcher der Firma Clemens und der von beiden Firmen angebotene Laubschneider vom Fabrikat Niko. (Eine Beschreibung der Geräte findet sich im Kapitel 3.1.7).

Beim Kreiselmulcher ist die Schnittbreite nur unwesentlich schmaler als die Gerätebreite. Das Schnittergebnis entspricht bei Begrünung mit mittlerer Wuchshöhe (ca. 20 cm) den gestellten Anforderungen. Der Bewuchs weist nach dem Mulchen jedoch eine gut erkennbare Abstufung in der Schnitthöhe auf. Sie ist Folge der Konstruktion mit zwei sich überlappenden Kreisel, bei der ein Kreisel ca. 3 cm über dem anderen dreht. Das Schnittgut wird ausreichend zerkleinert und verteilt. In der Gasse abgelegtes Rebholz wüchsiger Anlagen wird bei einmaliger Überfahrt nur zu 15–20 % erfasst. Dennoch sorgen die Mulcherkreisel für eine gleichmäßige Verteilung des Rebholzes. Problematisch ist aber die Tendenz zum Schieben des Rebholzes.

Der Schlegelmulcher weist eine im Vergleich zur Gerätebreite ca. 10 cm geringere Schnittbreite auf, bedingt durch die auf der linken Seite des Mulchers geführte Antriebskette. Die Schnitthöhe wird durch ein Stützrad bestimmt. Das Schnittergebnis erfüllt bei üblichen Bewuchshöhen die Anforderungen. Die Schnitthöhe ist gleichmäßig, das Schnittgut wird ausreichend zerkleinert und verteilt. In der Gasse abgelegtes Rebholz wird angeschlagen. Bei hohem, dichtem Bewuchs (durchschnittliche Wuchshöhe > 50 cm) erwies sich der eingesetzte Antrieb (hydraulisch durch Benzinmotor) als nicht ausreichend. Der Mulcher musste wiederholt ausgehoben werden, um sich frei zu arbeiten. Die Folge war eine ungleichmäßige Bearbeitung.

Die Arbeitsqualität des Laubschneiders entspricht den Anforderungen. Die Schnittflächen sind überwiegend glatt und nur vereinzelt bleiben ungeschnittene Triebe im Schnittbereich zurück.

3.3.2 Arbeitsqualität beim Pflanzenschutz

Die Arbeitsqualität bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln wird nach der Güte

der Verteilung beurteilt. Bei einer guten Verteilung werden die zu behandelnden Pflanzenteile zuverlässig erreicht, die erzielte Bedeckung entspricht den Erfordernissen der eingesetzten Mittel und Verluste werden vermieden. Verluste entstehen durch nicht zielgerichtete Ausbringung der Pflanzenschutzmittel. Die Folgen sind Abdrift (Austragung der Pflanzenschutzmittel aus der zu behandelnden Kultur begünstigt durch Wind und Verdunstung), Ablagerung auf dem Boden und unkontrollierte Verteilung mit damit verbundener Überkonzentration.

Pflanzenschutzmaßnahmen bei der Rebe gelten vor allem der Bekämpfung von Pilzkrankheiten. Die Pilze befallen bevorzugt Pflanzenteile, die im Inneren der Laubwand liegen. Zur Pilzbekämpfung werden überwiegend Kontaktfungizide eingesetzt. Diese müssen unmittelbar an die vom Befall bedrohten Pflanzenteile gebracht werden³⁶. In Flachlagen werden dazu Sprühgeräte eingesetzt, in Steillagen außer Sprühgeräten auch Hubschrauber oder Schlauchspritzen³⁷. In Sprühgeräten wird die Sprühflüssigkeit an den Austrittsdüsen unter Druck hydraulisch zerstäubt und die so erzeugten Tropfen von einem durch ein Gebläse aufgebauten Trägerluftstrom an die Zielkultur gefördert. Durch die Wahl der Düsen wird die Tröpfchengröße und, abhängig vom Druck, die Ausbringungsmenge bestimmt.

Der Trägerluftstrom ist durch die Luftgeschwindigkeit, die Querschnittsfläche und die Strömungsrichtung gekennzeichnet. Die erforderliche Luftgeschwindigkeit des Trägerluftstroms wird durch Dichte und Tiefe der Laubwand bestimmt. Bei den verbreiteten Erziehungsraten im Weinbau gilt eine Luftgeschwindigkeit von 10 m/s beim Auftreffen auf die Laubwand als ideal. Eine dabei zur Vermeidung von Verlusten zur Fahrtrichtung schräg nach hinten gerichtete Strömung verbessert die Durchdringung der Reben, so dass auch innenliegende Pflanzenteile und insbesondere Blattunterseiten und Fruchtansätze zuverlässig erreicht werden³⁸.

Die Düsen sind als Anbauteile am Pflanzenschutzgerät frei wählbar. Die Qualität des Trägerluftstroms hingegen ist durch die Gerätebauart bestimmt. Alle mit dem SMS angebotenen Pflanzenschutzgeräte sind vom Typ NIKO TS8 mit (Umkehr-) Axialgebläse. Zur Beurteilung des beim SMS verwendeten Axialgebläses wurde das Luftprofil bestimmt, die Verteilung der damit ausgebrachten Pflanzenschutzmittel untersucht, deren bio-

logische Wirksamkeit bewertet und die Ergebnisse mit alternativen Verfahren verglichen.

3.3.2.1 Vorgehensweise

Im Luftströmungsprofil ist die Geschwindigkeit des Trägerluftstroms, mit der die Laubwand angeströmt wird, in Abhängigkeit von der Höhe über dem Boden und der Gebläse-seite dargestellt. Dazu wird die Windgeschwindigkeit beim ortsfesten Gebläse mit einem Ultraschall-Anemometer gemessen (Abb. 18). Um Unterschiede zwischen rechter und linker Gebläseseite und unterschiedlichen Höhen der Laubwand festzustellen, wird die Windgeschwindigkeit auf beiden Seiten des Gebläses, beginnend 25 cm über dem Boden und danach alle 2,5 cm bis zu einer Höhe von 215 cm über dem Boden, aufgenommen. Die Entfernung zur Mitte des Gebläses, als senkrechte Achse vom Boden durch die Gebläseachse, beträgt dabei 1 m. Gemessen wird in Richtung der Verlängerung des Luftaustritts des Gebläses. Um sicherzustellen, dass der Bereich des maximalen Luftaustritts erfasst wird, werden die Messungen, in Schritten von 2 cm, um bis zu 40 cm in Fahrtrichtung, vor und zurück, verschoben wiederholt. Ausgewertet wird nur die maximale Windgeschwindigkeit auf jeder Seite und in jeder Höhe; woraus dann das Luftstromprofil des Gebläses folgt. Das Ultraschall-Anemometer wird für die Messungen an einem Gerüst auf- und abgeführt. Die Höhe wird mit einem Seilzugsensor aufgenommen und zusammen mit der Windgeschwindigkeit auf einem Rechner abgespeichert.

Für die Messungen des Luftprofils waren die oberen Luftleitbleche entsprechend einer Laubwandhöhe von 2 m ausgerichtet, die unteren waagrecht gestellt. Zum Vergleich wurde das Luftprofil eines im Direktzug verbreiteten Axialgebläses ähnlicher Bauart herangezogen, dem Wanner ZA 24³⁹.

Um die Güte der Verteilung von Pflanzenschutzmitteln bei Gebläsen zu beurteilen, wird

im Anschluss an eine Applikation im Pflanzenbestand oder auf extra ausgelegten Zielflächen die Belagsmasse, der Bedeckungsgrad und die Tropfendichte ausgewertet. Die Belagsmasse wird fluorometrisch gemessen, der Bedeckungsgrad und die Tropfendichte auf ausgelegtem wassersensitivem Papier bestimmt.

Für die fluorometrische Belagsmessung wird die Fluoreszenz einiger organischer Farbstoffe genutzt⁴⁰. Für die Belagsmessungen mit dem Axialsprühgerät wurde der Sprühflüssigkeit als Tracer (Nachweismittel) der Farbstoff Brilliantulfloflavin⁴¹ zugegeben. Die eingefärbte Sprühflüssigkeit wird in einem Pflanzenbestand oder entlang ausgelegter Zielflächen ausgebracht. Nach der Applikation werden die Zielflächen oder die auszuwertenden Blätter aus dem Pflanzenbestand eingesammelt und der an ihnen niedergeschlagene Farbstoff wird mit einer festgelegten Menge destilliertem Wasser gelöst. Mit dem Fluoreszenzspektrometer kann dann die Lichtintensität der einzelnen Lösungen bestimmt werden. Die Lichtintensität verhält sich proportional zur Konzentration des Farbstoffes in der Lösung. Mit Hilfe einer Eichkurve lässt sich so die Tracermenge in der Probe bestimmen. Die ermittelte Menge Tracer wird auf die Größe der Zielfläche oder der ausgewerteten Blattfläche bezogen.

Das zur Beurteilung des Bedeckungsgrads und der Tropfendichte eingesetzte wassersensitive Papier auf Kaseinbasis verfärbt sich an den Stellen, an denen es mit der Sprühflüssigkeit in Verbindung kommt. Das als Zielfläche (Kollektor) ausgelegte, wassersensitive Papier wird im Anschluss an die

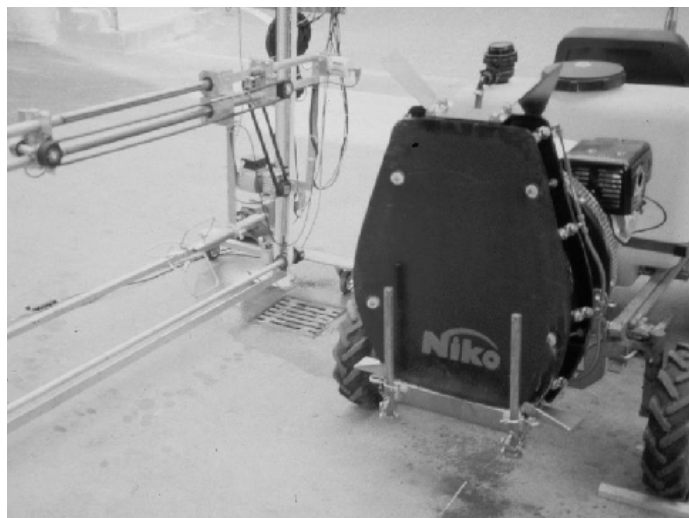


Abb. 18: Messung des Luftströmungsprofils

Applikation eingesammelt und einer digitalen Bildanalyse unterzogen. Dabei entspricht das Verhältnis aus verfärbter zu unverfärbter Fläche des Papiers dem Bedeckungsgrad. Die Tropfendichte wird aus der Zahl klar voneinander abgegrenzter verfärbter Stellen bezogen auf die Papierfläche abgeleitet. Bei einer Tropfendichte von über 400 Tropfen/cm² berühren sich die einzelnen Tropfen, eine Dichte von 400 Tropfen/cm² und mehr wird deshalb nicht weiter ausgewertet. Sie gilt als geschlossener Belag.

Um wiederholbare und vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, wurden die Messungen zur Verteilung der Pflanzenschutzmittel auf einer Prüfstrecke durchgeführt. Entlang der Prüfstrecke waren Kollektoren an eindeutig bestimmten Positionen ausgelegt (Abb. 19). Für diese Untersuchungen wurde das SMS Sprühgerät durchgehend mit Albus ATR Hohlkegeldüsen mit Farbcode gelb bestückt. Der Ausbringungsdruck wurde auf 10 bar eingestellt. Bei diesem Druck ist der Ausstoß der eingesetzten Düsen mit 1,02 l/min angegeben. Zu Beginn der Untersuchung wurde für alle acht Düsen ein durchschnittlicher Ausstoß von 0,97 l/min pro Düse gemessen⁴². Gefahren wurde mit einer Geschwindigkeit von 5,8 km/h. Während der Messungen wurden Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit kontrolliert. Um vergleichbare Bedingungen zu gewährleisten, sollte die Windgeschwindigkeit unter 1 m/s liegen, die Temperatur durfte 25 °C nicht überschreiten und die Luftfeuchtigkeit sollte nicht unter 50 % liegen. Zum Vergleich werden Messergebnisse des Wanner ZA 24 Sprühgeräts von der gleichen Prüfstrecke herangezogen.

Zur Ermittlung der Vertikalverteilung wurden auf beiden Seiten der Prüfstrecke, in 1 m Abstand zur Fahrbahnmittle, 2 m lange Stäbe aufgestellt, 4 Stäbe an jeder Fahrbahnseite im Abstand von 2 m zueinander. Auf diesen Stäben war auf der zur Fahrbahn gerichteten Seite als Zielfläche über die ganze Länge ein Streifen Filterpapier aufgebracht, um die Belagsmasse zu erfassen.

Um das Penetrationsverhalten zu beurteilen, wurden vier hintereinander gestaffelte Reihen aus jeweils sieben, aufrecht stehenden Plastik-

rohren (je 10 cm Durchmesser) am Rand der Prüfstrecke aufgestellt. Mit diesen Reihen werden verschiedene vertikale Ebenen der Laubwand simuliert. In der ersten Reihe standen die Rohre 1 m von der Fahrbahnmittle entfernt im Abstand von 10 cm zueinander. Die Rohre der zweiten und der folgenden Reihen waren jeweils 10 cm von den Rohren der davor stehenden Reihe entfernt. An den Rohren zu beiden Seiten des mittleren Rohrs jeder Reihe war in einer Höhe von 60 bis 200 cm über dem Boden Filterpapier zur Bestimmung der Belagsmasse angebracht. An dem jeweils mittleren Rohr der vier Rohrreihen war wassersensitives Papier als Zielfläche zur Bestimmung von Bedeckungsgrad und Tropfendichte angebracht.

Zur Abschätzung der Verluste durch Abdrift wurden Masten zu beiden Seiten der Prüfstrecke aufgestellt, an denen in vier Höhen Gewebebälle mit definierter Projektionsfläche als Kollektoren aufgehängt waren. Der Abstand der Zielflächen zur Fahrbahnmittle betrug 3 Meter. In den Höhen von 3 m, 4,2 m, 5,4 m und 6,0 m hingen auf jeder Fahrbahnseite je sechs Gewebebälle im Abstand von 50 cm zueinander. Ausgewertet wurde die Belagsmasse.

Die Verluste durch Austrag auf den Boden wurden durch drei Reihen mit je 12 Petrischalen als Kollektoren am Boden erfasst, auf denen die Belagsmasse ermittelt wurde. Eine Reihe mit Petrischalen lag in Fahrbahnmittle und je eine Reihe auf beiden Seiten, im Abstand von 1 m parallel zur Fahrbahnmittle.

Zusätzlich zu den Messungen auf der Prüfstrecke wurde die Verteilung im Pflanzenbestand an Hand der Belagsmasse bestimmt. Am 31.07.2001 wurde dazu im

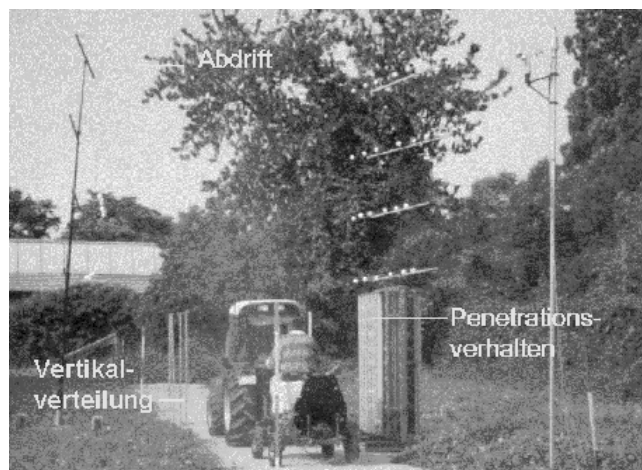


Abb. 19: Gebläseprüfstrecke

Schlossberg eine Behandlungen mit dem SMS und, zum Vergleich, mit der Schlauchspritze durchgeführt. Da in Steillagen vielerorts neben der Schlauchspritze, der Hubschrauber für Pflanzenschutzbehandlungen eingesetzt wird, wurden noch Belagsmessungen nach einem Hubschraubereinsatz am 02.07.2001 in Briedel ausgewertet⁴³.

Für die Applikation war das Sprühgerät des SMS auf jeder Seite mit zwei Düsen mit braunem Farbcode (unten) und mit zwei Düsen mit lila Farbcode ausgerüstet. Als Ausbringungsdruck wurde 6 bar eingestellt. Die Fahrgeschwindigkeit bei der Applikation mit dem SMS betrug 1,34 m/s. Jede Reihengasse wurde bei der Bergfahrt bearbeitet. Bei einem Reihenabstand von 1,5 m ergibt sich so eine rechnerische Ausbringungsmenge von 305 l/ha. Mit der Schlauchspritze wurde, entsprechend der üblichen Verfahrensweise am Schloss Johannisberg, jede 4. Reihe durchlaufen. Die zwischen den durchlaufenen Gassen liegenden Rebzeilen wurden durch die Laubwand mitbearbeitet⁴⁴. Der Druck war mit 27 bar eingestellt, die Ausbringungsmenge betrug 6,82 l/min. Das durchschnittliche Gehtempo betrug 0,51 m/s, woraus sich eine Ausbringungsmenge von 743 l/ha ergibt.

Aus einer der mit dem SMS bearbeiteten Rebzeilen wurde von beiden Seiten je 100 Blätter aus der Traubenzone, je 100 Blätter aus der Gipfelzone und je 50 Trauben für die Belagsmessung gesammelt. Zur Bewertung der Schlauchspritze wurden Blatt- und Traubenproben aus 2 der bearbeiteten Rebzeilen entnommen, um die mögliche Ungleichbehandlung durch das Durchlaufen nur jeder 4. Reihe zu erfassen. Insgesamt wurden also der Belag auf 400 Blätter und 100 Trauben aus der SMS-, und 800 Blätter und 200 Trauben aus der Behandlung mit der Schlauchspritze untersucht. Bei der einen Hälfte der Blätter wurde der Belag von der Blattunterseite, bei der anderen von der Blattoberseite gelöst.

In einem über die ganze Vegetationsperiode 2001 am Schlossberg in Johannisberg angelegten praxisnahen Feldversuch sollte die biologische Wirksamkeit unterschiedlicher in Steillagen angewendeten Pflanzenschutzverfahren untersucht werden. Insgesamt wurden 2001 am Schlossberg sechs Behandlungen durchgeführt, im Anschluss erfolgte eine Bonitur des Pflanzenbestands auf Pilzkrankungen. Untersucht wurden die Varianten:

- A. Hubschrauber-Variante, mit vier Hubschrauberbehandlungen, abschließend zwei Behandlungen mit Traktor-Sprühgerät.
- B. SMS-Variante, 1. Behandlung mit Traktor-Sprühgerät, anschließend fünf Behandlungen mit dem SMS-Sprühgerät.
- C. Schlauchspritzen-Variante, 1. Behandlung mit Traktor-Sprühgerät, anschließende Behandlungen mit der Schlauchspritze.
- D. Schlepper-Variante, durchgehende Behandlung mit Anbausprühgerät im Direktzug.

In vier Wiederholungen je Variante sollte die Wirksamkeit hinsichtlich der Peronospora- und der Botrytis-Bekämpfung beurteilt werden. Der Vorblüte-Behandlung mit dem Traktor bei den Varianten B und C (SMS- und Schlauchspritzen-Varianten) wird nur wenig Einfluss auf den Peronospora- und Botrytis-Befall zum Beurteilungszeitpunkt zugeschrieben. Eingeschränkt wird die Vergleichbarkeit der praxisnahen Varianten durch Unterschiede bei den eingesetzten Mitteln, Aufwandmengen und Behandlungsterminen.

Der Peronospora-Befall wurde am 12.07., am 27.07. und am 05.09.2001 kontrolliert. Die Botrytis-Bonitur wurde am 01.10. durchgeführt. Dazu wurden in jeder der vier Wiederholungen pro Variante 100 Trauben auf jeder Reihenseite bonitiert, insgesamt also 800 Trauben je Variante. Für jede Traube wurde die Befallsstärke als Anteil befallener Beeren je Traube festgestellt, von gar nicht befallen, in Abstufungen von 10 %, bis komplett befallen. Ausgewertet wurde die Befallshäufigkeit und die gewichtete Befallsstärke.

3.3.2.2 Ergebnisse

Das Strömungsprofil des SMS-Gebläses (Abb. 20) weist auf der rechten Seite annähernd über die gesamte Höhe Luftgeschwindigkeiten von 10 m/s oder mehr auf. In den Bereichen um 75 cm und 190 cm vom Boden erreicht die Luftgeschwindigkeit 15 m/s. Anders ist das Luftprofil der linken Gebläseseite. Unterhalb einer Höhe von 60 cm, im Bereich zwischen 90 und 130 cm und oberhalb von 180 cm ist die Luftgeschwindigkeit < 10 m/s, bei 110 cm beträgt sie 5 m/s. Ähnlich wie auf der rechten Seite werden auch links im Bereich von 75 cm die höchsten Luftgeschwindigkeiten erreicht.

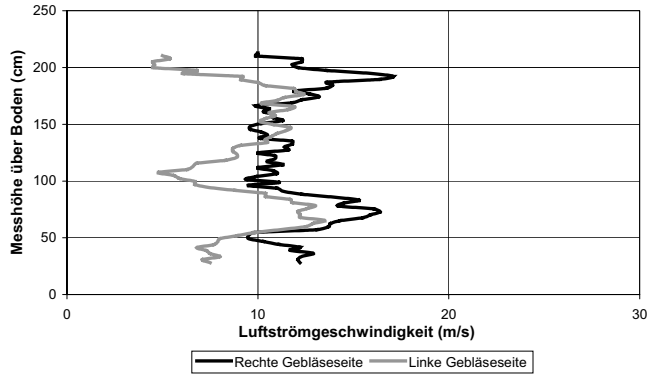


Abb. 20: Strömungsprofil des SMS-Gebläses (Maximalwerte alle 2,5 cm)

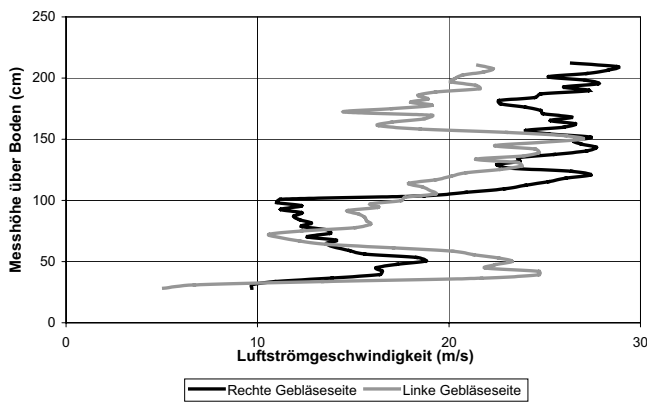


Abb. 21: Strömungsprofil des Vergleichsgebläses (Maximalwerte alle 2,5 cm)

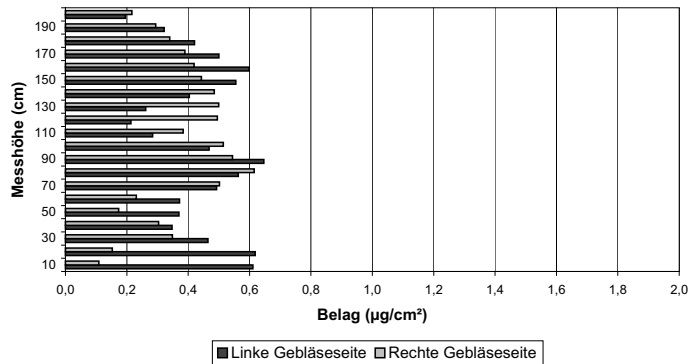


Abb. 22: Vertikalverteilung des SMS-Gebläses

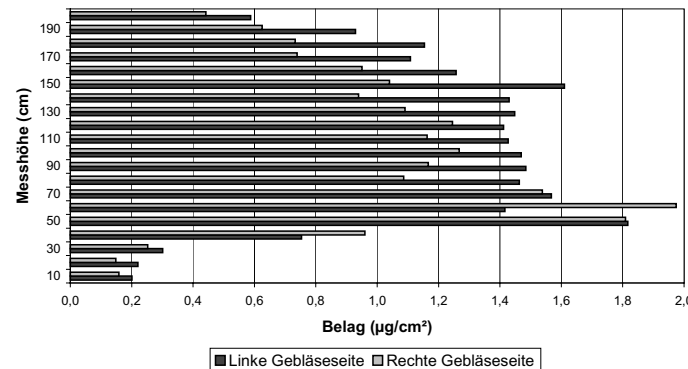


Abb. 23: Vertikalverteilung des Vergleichsgebläses

Das Vergleichsgebläse weist über die gesamte Messhöhe Luftgeschwindigkeiten > 10 m/s auf (Abb. 21). In der Höhe zwischen 110 und 160 cm erreichen die Luftgeschwindigkeiten auf beiden Seiten > 20 m/s.

Bei der Vertikalverteilung des Belags beim SMS gibt es große Unterschiede zwischen rechter und linker Gebläseseite (Abb. 22). Auf der linken Gebläseseite erreicht die Belagsmasse in Bodennähe, im Bereich um 90 cm vom Boden und 160 cm Höhe bis zu $0,6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. In einer Höhe um 50 cm und 120 cm sinkt die Belagsmasse unter $0,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Auf der rechten Gebläseseite liegen die Belagsmassen in der Höhe zwischen 60 cm und 160 cm (fast) durchgehend über $0,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Beim Vergleichsgebläse erreichen die Belagsmassen im Bereich von 50 bis 160 cm Höhe auf beiden Seiten Werte über $1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, und sinken auch darüber nicht unter $0,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Abb. 23).

Die Belagsmasse als Bewertungsgrundlage für das Penetrationsverhalten weist beim SMS über die gesamte Messhöhe eine starke Abnahme mit zunehmender Durchdringungstiefe auf (Abb. 24). Bereits in der zweiten Ebene, d. h. der zweiten Rohrreihe, erreichen die Belagswerte selten $0,1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Beim Vergleichsgebläse ZA 24 steigt die Belagsmasse mit zunehmender Durchdringungstiefe in Bodennähe an, und erreicht in der tiefs-

ten Ebene noch Werte um $0,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Abb. 25).

Der Bedeckungsgrad als Maß für das Penetrationsverhalten spiegelt die Ergebnisse der Belagsmessung wider (Abb. 26).

Auch die Tropfendichte als Bewertungsgrundlage für das Penetrationsverhalten nimmt beim SMS bereits in der ersten Messebene auf unter 100 je cm^2 ab, während das Vergleichsgebläse noch in der dritten Messebene einen annähernd geschlossenen Belag aufweist (Abb. 27).

Der Wirkstoffaustrag über dem Bestand, das Maß für die Abdrift, ist beim Vergleichsgebläse mehr als fünfmal so hoch wie beim SMS (Abb. 28):

Anders verhält es sich bei der Belagsmasse am Boden (Abb. 29). Hier erreicht das SMS den fünf-fachen Wert des Vergleichsgebläses. Durchschnittlich landen beim SMS 23,8 % der ausgebrachten Wirkstoffe auf dem Boden, beim Vergleichsgebläse sind es 2,8 %.

Bei dem zur Beurteilung der Belagsmassen im Pflanzenbestand durchgeführten Vergleich weisen Hubschrauber- und SMS-Applikation auf den Blattunterseiten der Gipfelzone und den Blattoberseiten der Traubenzone ähnliche Werte auf (Abb. 30) (Die Versuche mit dem Hubschrauber wurden an einem abweichenden Versuchsstandort durchgeführt und können deshalb nur mit Einschränkung zum Vergleich herangezogen werden). Bei der Belags-

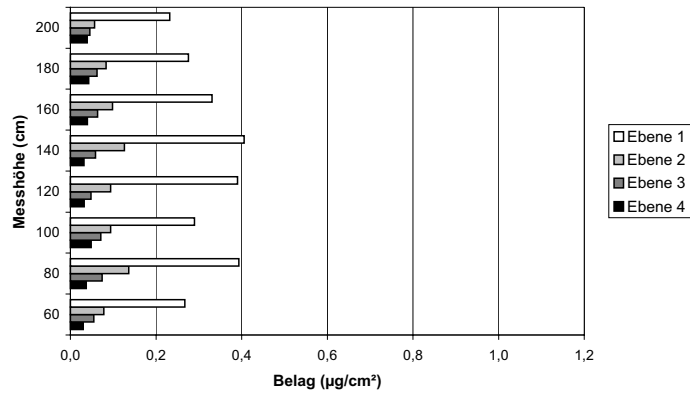


Abb. 24: Belagsverteilung des SMS-Gebläses in verschiedenen Ebenen

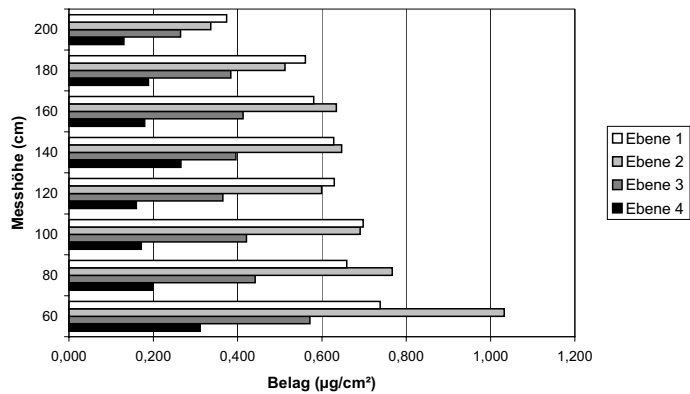


Abb. 25: Belagsverteilung des Vergleichsgebläses in verschiedenen Ebenen

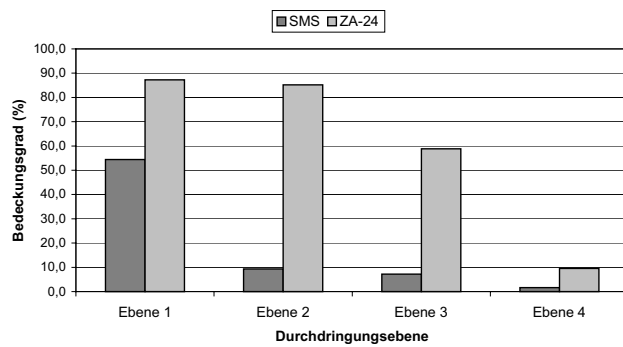


Abb. 26: Bedeckungsgrad des SMS-Gebläses in verschiedenen Ebenen

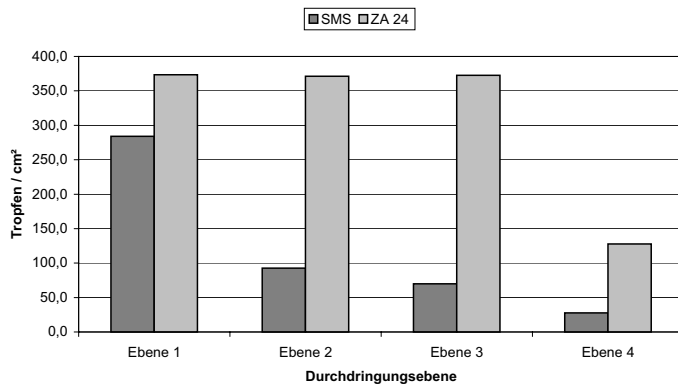


Abb. 27: Tropfendichte des SMS-Gebläses in verschiedenen Ebenen

masse auf der Blattoberseite zeigt sich der Hubschrauber überlegen, auf der Blattunterseite der Traubenzone erreicht man mit dem SMS höhere Belagsmassen. Die Werte für die Schlauchspritze fallen gegenüber dem Hubschrauber und dem SMS ab. Das SMS hat im Vergleich der drei Verfahren den geringsten Variationskoeffizienten bei den Belagsmassen der Blätter.

Beim Feldversuch zur Beurteilung der biologischen Wirksamkeit wurde der Peronospora-Befall am 12.07. und am 27.07. ohne Befund kontrolliert. Die dritte und abschließende Kontrolle am 05.09. ergab in der Schlauch-Spritzen Variante einen leichten Befall, der als wirtschaftlich nicht bedeutend eingestuft wurde.

Bei dem am 01.10. bonitierten Botrytis-Befall zeigten sich hingegen große Unterschiede zwischen den Varianten (Abb. 31). Die Befallshäufigkeit war bei der Schlepper- und bei der Schlauchspritzenvariante mehr als doppelt so hoch wie bei der SMS- und der Hubschraubervariante. Die Befallsstärke bei Einsatz von Schlepper oder Schlauchspritze ist gar drei- bis 4-mal so hoch wie bei Hubschrauber oder SMS-Einsatz.

3.3.3 Anwendersicherheit

Um die Anwendersicherheit (und Umweltverträglichkeit) von Geräten zu gewährleisten, gelten

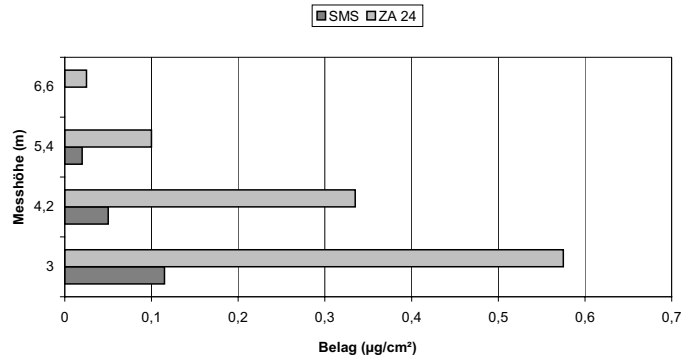


Abb. 28: Wirkstoffaustrag in verschiedenen Höhen

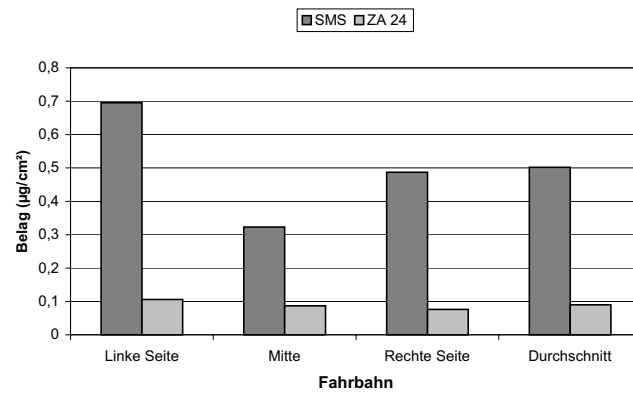


Abb. 29: Belag am Boden

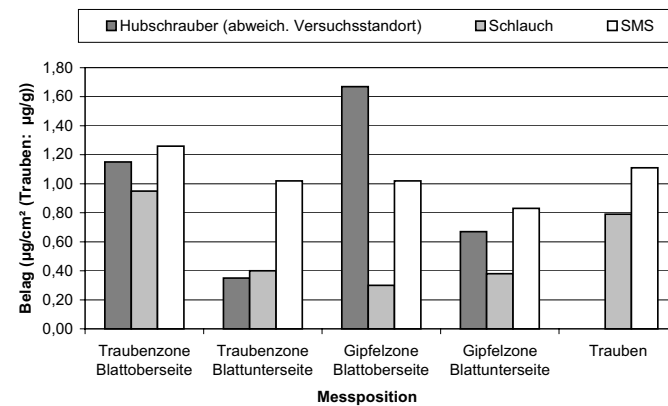


Abb. 30: Belagsmassen im Pflanzenbestand – Verfahrensvergleich

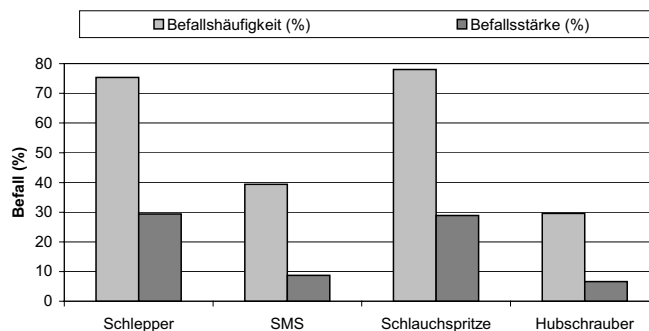


Abb. 31: Botrytisbefall – Verfahrensvergleich

beim Inverkehrbringen von Maschinen und Geräten innerhalb der EU gesetzliche Regelungen. Sie sind in der Maschinenrichtlinie (MRL) aufgeführt⁴⁵. Für Maschinen und Geräte, von denen eine besondere Gefahr ausgeht, wird eine unabhängige Baumusterprüfung, verlangt. Das SMS mit seinen Arbeitsgeräten zählt nicht dazu⁴⁶. Mit der Anbringung des CE-Kennzeichens an jedem ausgelieferten Gerät und einer Erklärung bestätigt der Hersteller, dass die Anforderungen der EU-Maschinenrichtlinie erfüllt sind. Für Pflanzenschutzgeräte muss zusätzlich erklärt werden⁴⁷, dass „sie so beschaffen sind, dass ihre bestimmungsgemäße und sachgerechte Verwendung beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln keine schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier und auf Grundwasser sowie keine sonstigen schädlichen Auswirkungen, insbesondere auf den Naturhaushalt, hat, die nach dem Stande der Technik vermeidbar sind“⁴⁸.

Die beiden Winden, die für die Untersuchungen zur Verfügung standen, tragen die CE-Kennzeichnung. In den mitgelieferten Betriebsanleitungen sind vorschriftsmäßig Angaben zum grundlegenden Aufbau und Betrieb und zur Wartung der Winde und des Geräteträgers enthalten. Hydraulik- und Elektroschaltpläne sind der Betriebsanleitung nicht beigelegt. Keine Angaben werden zum Schallpegel und zu Vibrationen gemacht. Bei beiden Fabrikaten fehlen Informationen zu den mit dem SMS ausgelieferten Arbeitsgeräten und zur sensiblen Funkfernsteuerung.

Unterzieht man das SMS einer Gefahrenanalyse, um die Anwendersicherheit zu beurteilen, stellt das Versagen einer Haltevorrichtung beim Befahren steiler Hänge mit dem Geräteträger die augenscheinlichste Gefahr⁴⁹ dar. Die Ursache dafür kann ein Seilriss, das Lösen der Seilkausche oder des Bolzens, mit dem das Seil am Geräteträger befestigt ist, Bruch von Bauteilen am Geräteträger, die Seilzugkräfte aufnehmen, und Versagen der Bremseinrichtungen an der Seiltrommel sein. Um Seilrissen vorzubeugen, muss das Seil bei Beschädigungen ausgetauscht werden⁵⁰. Der Zustand des Seils und der Seilkausche, ob geschraubt oder gepresst, sollten regelmäßig überprüft werden, genauso wie der Bolzen und sicherheitsrelevante Bauteile am Geräteträger. Der Bolzen muss mit Mutter und Splint gesichert sein. Die Seiltrommel ist durch ein Lasthalteventil

und eine Haltebremse gesichert (vgl. 3.1). Letztere bremst das Seil auch bei vollkommenem Hydraulikdruckabfall. Als Sicherung bei einem Versagen der Haltevorrichtung sind die Geräteträger mit Fallspeissen als Notbremse ausgerüstet, die von Hand ausgelöst werden können oder bei plötzlicher Seilentlastung durch zurückschnellen der federgespannten Anhängeseile selbsttätig auslösen.

Ungeachtet der beschriebenen Sicherheitseinrichtungen, kam es im Untersuchungszeitraum vereinzelt zu ungewollten Beschleunigungen des Geräteträgers bei der Talfahrt. Unsachgemäße Bedienung ist eine Ursache. Wird die Drehzahl des Antriebsmotors bei der Talfahrt stark zurückgenommen, reicht der Öldurchfluss nicht aus, um die am Geräteträger eingestellte Geschwindigkeit zu erreichen. Das Ventil, das den Zufluss zur Winde regelt, ist dabei weit geöffnet. Wird die Motordrehzahl jetzt plötzlich erhöht, fließt weit mehr Öl zur Winde als benötigt und der Seilablauf wird ungewollt so lange beschleunigt, bis das Ventil auf die neue Ölmenge nachgeregelt hat. Mit konstanter Drehzahl des Antriebsmotors während der Talfahrt auf einem für die gewünschte Fahrgeschwindigkeit ausreichenden Niveau und ohne plötzliche Drehzahlwechsel, lassen sich diese ungewollten Beschleunigungen vermeiden. Ungeklärt blieb die Ursache eines Zwischenfalls, bei dem die Winde, obwohl vom Geräteträgerfahrer angehalten, weiter abrollte. Grundsätzlich soll die Winde auch im Falle eines Funkaussetzers stoppen.

Eine weitere Unfallgefahr stellt das Umstürzen der Winde dar. Während des Untersuchungszeitraums kam es zu einem Unfall, als die selbstfahrenden, dreirädrige Winde bei der Vorfahrt kippte und nur von einer Weinbergsmauer am Umstürzen gehindert wurde. Der Hersteller hat auf die Gefahr des Umstürzens reagiert, indem der Schwerpunkt bei den neueren dreirädrigen Winden tiefer gelegt wurde. Die Gefahren, die von den Arbeitsgeräten ausgehen, entsprechen denen beim Betrieb dieser Geräte im Direktzug.

Zur Beurteilung der Lärmgefährdung beim Mulchen und Pflanzenschutz mit dem SMS wurden orientierende Messungen zur Schalleinwirkung auf den Geräteträgerfahrer durchgeführt. Gemessen wurde der A-frequenzbewertete energieäquivalente Dauerschallpegel (L_{Aeq})⁵¹, während des Betriebs (Tab. 10). Dazu wurde das Mikrofon des

Tab. 10: Dauerschallpegel des SMS

Messgröße	Mulchen	Pflanzenschutz
Äquivalenter Dauerschallpegel (L_{Aeq})	88,2 dB	93,0 dB

Schallpegelmessers in der Nähe des Fahrerohrs positioniert. Der energieäquivalente Dauerschallpegel bildet mit Zuschlägen für Impulshaltigkeit und Tonhaltigkeit den Beurteilungspegel, der die Wirkung eines Geräuschs auf das Gehör kennzeichnet.

3.3.4 Betriebssicherheit und Handhabung

Im Untersuchungszeitraum der Jahre 2000 und 2001 wurde die Betriebssicherheit bei den beiden beurteilten SMS (dem Anbau-SMS der Firma Obrecht und dem selbstfahrenden SMS der Firma Clemens) vor allem durch Probleme mit der Spillwinde eingeschränkt. Daneben führten Störungen des Funks zu Betriebsunterbrechungen. Hinsichtlich der Handhabung bereitet vor allem der Umbau der Arbeitsgeräte am Geräteträger Probleme.

Bei der im selbstfahrenden SMS eingesetzten Spillwinde kam es nach ca. 150 Betriebsstunden zum Achsenbruch an einer der beiden Rillenscheiben. Als Ursache wurde vermutet, dass die fliegend gelagerten Achsen der Rillenscheiben nicht vollkommen parallel zueinander ausgerichtet waren. Dadurch war der Abstand der Rillenscheiben beim Eintreten des Seils geringer als beim Austreten. Da die für einen Umlauf zwischen den beiden Rillenscheiben benötigte Seillänge durch den Abstand der Rillenscheiben beim Eintreten bestimmt wird, reicht die Seillänge nicht mehr aus, wenn der Abstand zunimmt. Es kommt zur Dehnung oder zum Bruch des Seils oder, wie geschehen, zum Bruch einer Rillenscheibenachse. Die nach dem Achsenbruch neu eingebaute baugleiche Spillwinde brach nach kürzester Zeit an gleicher Stelle. Daraufhin wurde eine Winde mit beidseitig gelagerten Rillenscheibenachsen eingebaut.

Im weiteren Betrieb der Spillwinde traten wiederholt Seilbeschädigungen auf – Knick im Seil, Korbformbildung und schließlich Risse ganzer Litzen. Als Grund für den raschen Seilverschleiß wurde zuerst die hohe Zahl der Biegewechsel bei geringem Trommeldurchmesser vermutet⁵². Mit der Zeit zeigte

sich jedoch, dass das Seil einseitig auf der Speicherhaspel aufgerollt wurde, was zu Seilüberwürfen und Schlingenbildung führte. Die Hauptursache für die Seilbeschädigungen war aber, dass durch die hohe, einseitige Seilauflage auf der Haspel das Seil zwischen dem Rand der Haspel und dem Schutzblech um die Haspel gequetscht wurde. Eine Leitrolle, die das Aufrollen auf die Haspel verbessert hätte, gab es an der Winde nicht. Da kleinere Veränderungen an der Seilführung nicht zu einem nachhaltig verbesserten Aufrollverhalten führten, wurde schließlich der Austausch der Spillwinde durch eine kontrolliert aufrollende Trommelwinde vorgenommen.

Seilbeschädigungen durch Schlaufenbildung gab es an der Trommelwinde des untersuchten Anbau-SMS. Das Seil darf zur Talfahrt des Geräteträgers nur unter Zug, entsprechend der Vorfahrt des Geräteträgers, abgerollt werden. Ansonsten können sich lose Seillagen auf der Trommel bilden, die beim Wiederaufrollen zur Schlaufenbildung führen. Wenn der Geräteträger bei der Talfahrt durch ein Hindernis oder Flachstück gebremst wird, soll durch das dann lose Seil ein Magnetschalter betätigt werden. Mit diesem Schalter wird die Seiltrommel gestoppt und weiteres Abrollen verhindert. Probleme treten auf, wenn der Abstand des Schalters zum Seil zu groß ist und die Trommel nicht rechtzeitig gestoppt wird.

Probleme mit dem Funk zur Steuerung der Winde führten während des gesamten Beobachtungszeitraums wiederholt zu Betriebsstörungen. Einwirkungen der Oberleitung von Bahnschienen und des Funkverkehrs auf dem Rhein konnten weitestgehend ausgeschlossen werden. Als Ursache konnte statt dessen Kontaktstörungen bei der Funkanlage auf dem Geräteträger ermittelt werden.

Weitere Einschränkungen der Betriebssicherheit gab es durch die mobile Hydraulikleinheit auf dem Geräteträger des selbstfahrenden SMS. Sie hatte sich im Betrieb selbsttätig gelöst. Der Grund waren gedehnte Haltehaken. Die Haken wurden nachgestellt und durch Splinte gegen unbeabsichtigtes Öffnen gesichert. Ebenfalls gelöst haben sich im Betrieb die Bolzen der Hydraulikmotoren am Laubschneider. Beim Geräteträger der untersuchten Anbau-SMS brachen die zur Sicherung der Achsschenkellenkung verwendeten Splinte wiederholt ohne außergewöhnliche Krafteinwirkung. Am Kreiselmul-

cher hatten sich die wartungsfreien Lager über Winter zugesezt und mussten ausgetauscht werden.

Der Wechsel der Arbeitsgeräte am Geräteträger ist bei beiden Fabrikaten schwer und oft nur mit zwei Arbeitskräften durchführbar. Besonders gilt das für den Anbau der schweren mobilen Hydraulikeinheit. Verbesserung bieten leichtgängige Hebevorrichtungen wie Verstellspindeln an den Anbaugeräten.

Mit dem am Geräteträger des selbstfahrenden SMS eingesetzten Handgasschalter ist die Geschwindigkeit schwer zu regulieren. Vor allem ist es damit nicht möglich, wie beim Pflanzenschutz notwendig, eine einheitliche Geschwindigkeit einzustellen. Hier muss die bereits vorhandene Möglichkeit zur Vorwahl eines Geschwindigkeitsbereichs verbessert werden.

- ¹ Vgl.: Auernhammer, H. (1986): Manuskriptdruck zur Vorlesung Landwirtschaftliche Arbeitslehre, Institut für Landtechnik der TU München
- ² Anbieter ist beispielsweise die Fa. Binger Seilzug GmbH, Saarlandstrasse 246-248, 55411 Bingen
- ³ Vgl.: Bäcker, G. (1975): Arbeitsgeräte für die Seilzugtechnik im Weinbau (Steillagen), KTBL-Arbeitsblatt 0141, Darmstadt; und: Bäcker, G. (1984): Arbeitsgeräte für den Seilzug, KTBL-Arbeitsblatt 34, Darmstadt; und: Zipse, W., Kohl, E. (1975): Geräte zum Traubentransport aus Seilzuglagen, KTBL-Arbeitsblatt 65, Darmstadt
- ⁴ Firma Clemens, Rudolf-Diesel-Str. 8, 54516 Wittlich/Mosel
- ⁵ Fa. Leible Landtechnik, Bühlmatten 10, 77770 Durbach
- ⁶ Fa. Obrecht Weinbautechnik, Weintalstraße 25, 77704 Oberkirch
- ⁷ Nur bei Geräten der Fa. Obrecht
- ⁸ Die korrekte Bezeichnung für diese Windenbauart lautet Treibscheibenwinde. Gebräuchlich ist aber der Begriff Spillwinde, der eigentlich für die glockenförmigen Trommeln auf Schiffen vorbehalten ist.
- ⁹ Bei Konstanzsystemen wird der Ölstrom in Neutralstellung am Wegeventil in den Tank geleitet. Wird am Ventil Öl zum Verbraucher geleitet, wird der Volumenstromüberschuss über das Druckbegrenzungsventil abgeführt. Unter Last steigt der Systemdruck somit immer auf den am Druckbegrenzungsventil eingestellten Maximalwert. Bei lastkompensierten Systemen wird der Druck entsprechend dem Lastdruck des Verbrauchers (und dem Steuerdruck der Druckwaage) an der Druckwaage eingestellt. In Verbindung mit Verstellpumpen wird bei lastkompensierten Systemen der geförderte Volumenstrom an den Verbrauch angepasst.
- ¹⁰ Konstantpumpen sind eingebaut in Winden der Fa. Clemens und Anbauwinden der Fa. Obrecht
- ¹¹ Darstellungen der unterschiedlichen Hydrauliksysteme gibt es in: Noack, S. (2001): Hydraulik in mobilen Arbeitsmaschinen, Bosch Automation (Hrsg.), Ditzingen
- ¹² Auch der Fahrtrieb des selbstfahrenden SMS ist durch Lasthalteventile gesichert.
- ¹³ Etwas zeitgleich zu dieser Arbeit begannen Untersuchungen zur Weiterentwicklung des SMS mit der Hauptzielsetzung weitere Arbeitsgänge zu mechanisieren. Vgl.: Rühling, W. (2002): Untersuchungen zur Weiterentwicklung seilgezogener Mechanisierungssysteme. ATW-Bericht 117, Darmstadt (erschienen nach Fertigstellung dieser Arbeit)
- ¹⁴ Fabrikat Honda
- ¹⁵ Fabrikat Briggs&Stratton
- ¹⁶ Firma Obrecht
- ¹⁷ Firma Clemens
- ¹⁸ Die Firmen Obrecht und Clemens vertreiben beide das gleiche Sprühgerät. Der Hersteller ist: Niko, Nipper Maschinen- und Fahrzeugbau, Im Mühlgut 1, 77815 Bühl
- ¹⁹ Der Laubschneider wird ebenfalls von der Firma Niko hergestellt. Er wird sowohl mit eigenem Antriebsmotor und für den Antrieb mit der universellen Antriebseinheit angeboten.
- ²⁰ Firma Obrecht.
- ²¹ Fabrikate Niko und Vicon
- ²² Vgl.: REFA Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V. (Hrsg.) (1984): REFA-Buch Landwirtschaft Teil 1, Methoden des Arbeitsstudiums im Landbau, Darmstadt
- ²³ Vgl.: Auernhammer, H. (1976): Eine integrierte Methode zur Arbeitszeitanalyse, KTBL-Schrift Nr. 203, Darmstadt
- ²⁴ Dort wo es möglich ist, kann durch wiederholte Zeitmessungen und Mittelwertbildung die Streuung der Arbeitszeit auf Grund unbestimmbarer Einflussgrößen eingeschränkt erfasst werden. Um die Arbeitszeit in Abhängigkeit der Einflussgrößen genau bestimmen zu können, bedarf es mindestens 2n Messwerte, mit n gleich der Anzahl möglicher Einflussgrößen, wenn a) alle Einflüsse bekannt sind, b) für die einzelnen Einflüsse der jeweilig kleinste und größte Wert gemessen werden kann und c) eine lineare Abhängigkeit der Arbeitszeit von einzelnen Einflussgrößen besteht. Ein in der Realität nicht darstellbares Unterfangen.
- ²⁵ KTBL (Hrsg.) (2001): KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, Darmstadt
- ²⁶ Dargestellt in: Jäger, P. (1991): Zeitbedarf von Feldarbeiten, in: Landtechnik 1-2/91, 69-71; 3/91, 123-128; 4/91, 188-190
- ²⁷ Vgl. Auernhammer, H. (1986): Manuskriptdruck zur Vorlesung Landwirtschaftliche Arbeitslehre, Institut für Landtechnik der TU München
- ²⁸ Vgl. Jäger, P. (1991): Zeitbedarf von Feldarbeiten, in: Landtechnik 1-2/91, 69-71
- ²⁹ Vgl.: Auernhammer, H. (1976): Eine integrierte Methode zur Arbeitszeitanalyse, KTBL-Schrift Nr. 203, Darmstadt

- ³⁰ Die Formel geht auf die Dissertation von Dr. W. Schenk zurück und wird zu KTBL-Berechnungen des Arbeitszeitbedarfs in Steillagen eingesetzt (am 17.1.2001, als Fax von E. Kohl, Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt Trier (SLVA))
- ³¹ Zur ausführlichen Herleitung der Formel und Beispiele zu den Beschränkungen der Formel siehe Anhang.
- ³² KTBL (Hrsg.) (2001): *KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft*, Darmstadt
- ³³ Quellen: Dietrich, J. (1995): *Mechanisierung und Produktionsplanung im Steillagenweinbau*. KTBL-Schrift 366, Darmstadt, und Erhebungen am Fachgebiet Technik, Forschungsanstalt Geisenheim 1999
- ³⁴ Einschließlich der oberen Wendezeit, die Wende am unteren Cassenende erfolgt während des Beladens.
- ³⁵ DLC Prüfstelle für Landmaschinen (1996): *DLC-Prüfrahen, Laubschneidegeräte für den Weinbau*, Stand Oktober 1996 (unveröffentlicht)
- ³⁶ Vgl.: Bäcker, G. (1988): *Einfluss der Gebläsebauart auf die biologische Leistung beim Pflanzenschutz im Weinbau*. In: *Gesunde Pflanzen*, 7/88, 261-265
- ³⁷ Grundlagen zu Pflanzenschutzgeräten finden sich in, Jeske, A. (1968): *Pflanzenschutztechnik*, Berlin; Bäcker, G. (1984): *Pflanzenschutztechnik im Weinbau*, KTBL-Schrift 295, Darmstadt
- ³⁸ Vgl.: Bäcker, G. (1988): *Einfluss der Gebläsebauart auf die biologische Leistung beim Pflanzenschutz im Weinbau*. In: *Gesunde Pflanzen*, 7/88, 261-265
- ³⁹ Alle Messergebnisse mit dem Vergleichsgebläse Wanner ZA 24 sind von Dr. G. Bäcker, Geisenheim
- ⁴⁰ vgl.: Rau, H., Dörries, U., Zaska, J. (1971): *Anwendung der Fluorometrie zur Verteilungsmessung in der Pflanzenschutztechnik*, in: *Landtechnische Forschung* 3-4/71, 93-101
- ⁴¹ 4-Amino-N-polylnaphthalin-1,8-dicarbonsäureimid-3-sulfonsaures-Natrium
- ⁴² Die Einzelergebnisse der Düsen streuten zwischen 0,94 und 1,01 l/min.
- ⁴³ Die Ergebnisse des Hubschraubereinsatzes entstammen Untersuchungen unter der Leitung von G. Bäcker, Geisenheim.
- ⁴⁴ Teilweise wird am Schloss Johannisberg mit der Schlauchspritze auch nur jede 6. Reihe durchlaufen.
- ⁴⁵ Maschinenrichtlinie von: Europäisches Parlament und Europäischer Rat (1998): *Richtlinie 98/37/EG zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Maschinen*, in: *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft*, 23.7.98, L 207/1 – L207/46. In Deutschland in der 9. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz (Maschinenverordnung – 9. GSGV) umgesetzt
- ⁴⁶ Siehe Anhang IV der Maschinenrichtlinie; von den landwirtschaftlichen Maschinen sind davon nur Sägen, Überrollbügel, Schutzaufbauten und Gelenkwellenschutze betroffen
- ⁴⁷ vgl. §25 Pflanzenschutzgesetz, in: *Bundesrepublik Deutschland (1998): Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz) vom 14.5.98*, in: *BGBL. I*, 950. ÄndG v. 16.6.98 in: *BGBL. I*, 1527. Bestimmungen (Umweltanforderungen) für neue Geräte sind in der Normenreihe DIN EN 12761 (DIN (Hrsg.) (2001)) enthalten.
- ⁴⁸ vgl. §24 Pflanzenschutzgesetz
- ⁴⁹ „Gefahr ist ein... (erkennbar) bedrohlicher Zustand ... , der beim Eintreten besonderer Umstände zu einem Schadensereignis führen kann“, zitiert nach REFA Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V. (Hrsg.) (1986): *REFA-Buch Landwirtschaft Teil 2, Mensch und Arbeit im Landbau*, Darmstadt
- ⁵⁰ Kriterien für die Ablegereife (Schädigungen, bei denen ein Drahtseil ausgetauscht werden muss) sind aufgeführt in: DIN (Hrsg.) (1974): *Grundsätze für Seiltriebe*, DIN 15020 Blatt 2, Berlin
- ⁵¹ vgl.: DIN (Hrsg.) (2000): *Integrierte mittelwertbildende Schallpegelmesser*, DIN EN 60804, Berlin
- ⁵² Ein geringer Trommeldurchmesser zu Seildurchmesser Verhältnis (³¹ Zur ausführlichen Herleitung der Formel und Beispiele zu den Beschränkungen der Formel siehe Anhang. 10) führt zu schnellem Biegewechselbruch

4 Messungen zum Leistungsbedarf und Energieverbrauch an Seilzugmechanisierungssystemen

Im folgenden Kapitel sind Material, Methoden und Ergebnisse der Messungen zum Leistungsbedarf und Energieverbrauch der Seilzugmechanisierungssysteme (SMS) dargestellt. Die Zerlegung der Verfahren in einzelne Elemente ermöglichte es dabei, die Ergebnisse auf Einsatzbedingungen mit unterschiedlichen Steigungen, Bodenbedingungen und Gerätegewichten zu übertragen.

4.1 Leistungsbedarf

Die Kenntnis des Leistungsbedarfs einer Maschine und der dem Leistungsbedarf zu Grunde liegenden Kräfte ist Voraussetzung:

Für die Ermittlung der Betriebsweise mit dem geringsten Energiebedarf unter Wahrung der Betriebs- und Anwendersicherheit.

- Zur Bestimmung der Anforderungen an die Antriebseinheit. Erfolgt die Leistungsver-sorgung durch einen Schlepper über die Gelenkwelle, kann die Mindestgröße der Antriebsmaschine ermittelt werden. Besitzt das Gerät eine eigene Antriebsmaschine wird mit Kenntnis des Leistungsbedarfs deutlich, ob der Antrieb ausreichend oder zu groß ist.
- Um zu bestimmen, ob Bauteile ausreichend und gleichzeitig nicht zu (Kosten-)aufwendig dimensioniert sind.
- Um den Wirkungsgrad, das Verhältnis von Leistungsabgabe zu Leistungszufuhr, zu beurteilen. Ein hoher Wirkungsgrad kennzeichnet eine gute Konstruktion mit geringen Energieverlusten, was in der Regel eine geringe Umweltbelastung und niedrige Betriebskosten bedeutet.

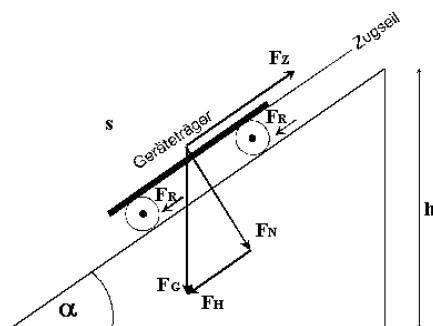


Abb. 32: Kräfte am Geräteträger

4.1.1 Grundlagen

Zur Ermittlung der Leistungsanforderungen müssen zuerst die Kräfte bekannt sein, die beim Betrieb des SMS wirken, maßgeblich bei der Fahrt des Geräteträgers¹ (Abb. 32). Der Geräteträger übt im Stand und bei gleichförmiger Talfahrt über das Windenseil eine Zugkraft auf die Winde aus. Die Zugkraft entspricht der durch den Rollwiderstand gebremsten Hangabtriebskraft:

$$\text{Zugkraft}_{\text{Tal}} = \text{Hangabtriebskraft} - \text{Rollwiderstand}$$

Der Geräteträger rollt nur so lange den Hang ab, wie die Hangabtriebskraft größer oder gleich dem Rollwiderstand² ist. Bei geringeren Hangneigungen α wird der nicht angetriebene Geräteträger durch die Haftreibungskräfte entgegen der Hangabtriebskraft am Hang gehalten.

Bei gleichförmiger Bergfahrt wirkt die von der Winde erbrachte Zugkraft der Hangabtriebskraft und dem Rollwiderstand entgegen:

$$\text{Zugkraft}_{\text{Berg}} = \text{Hangabtriebskraft} + \text{Rollwiderstand}$$

Der Rollwiderstand wird durch die Verformungsarbeit der Reifen am Boden, der Reibung zwischen Reifen und Boden, der Reibung in den Lagern und der Verformungsarbeit der Reifen selbst verursacht. Der den Rollwiderstand kennzeichnende Rollwiderstandsbeiwert ist auf festem Untergrund geringer als auf weichem Boden. Neben dem Rollwiderstand und der Hangabtriebskraft (auch als Steigungswiderstand bezeichnet) wirken noch Luftwiderstand und der Beschleunigungswiderstand als Fahrwiderstände auf den Geräteträger. Bei den geringen Geschwindigkeiten und Beschleunigungszeiten sind sie für die aufzubringende Zugkraft jedoch nicht entscheidend³.

s	= Fahrstrecke
l	= projizierte Fahrstrecke
h	= Höhe
α	= Steigungswinkel
F_G	= Gewichtskraft des Geräteträgers
ρ	= Rollwiderstandsbeiwert
$\tan \alpha$	= Steigung = h / l
F_Z	= Zugkraft = $F_H + F_R$
F_N	= Normalkraft = $F_G \times \cos \alpha$, mit $\cos \alpha = l / s$
F_H	= Hangabtriebskraft (Steigungswiderstand) = $F_G \times \sin \alpha$, mit $\sin \alpha = h / s$
F_R	= Rollwiderstand = $\rho \times F_N$

Der Zugleistungsbedarf errechnet sich aus Zugkraft und Zuggeschwindigkeit:

$$\text{Zugleistungsbedarf}_{\text{Berg}} = \text{Zugkraft}_{\text{Berg}} * \text{Zuggeschwindigkeit}$$

Die Zugleistung wird über das Zugseil von der Seilwindentrommel an den Geräteträger abgegeben. Die Trommel wird mit einem Ölmotor hydraulisch angetrieben. Im geschlossenen Hydraulikkreislauf der Winden wird Leistung durch Druck⁴ und Volumenstrom (Durchflussmenge je Zeiteinheit) Hydrauliköl von der Pumpe zum Ölmotor übertragen:

$$\text{Hydraulikleistung} = \text{Druck} * \text{Volumenstrom}$$

Die Hydraulikpumpe wird über die Antriebswelle eines eigenen Dieselmotors oder die Zapfwelle eines Schleppers angetrieben. Die Wellenleistung errechnet sich aus dem Drehmoment der Welle und der Umdrehungsgeschwindigkeit:

$$\text{Zapfwellenleistung} = \text{Zapfwellendrehmoment} * \text{Zapfwellendrehzahl} * 2\pi$$

Die zur Bergfahrt notwendige Antriebsleistung am Welleneingang der Pumpe muss um die Verlustleistung durch Reibung und Undichtigkeit im Hydrauliksystem und Reibung an der Seiltrommel und Seilführung größer sein als die aufzubringende Zugleistung:

$$\text{Antriebsleistung} = \text{Zugleistung} + \text{Verlustleistung}$$

Im Stand und bei der Talfahrt bewirkt die Zugkraft des Geräteträgers ein Drehmoment an der Seilwinde und dadurch am Ölmotor. Mit diesem Drehmoment wird durch den Ölmotor auf der Ablaufseite gegen das Lasthalteventil Druck aufgebaut. Zur Talfahrt wird das Lasthalteventil geöffnet. Die der Winde bei der Talfahrt zugeführte Leistung wird am Lasthalteventil in Wärme umgesetzt. Die Wärme wird vom Hydrauliköl aufgenommen und über einen Ölkühler an die Umgebung abgegeben. Zur Öffnung des Lasthalteventils muss der Druck auf der Zulaufseite durch die Pumpe erhöht werden. Dadurch ist trotz der Zufuhr an Zugleistung auch zur Talfahrt Antriebsleistung notwendig.

Das Verhältnis von Zugleistung zu Zapfwellenleistung kennzeichnet den Gesamtwirkungsgrad der Winde. Die Zugleistung im Verhältnis zur Hydraulikleistung (vor

dem Hydraulikmotor der Winde ermittelt), ergibt einen Teilwirkungsgrad, mit dem das Hydrauliksystem annähernd beschrieben wird.

4.1.2 Messungen

Um die Leistungsanforderungen an die Winde des SMS zu ermitteln wurde:

1. der Geräteträger mit den gängigsten Arbeitsgeräten gewogen;
2. der Rollwiderstandsbeiwert für verschiedene Fahrbahnen ermittelt;
3. die Hangneigungen an typischen Einsatzorten bestimmt;
4. die Einsatzgeschwindigkeit für die jeweiligen Arbeitsgeräte festgelegt (vgl.: 3.2).

Mit den Ergebnissen wurden die unter verschiedenen Einsatzbedingungen auftretenden Zugkräfte und die aufzubringende Leistung berechnet. Diese Zugkräfte und Leistungen wurden dann unter kontrollierten Bedingungen von zwei unterschiedlichen Windentypen abgefordert und die Leistung im Hydrauliksystem und – wenn möglich – die Eingangsleistung an der Zapfwelle bei verschiedenen Betriebseinstellungen gemessen. An der Winde des Anhänger-SMS (Hydrauliksystem mit Verstellpumpe) wurde die benötigte Leistung im Hydrauliksystem und die Eingangsleistung an der Zapfwelle gemessen. An der Winde des selbstfahrenden SMS (mit Konstantpumpe) wurde ausschließlich die Hydraulikleistung ermittelt.

Zusätzlich wurde an der Winde des Anbau-SMS (mit Konstantpumpe) die Hydraulikleistung unter Feldbedingungen gemessen. Dabei konnten jedoch keine Zugkräfte gemessen werden. Eine eindeutige Bestimmung der aufgebrachten Zugleistung war so nicht möglich.

Die im Feld tatsächlich auftretenden Zugkräfte und Zugleistungen wurden bei verschiedenen Einsatzbedingungen unter Einsatz eines Satellitenortungssystems gemessen. Das Vorgehen und die Ergebnisse sind im Kapitel 5 dargestellt.

4.1.2.1 Messwertaufnehmer

Im Feld und auf den Versuchstrecken wurden die Fahrstrecken (des Geräteträgers) ausgemessen, die Hangneigung mit einem Winkelmessgerät mit integrierter Wasserwaage bestimmt und die Fahrzeiten gestoppt.

Geschwindigkeiten und Beschleunigungszeiten wurden außer durch Stoppuhr und Bandmaß auch mit einem induktiven Drehzahlnehmer elektrisch ermittelt. Dazu wurde der Aufnehmer an einer Seilumlenkrolle an der Winde angebracht. Zug- und Gewichtskräfte wurden mit elektrischen Kraftaufnehmern gemessen. In diesen Kraftmessdosen sind Dehnungsmessstreifen (DMS) angebracht, deren elektrischer Widerstand sich proportional zur Belastung verändert.

Zum Messen des Drehmoments und der Drehzahl der Antriebszapfwelle des Windenantriebs wurde die Standard-Gelenkwelle durch eine Drehmoment- und Drehzahlmesswelle ersetzt. Die Drehzahl wird mit einem induktiven Aufnehmer über einer Zahnscheibe auf der Messwelle gemessen. Mit einem Druckaufnehmer wurde der Hydraulikdruck gemessen, die Hydrauliköldurchflussmenge wurde mit einem Turbindurchflussmesser ermittelt (Abb. 33). Die Hydrauliköltemperatur wurde mit einem elektrischen Temperaturfühler aufgenommen. Dort, wo keine Möglichkeit bestand, die Drehmomentmesswelle einzubauen, wurde nur die Zapfwelldrehzahl mit einem Stroboskop gemessen.

Die nötige Speisespannung erhielten die Messaufnehmer entweder direkt von einer Batterie oder über einen vorgeschalteten Umformer. Die Ausgangsspannung (das Messsignal) wurde dann über einen Messwertverstärker und Analog-zu-Digital-Umformer auf einen Rechner mit Messdatenerfassungsprogramm gegeben.

4.1.2.2 Leistungsmessungen unter kontrollierten Bedingungen

Neben dem Gewicht des Geräteträgers mit den Arbeitsgeräten und der Hangneigung an unterschiedlichen Einsatzorten wurde, zur Bestimmung der Zugkräfte, der Rollwiderstand gemessen. Für die Rollwiderstandsmessung wurde der Geräteträger (mit bekannter Gewichtskraft) an einen Zugkraftaufnehmer gezogen und die Kräfte ermittelt, um ihn



Abb. 33: Hydraulikmesseinrichtung

auf verschiedenen, nicht geeigneten Fahrbahnen in gleichförmiger Bewegung zu halten.

Windenantriebsleistung und aufgebrauchte Zugleistung wurden am Anhänger-SMS und am selbstfahrenden SMS unter kontrollierten Bedingungen gemessen (Abb. 34). Auf einer ebenen, gleichmäßig leicht geneigten Fahrbahn (weniger als 1 % Steigung) wurden die Messungen durchgeführt, die der Bergfahrt im Feld entsprechen. Für die Messungen, die der Belastung bei der Talfahrt (und im Stand) entsprechen, wurde eine stärker gleichmäßig geneigte Fahrbahn (ca. 13 % Steigung) gewählt. Zur Belastung des Windenseils mit den bei typischen Einsätzen auftretenden Zugwiderständen war ein Bremsschlepper eingesetzt.

Zur Aufnahme der Zugkräfte war ein Zugkraftmesser zwischen Seilende und Schlep-



Abb. 34: Leistungsmessungen unter kontrollierten Bedingungen

per eingebaut. Die Seilgeschwindigkeit wurde an der Seilumlenkrolle aufgenommen und durch Zeitnahme mit einer Stoppuhr über eine festgelegte Strecke überprüft. Der an der Umlenkrolle auftretende Schlupf erschien dabei vernachlässigbar. Gemessen wurden Kräfte und Leistungen nur bei gleichförmiger Bewegung, die im Vergleich mit dem leichteren Geräteträger, höheren Beschleunigungskräfte des Bremsschlepper blieben unberücksichtigt.

Bei der vom Schlepper über die Zapfwelle angetriebenen Winde des Anhänges-SMS wurde das Antriebsdrehmoment und die Drehzahl mit der Drehmomentmesswelle zeitgleich mit der Zugleistung erfasst (Abb. 35).

Die Motordrehzahl der Winde des selbstfahrenden SMS wurde mit dem Stroboskop gemessen. An beiden Winden wurde die Hydraulikleistung im Kreislauf zwischen Hydraulikölpumpe und Ölmotor ermittelt.

Jede Winde wurde mit mindestens drei unterschiedlichen Zugbelastungen und bei jeder Einstellungen mit jeweils mindestens drei verschiedenen Geschwindigkeiten bei der Talfahrt sowie bei der Bergfahrt gemessen. Zusätzlich wurde mit unterschiedlichen Zugkräften im Stand gemessen und die maximale Zugkraft erfasst. Bei der Winde mit Konstantpumpe wurde die Motordrehzahl auf (praxisübliche) 3050 min^{-1} eingestellt und über die ganze Messreihe beibehalten. Bei der vom Schlepper angetriebenen Winde mit Verstellpumpe wurden alle Messungen mit mindestens zwei unterschiedlichen Zapfwelldrehzahlen durchgeführt. Alle Messdaten der Hydraulikmessung, der Zapfwellenmessung, der Zugkraftmessung und die Seilgeschwindigkeit wurden zeitgleich auf einen Rechner mit demselben Messdatenerfassungsprogramm abgespeichert.

Die Messfrequenz betrug 1 Hz. Die Messstrecke wurde so lang gewählt, dass nach der Beschleunigung des zur Belastung eingesetz-

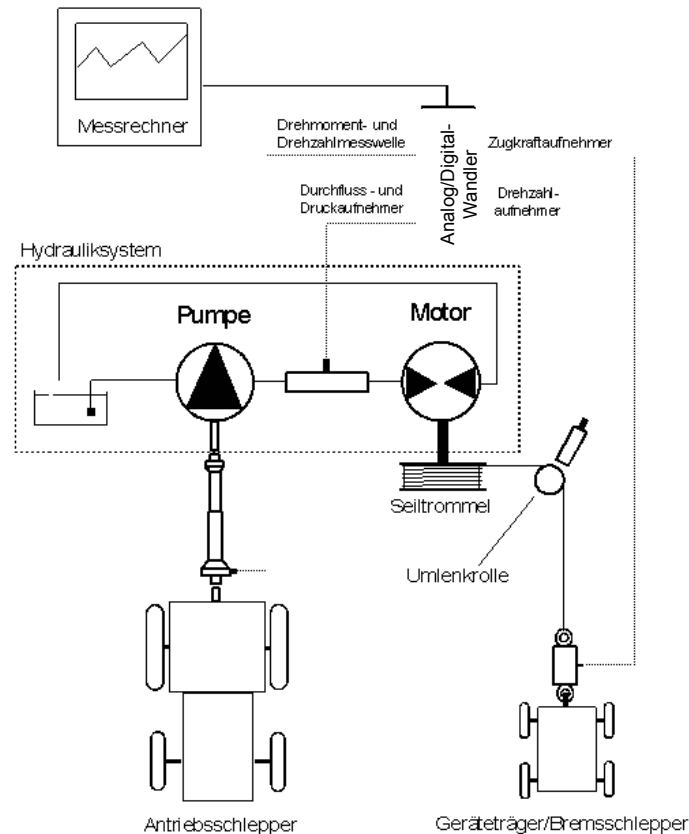


Abb. 35: Messaufbau zur Leistungsmessung

ten Schleppers noch mindestens 10 Sekunden gleichförmige Fahrt zum Messen verblieben.

4.1.2.3 Zusätzliche Leistungsmessungen unter Einsatzbedingungen im Feld

Am Anbau-SMS mit Konstantpumpe wurde die Windenleistung unter typischen Einsatzbedingungen im Feld gemessen (Abb. 36). Dazu wurden Einsätze in zwei Steillagen gewählt, die in Bezug auf Arbeitsgerät, Steigung und Bodenverhältnisse, die obere Grenze (Mulchen auf dem Versuchsfeld an der Schlossruine Ehrenfels mit durchschnittlich 78 % Steigung und tiefem Boden) und untere Grenze (Laubschnitt am Schloss Johannisberg, mit durchschnittlich 42 % Steigung und Rindenmulchaufgabe) des SMS-Einsatzbereiches abdecken.

Da die Hydraulikpumpe der Winde des Anbau-SMS direkt auf den Zapfwellenausgang des Antriebsschleppers gesteckt wird, ist der Einbau der Drehmomentmesswelle nicht möglich. Die Windenleistung konnte deshalb nur im Hydrauliksystem gemessen werden. Die Zapfwelldrehzahl wurde mit



Abb. 36: Leistungsmessungen im Feld

dem Stroboskop festgestellt, die Seilgeschwindigkeit an der Umlenkrolle erfasst⁵. Zusätzlich wurden Steigung, Fahrstrecke und Fahrzeit bestimmt. Zusammen mit dem bekannten Gewicht des Geräteträgers standen damit bis auf den Rollwiderstandsbeiwert alle wichtigen Größen für die Berechnung der Zugleistung zur Verfügung. Der Rollwiderstandsbeiwert der einzelnen Fahrbahnen wurde auf der Grundlage der zuvor durchgeführten Messung des Rollwiderstands abgeschätzt – er bleibt aber mit einer Unsicherheit behaftet. An beiden Standorten wurden die Messungen mit verschiedenen Zapfwellendrehzahlen und Fahrgeschwindigkeiten durchgeführt.

Auch an der universalen Antriebseinheit für die Arbeitsgeräte wurde während des Mulchens die Hydraulikleistung gemessen und die Daten auf einem mitgeführten Rechner aufgezeichnet.

4.1.3 Ergebnisse

Vorab die Gewichtskräfte des SMS (Tab. 11) und die für unterschiedliche Fahrbahnen gemessenen Rollwiderstandsbeiwerte des Geräteträgers (Abb. 37).

Typische Hangneigungen für den Einsatz des SMS liegen zwischen 40 und 80 % Hangneigung (α zwischen 22° und 39°).

Um eine ausreichende Überlappung mit Direktzugverfahren zu gewährleisten ist es sinnvoll, wenn der Einsatzbereich nach unten bis zu einer Hangneigung von 30 % (17°) erweitert ist. Somit ist auch sichergestellt, dass das SMS in Hanglagen mit ungleichmäßigen Steigungen eingesetzt werden kann. Bei diesen Hangneigungen kann bei guten Bodenverhältnissen eine Arbeitsgeschwindigkeit von

bis zu 6 km/h eingehalten werden.

4.1.3.1 Zugkraft- und Zugleistungsbedarf

Auf der Grundlage der gemessenen Gewichte, Rollwiderstände und Hangneigungen errechnen sich die auftretenden Zugkräfte. Der für die Dimensionierung der Winde bedeutende maximale Zugkraftbedarf beträgt für das schwerste Arbeitsgerät, den Mulcher, bei einer Hangneigung von 80 % in begrüntem Rebgerästen (Rollwiderstandsbeiwert 0,14) 3740 Newton. Unter gleichen Bedingungen muss für die Fahrt mit der vollen Transportwanne maximal 5640 Newton erbracht werden. Bei ungünstigsten Verhältnissen mit

Tab. 11: Massen und Gewichtskräfte des SMS

Anbieter	Gerät	Masse kg	Gewichtskraft daN
Obrecht	Anbauwinde	600	589
	Geräteträger	156	153
	Mulcher	221	217
	Transportwanne	173	170
	Laubschneider	162	159
	Sprühgerät	120	118
Clemens	Selbstfahrende Winde	2 178	2 137
	Geräteträger	166	163
	Antrieb	195	191
	Rahmen	21	21
	Mulcher	151	148
	Transportwanne	132	129
	Transportwanne	173	170
	Düngerstreuer	66	65
	Laubschneider	117	115
Sprühgerät	106	104	

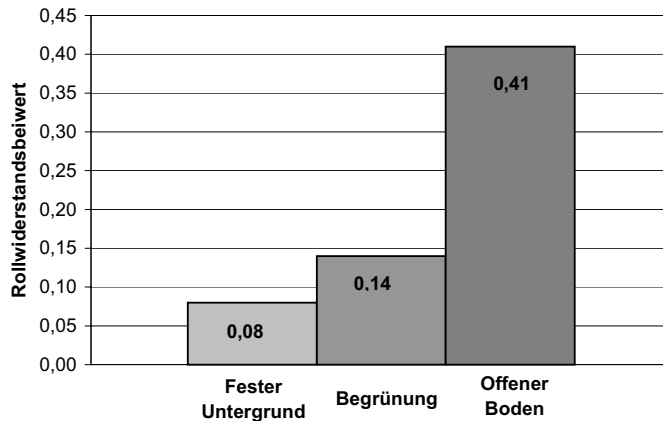


Abb. 37: Rollwiderstandsbeiwerte des Geräteträgers

offenem feuchten Boden (Rollwiderstandsbeiwert 0,41) kann der Zugkraftbedarf bis 7270 Newton steigen.

Im Feld gemessene Zugkräfte

Zusätzlich zu den berechneten Zugkräften wurden die unter typischen Einsatzbedingungen im Feld auftretenden Zugkräfte gemessen (in Verbindung mit GPS, vgl. 5.2.3). Die bei Hangneigungen zwischen 45 und 75 % und einem geschätzten Rollwiderstandsbeiwert von 0,1 gemessenen Zugkräfte sind in Tabelle 12, im Vergleich mit den berechneten Zugkräften, aufgeführt:

Die höchsten Zugkräfte wurden beim Mulchen bei 75 % Hangneigung mit 450 daN gemessen. Für den Pflanzenschutz mit dem Sprühgerät wurden unter gleichen Bedingungen 350 daN gemessen (eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse der Zugkraftmessung im Feld findet sich in Kapitel 5.2.3.2)

bei ist die dem SMS bei der Talfahrt zugeführte Leistung mit negativem Vorzeichen versehen:

Unter den oben festgelegten Einsatzbedingungen liegt die maximale Zugleistungsanforderung an die Winde bei 6,2 kW. Sie wird bei der Bergfahrt mit dem Mulcher bei einer 80 % Hangneigung auf begrüntem Boden und einer Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h erreicht.

Die untere Einsatzgrenze entspricht annähernd dem Rollwiderstandsbeiwert (vgl. 4.1.1). Bei offenem feuchten Boden wird die untere Einsatzgrenze bereits bei einer Hangneigung von weniger als 41 % erreicht. Dann reicht die Hangabtriebskraft nicht mehr aus, um mit dem Geräteträger ins Tal zu fahren. Allerdings sind solche Bedingungen mit dem angestrebten Bodenpflegesystem einer Ganzflächenbegrünung praktisch auszuschließen. Bei begrüntem Boden kann das SMS ab 14 % Hangneigung eingesetzt werden.

Tab. 12: Gemessene und berechnete Zugkräfte am SMS

Arbeitsgang	Gemessene Werte als Grundlage für die Zugkraftberechnung			Berechnete Zugkraft		In Verbindung mit GPS gemessene Zugkraft		Berechneter Rollwiderstandsbeiwert	
	Gewicht (einschl. Messgeräte)	Hangneigung	Rollwiderstandsbeiwert	Bergfahrt	Talfahrt	Bergfahrt	Talfahrt	Bergfahrt	Talfahrt
	daN	%		daN	daN	daN	daN		
Laubschneiden	608	75	0,1	413	316	400	350	0,07	0,03
Laubschneiden	608	60	0,1	365	261	360	280	0,09	0,06
Laubschneiden	608	45	0,1	305	194	280	200	0,06	0,09
Mulchen	703	75	0,1	478	366	450	360	0,05	0,11
Pflanzenschutz	522	75	0,1	355	271	350	290	0,09	0,06

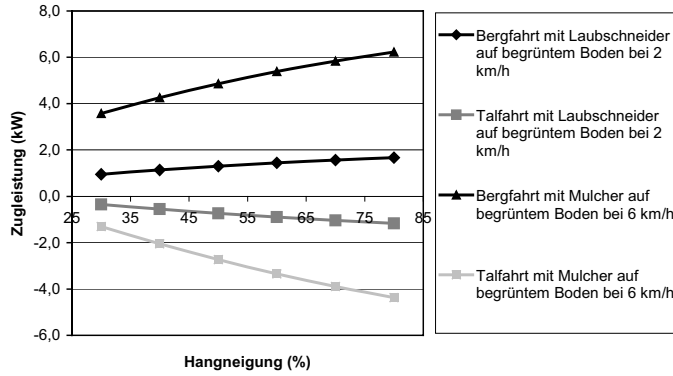


Abb. 38: Zugleistungsbedarf des SMS in Abhängigkeit von der Hangneigung

4.1.3.2 Antriebsleistungsbedarf der Winde mit Verstellpumpe

Der Leistungsbedarf der Winde mit Verstellpumpe, zum Erbringen der oben ermittelten Zugleistungen, ist im nachfolgenden Diagramm (Abb. 39) dargestellt. Zur Verdeutlichung sind die linearen Regressionen eingezeichnet:

Die aufzubringende Eingangsleistung steigt mit der abgeforderten Zugleistung linear an. Die Verhältnisse bei der Bergfahrt mit dem Mulcher werden durch die Funktion

$$\text{Eingangsleistung}_{\text{Berg}} = 1,58 \cdot \text{Zugleistung} + 0,86$$

gut beschrieben. Um die maximal erforderliche Zugleistung von 6,2 kW zu erreichen, muss die Eingangsleistung also 10,7 kW betragen. Bei stehendem Geräteträger beträgt die Eingangsleistung 0,4 kW.

Die nötige Leistung zum Abbremsen des Geräteträgers bei der Talfahrt hängt (fast) allein von der Geschwindigkeit ab. Es muss gerade soviel Druck aufgebaut werden, dass das Lasthalteventil öffnet. Der Durchfluss ändert sich dann mit der Fahrgeschwindigkeit. Die drei Kurven im Bereich negativer Zugleistungen zeigen von unten nach oben die notwendigen Eingangsleistung bei 2, 4 und 6 km/h. Maximal

werden für die Talfahrt 4,0 kW gebraucht. Eigentlich müsste die Eingangsleistung bei gleichbleibender Geschwindigkeit konstant bleiben. Dass sie bei zunehmender Belastung abfällt, zeigt, dass das Lasthalteventil nicht vollkommen unabhängig vom Druck reagiert, der von der Ablaufseite des Windenmotors an ihm anliegt. Trotzdem lässt sich die

Abhängigkeit der Zapfwellenleistung von der Seilgeschwindigkeit bei der Talfahrt durch eine lineare Funktion gut beschreiben:

$$\text{Eingangsleistung}_{\text{Tal}} = 0,57 \cdot \text{Seilgeschwindigkeit} + 0,16$$

Die Funktion ist im nachfolgenden Diagramm (Abb. 40) dargestellt:

Die maximale Zugkraft der Winde wurde mit 3946 Newton gemessen. Bei darüber hinaus gehenden Belastungen spricht das auf 174 bar (regelbar) eingestellte Überdruckventil an. Zum Erbringen der maximalen

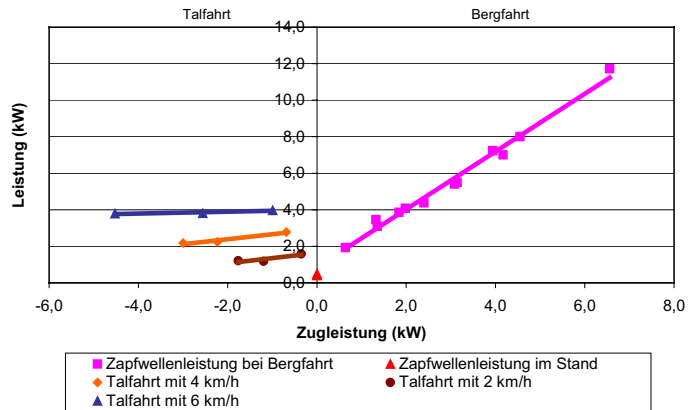


Abb. 39: Antriebsleistungsbedarf an der Zapfwelle (Hydrauliksystem mit Verstellpumpe)

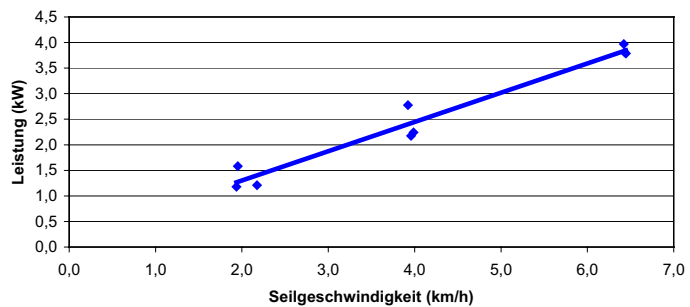


Abb. 40: Zapfwellenleistung bei der Talfahrt in Abhängigkeit von der Seilgeschwindigkeit (Hydrauliksystem mit Verstellpumpe)

Zugkraft ist eine Zapfwellenleistung von 15,1 kW erforderlich. Die im Hydrauliksystem gemessene Leistung beträgt dabei 13,1 kW.

4.1.3.3 Wirkungsgrade

Die Kurve der Hydraulikleistung in Abhängigkeit von der Zugleistung verläuft parallel zur Zapfwellenleistung (Abb. 41).

Beide Kurven haben fast die gleiche Steigung. Daraus wird ersichtlich, dass (bei der Bergfahrt) der Gesamtwirkungsgrad, als Verhältnis aus Zugleistung zu Zapfwellenleistung, sich dem Hydraulikwirkungsgrad, als Quotient aus Zugleistung und Hydraulikleistung, mit zunehmender Zugleistung annähert. Die Differenz der beiden Kurven kennzeichnet die Verluste an der Hydraulikpumpe. Die Verluste ändern sich über den gesamten erfassten Zugleistungsbe-
reich praktisch nicht⁶. Daraus ergibt sich, dass der Wirkungsgrad der Hydraulikpumpe, bestimmt aus Hydraulikleistung und Zapfwellenleistung mit zunehmender Zugleistung immer günstiger wird. Die Wirkungsgrade im übrigen Hydrauliksystem nehmen hingegen mit steigender Belastung zu. In der nachfolgenden Grafik (Abb. 42) sind die einzelnen Wirkungsgrade dargestellt. Die Regressionskurven verdeutlichen den Verlauf:

4.1.3.4 Vergleich der Hydrauliksysteme

Anders als bei der Winde mit dem Hydrauliksystem mit Verstellpumpe (vgl. 4.1.3.2) hängt der Leistungsbedarf für die Bergfahrt bei den Systemen mit Konstantpumpe nur von der Zugkraft ab.

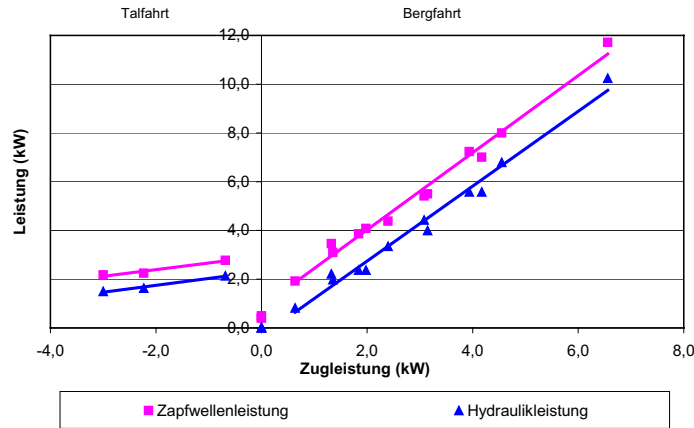


Abb. 41: Hydraulik- und Zapfwellenleistung im Vergleich

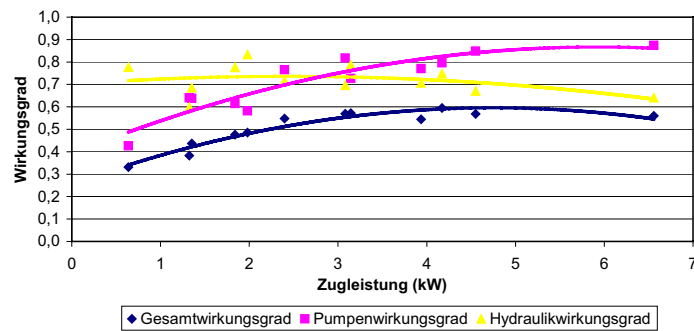


Abb. 42: Wirkungsgrade (Hydrauliksystem mit Verstellpumpe)

Die neben der Zugkraft die Zugleistung bestimmende Seilgeschwindigkeit ist nahezu ohne Einfluss. Unabhängig von der Geschwindigkeit und somit des benötigten Öldurchflusses wird (bei gleichbleibender Pumpendrehzahl) eine konstante Ölmenge gefördert und unter den zum Aufbringen der Zugkräfte notwendigen Druck gesetzt (vgl. 3.1.4). Das nicht zum Seiltrommelantrieb benötigte Öl fließt über die Druckwaage zurück in den Tank. Die bei der Entspannung des Drucks freiwerdende Energie wird dabei

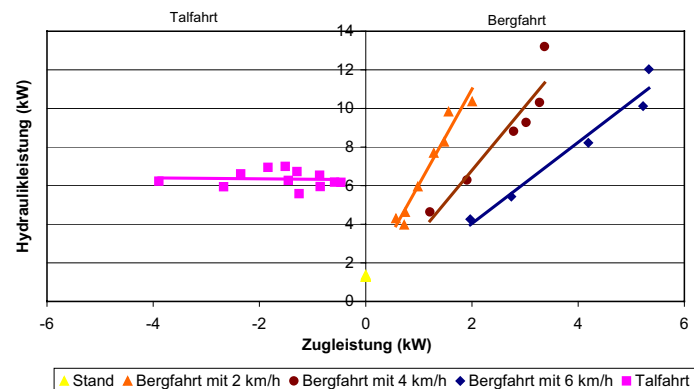


Abb. 43: Windenleistungsbedarf des selbstfahrenden SMS (Hydrauliksystem mit Konstantpumpe)

in Wärme umgewandelt. Auch für den Leistungsbedarf bei der Talfahrt ist die Geschwindigkeit ohne Bedeutung. Zur Talfahrt muss für die gesamte Ölmenge der zur Öffnung des Lasthalteventils notwendige Druck aufgebaut werden⁷.

Der Hydraulikleistungsbedarf der Winde mit Konstantpumpe des selbstfahrenden SMS bei der Bergfahrt in Abhängigkeit von der Zugkraft (Hydrauliksystem mit Konstantpumpe) (Abb. 43).

Für die Vorfahrt am Vorgewende zum Versetzen von einer Rebgasse in die nächste mit einer Geschwindigkeit von 2 km/h wurde eine Hydraulikleistung von 3,5 kW gemessen.

Dass die Seilgeschwindigkeit nahezu ohne Einfluss auf den (Hydraulik-) Leistungsbedarf der Winden mit Konstantpumpen ist, wird aus dem nachfolgenden Diagramm (Abb. 44) ersichtlich, in dem die eindeutige Abhängigkeit der aufzubringenden Leistung von der Zugkraft dargestellt ist.

Der im Feld gemessene Windenleistungsbedarf des Anbau-SMS mit Konstantpumpe stellt sich ähnlich wie beim selbstfahrenden SMS dar (Abb. 45).

Beim Vergleich aller drei untersuchten Windenhydrauliksysteme zeigt sich (Abb. 46), dass das Hydrauliksystem mit Verstellpumpe einen viel geringeren (Hydraulik-) Leistungsbedarf hat, als die Systeme mit Konstantpumpe⁸:

4.1.3.5 Wahl der Pumpendrehzahl

Hohe Eingangsdrehzahlen und die so erzeugten großen Hydrauliköldurchflussmengen sind für Winden mit Konstantpumpen nur zum Erreichen hoher Geschwindigkeiten not-

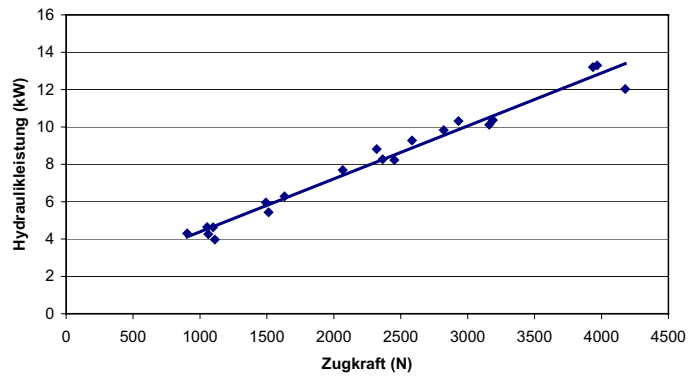


Abb.: 44: Windenleistungsbedarf des selbstfahrenden SMS bei der Bergfahrt in Abhängigkeit von der Zugkraft (Hydrauliksystem mit Konstantpumpe)

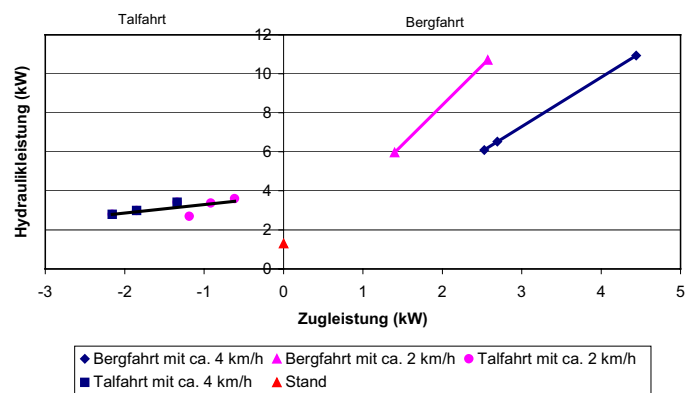


Abb. 45: Windenleistungsbedarf des Anbau-SMS (Hydrauliksystem mit Konstantpumpe)

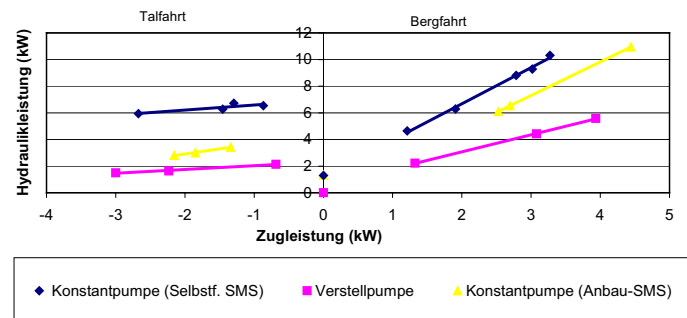


Abb. 46: Windenleistungsbedarf - Vergleich der Hydrauliksysteme

wendig. Bei niedrigeren Geschwindigkeiten führen höhere Eingangsdrehzahlen zu einem angestiegenen Leistungsbedarf, trotz gleichbleibender Ausgangsleistung. Die Auswirkungen höherer Eingangsdrehzahlen (an der Zapfwelle) sind für einen eingeschränkten Drehzahlbereich am Beispiel des Anbau-SMS mit Konstantpumpe dargestellt (Abb. 47).

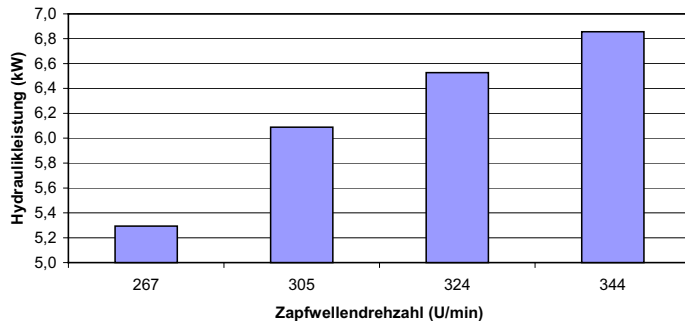


Abb. 47: Windenleistungsbedarf in Abhängigkeit von der Zapfwelldrehzahl – Hydrauliksystem mit Konstantpumpe (Anbau-SMS bei 2,6 kW Zugleistung)

wurden – also nur eingeschränkt übertragbar sind.

Um diese Probleme zu umgehen, wurde eine Methode zur Berechnung des Energie- und Kraftstoffbedarf für das SMS bei unterschiedlichen Betriebszuständen und Antriebsmotoren erarbeitet⁹.

4.1.3.6 Leistungsbedarf der Anbaugeräte

Beim Einsatz des Schlegelmulchers wurde die Hydraulikleistung der universellen Antriebseinheit (Firma Clemens) gemessen. Die Werte weisen große Schwankungen auf, abhängig von der an der Antriebseinheit eingestellten Drehzahl und dem Bewuchs. Die Verlustleistung bei ausgeschalteter Mulcherwelle schwankt zwischen 0,4 kW (Leerlauf) und 0,8 kW (Vollgas). Bei dichtem, hohen Bewuchs (50 bis 80 cm) und Rebholz in den Reihen betrug der Hydraulikleistungsbedarf bei Vollgas zwischen 5,0 und 7,0 kW, bei niedriger eingestellter Drehzahl immer noch zwischen 2,5 und 5,6 kW.

4.2 Energie- und Kraftstoffverbrauch

Um die Umweltauswirkungen und die Betriebskosten des SMS abschätzen zu können, muss der zur Bearbeitung einer Fläche mit dem SMS notwendigen Energie- und Kraftstoffverbrauch bestimmt werden. Bei den Winden ohne eigenen Verbrennungsmotor ist der Kraftstoffbedarf abhängig vom eingesetzten Antriebsschlepper. Verbrauchsmessungen bei der Arbeit im Feld wären also nur für den zufällig gewählten und unter Umständen hinsichtlich des Kraftstoffbedarfs wenig geeigneten Schleppertyp gültig. Bei den Winden mit eigenem Antriebsmotor ist die Motorleistung auf den Bedarf der Winde abgestimmt. Aber auch hier werden im Zuge der Weiterentwicklung fortlaufend verschiedene Motoren eingesetzt. Die Kraftstoffmessung im Feld wäre also wiederum an einen womöglich nicht mehr aktuellen Motorentyp gebunden. Hinzu kommt, dass im Feld ermittelte Verbrauchswerte an den Standort gebunden sind, an dem sie aufgenommen

4.2.1 Vorgehensweise

Grundlagen für die Ermittlung des Energie- und Kraftstoffbedarfs sind:

- Der Zugleistungsbedarf unter verschiedenen Bedingungen (4.1.3.1).
- Die Ergebnisse aus der Messung der Antriebsleistung (4.1.3.2).
- Die Berechnungen des Arbeitszeitaufwandes aus Teilzeiten, wie sie im Kapitel Arbeitszeitbedarf und Arbeitswirtschaftlichkeit (3.2.2) aufgezeigt worden sind.
- Der im Feld bestimmte Kraftstoffverbrauch der Arbeitsgeräte.

Zuerst müssen Arbeitsverfahren und Arbeitsgeschwindigkeit, die Hangneigung und der Rollwiderstandsbeiwert des Einsatzortes und das Gewicht des Fahrers festgelegt werden. Mit dem bekannten Gewicht des Geräteträgers kann so die Zugleistungsanforderung bei der Bergfahrt errechnet werden.

Mit der abgeleiteten Funktion (vgl. 4.1.3.2),

$$\text{Eingangsleistung}_{\text{Berg}} [\text{kW}] = 1,58 \cdot \text{Zugleistung} [\text{kW}] + 0,86$$

kann für jede Zugleistung bei der Bergfahrt die zum Betrieb der Winde (mit Verstellpumpe) notwendige Eingangsleistung bestimmt werden. Die Eingangsleistung bei der Talfahrt ergibt sich wie gezeigt aus:

$$\text{Eingangsleistung}_{\text{Tal}} [\text{kW}] = 0,57 \cdot \text{Seilgeschwindigkeit} [\text{km/h}] + 0,16$$

Die Eingangsleistung im Stand beträgt 0,4 kW. Der Leistungsbedarf für die Vorfahrt beim Versetzen der selbstfahrenden Winden von einer Rebgasse zur nächsten konnte an der Winde mit Verstellpumpe nicht gemessen werden. In grober Näherung kann aus dem für die Vorfahrt der Winde mit Konstantpumpe ermittelten Hydraulikleistungsbedarf der Leistungsbedarf für die Winde mit

Verstellpumpe geschätzt werden. Bei einer Vorfahrtgeschwindigkeit von 2 km/h braucht die Winde mit Konstantpumpe 3,5 kW Hydraulikleistung. Unterstellt man ähnliche Verhältnisse beim Fahrentrieb wie beim Windenantrieb (an beiden werden Innenzahnradmotoren und Lasthalteventile eingesetzt), kann aus der für die Winde mit Konstantpumpe bestimmten Abhängigkeit¹⁰ bei 3,5 kW Hydraulikleistung eine Zugleistung von 0,8 kW ermittelt werden. Bei der Winde mit Verstellpumpe erfordert eine Zugleistung bei Bergfahrt von 0,8 kW entsprechend der Gleichung oben nur eine Eingangsleistung von 2,1 kW. Näherungsweise werden deshalb 2,1 kW als Leistungsbedarf für die Vorfahrt angesetzt¹¹.

Für die Fahrt von Hof zu Feld und von Feld zu Feld müssen der Zugschlepper, die Transportgeschwindigkeit und der durchschnittliche Rollwiderstandsbeiwert des Schleppers und der Winde auf der Strecke festgelegt werden. Aus dem Gewicht von Schlepper, Winde, Geräteträger und Fahrer(n) und dem Rollwiderstandsbeiwert errechnet sich der Rollwiderstand auf ebener Fahrbahn. Multipliziert mit der Geschwindigkeit erhält man den Fahrleistungsbedarf. Beispielhaft wird hier für die Berechnungen der Transportarbeiten ein Schlepper vom Typ Fendt Farmer 204 P eingesetzt. Seine Masse von 2 335 kg ist typisch für die in Weinbaubetrieben verwendeten Traktoren. Zusammen mit der Masse der selbstvorfahrenden Anbauwinde von 2 220 kg, dem Geräteträger und der Pflanzenschutzspritze mit 356 kg und einem Fahrer von 90 kg beträgt die Fahrleistung bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 10 km/h und einem Rollwiderstandsbeiwert (fester Feldweg¹²) von 0,05 somit 3,8 kW.

Den für die Arbeitszeitberechnungen ermittelten Teilzeiten kann nun jeweils ein Betriebszustand der Winde zugeordnet werden: Transport, Stand, Berg-, Tal-, Vorfahrt oder Abschaltung während der Versorgungszeit. Die Dauer der Teilzeiten multipliziert mit den für den jeweiligen Betriebszustand geltenden Leistungsanforderungen ergibt den Energiebedarf. Der Energiebedarf in einzelnen Teilzeiten kann dann nach Belieben zu einem Gesamtenergiebedarf je Hektar entsprechend der KTBL-Vorgaben zur Arbeitszeitberechnung zusammengefasst werden.

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist nicht der Energiebedarf der Winde, sondern

der Energiebedarf des Antriebmotors entscheidend, also dessen Kraftstoffverbrauch. Für die einzelnen Betriebszustände der Winde kann bei Kenntnis des Getriebewirkungsgrades (für die Leistungsübertragung vom Antriebsmotor auf die Winde) aus den Leistungsanforderungen an der Winde der Leistungsbedarf des Antriebmotors berechnet werden. Aus den Verbrauchswerten eines geeigneten Antriebmotors kann dann der Kraftstoffbedarf berechnet werden. Dazu muss für den Motor ein im Rahmen einer Motorprüfung erstelltes Motorkennfeld mit Muscheldiagramm vorliegen¹³.

Unter der Annahme, dass durch Übersetzung die an der Winde gewünschte Eingangsdrehzahl mit jeder beliebigen Motordrehzahl erreicht wird, kann im Muscheldiagramm eine zur Auswertung geeignete Drehzahl ausgewählt werden. Bei der gewählten Motordrehzahl muss die maximal für den Windenantrieb benötigte Leistung erbracht werden können.

Anschließend muss für die betrachteten Motorleistungen das der ausgewählten Drehzahl entsprechende Drehmoment bestimmt werden, um damit dann den entsprechenden spezifischen Kraftstoffverbrauch durch Interpolation aus dem Diagramm zu lesen. Das Interpolieren ist umständlich und mit Fehlern behaftet. Besser ist es, die klar zu bestimmenden Schnittpunkte der ausgewählten Drehzahlachse mit den Linien gleichen Verbrauchs auszulesen und dann daraus den Verbrauch als Funktion des Drehmoments zu bestimmen.

Auch für den Transportschlepper muss aus seinem Muscheldiagramm der spezifische Kraftstoffverbrauch für die beim Transport erforderliche Motorleistung ermittelt werden. Die Transportmotorleistung errechnet sich aus der Fahrleistung und dem Getriebe- und Laufwerkwirkungsgrad. Der Laufwerkwirkungsgrad errechnet sich aus dem Schlupf, dem Rollwiderstandsbeiwert und dem Triebkraftbeiwert.

Der Kraftstoffverbrauch während der Teilzeiten ergibt sich aus deren Dauer, multipliziert mit der zu der in dieser Teilzeit erforderlichen Motorleistung und dem für diese Motorleistung notwendigen spezifischen Kraftstoffverbrauch. In Teilzeiten, in denen Arbeitsgeräte betrieben werden, muss der Kraftstoffverbrauch zum Antrieb des Arbeitsgerätes hinzugerechnet werden. Analog zum Energiebedarf kann der Kraftstoffbedarf für einzelne Teilzeiten angegeben werden. Die

Tab. 13: Kraftstoffverbrauch der Arbeitsgeräte

Arbeitsgerät	Schlegelmulcher ^a	Schlegelmulcher ^b	Kreiselmulcher	Sprühgerät	Laubschneider
Motor	Briggs & Stratton	Briggs & Stratton	Honda	Honda	Honda
Leistung (kW)	13,3 (18 PS)	13,3 (18 PS)	9,6 (13 PS)	6,6 (9 PS)	4,0 (5,5 PS)
Antrieb	Hydraulik	Hydraulik	Riemen	Riemen	Riemen
Verbrauch (l/h)	4,9	5,1	2,1	1,4	0,8

^a mittlerer Bewuchs ^b hoher, dichter Bewuchs, 50-80 cm

Summe des Verbrauchs in mehreren Teilzeiten ergibt beispielsweise den Kraftstoffverbrauch je Hektar, einschließlich der Aufwendungen für Transportfahrten von Hof zu Feld und von Feld zu Feld entsprechend der KTBL-Vorgaben zur Arbeitszeitberechnung.

Der Kraftstoffverbrauch der verschiedenen Anbaugeräte wurde beim Einsatz im Feld ermittelt. Dazu wurde der über einen bestimmten Zeitraum verbrauchte Kraftstoff im Messzylinder beim Auffüllen abgemessen. In Tabelle 13 sind der gemittelte Kraftstoffverbrauch der einzelnen Arbeitsgeräte aufgeführt:

4.2.2 Berechnung

Zur Berechnung des Energie- und Kraftstoffbedarfs¹⁴ wird die im Kapitel Arbeitszeitbedarf und Arbeitswirtschaftlichkeit (3.2.1) erstellte Berechnungstabelle erweitert.

Für die Berechnungen wurde als Transportschlepper der Fendt Farmer 204 P mit 49,1 kW gewählt, als Antriebsmotor für die Winde ein 19,9 kW Dieselmotor wie er im Schlepper Typ Kubota L2850 eingebaut ist. Der Kubota entspricht in der Leistung dem in der selbstfahrenden Winde eingebauten Motor der Firma Lombardini (19 kW), für den kein Motorkennfeld verfügbar ist. Zum Vergleich wurden die Berechnungen auch mit dem Fendt als Antriebsschlepper durchgeführt. Beide Schlepper sind nach dem OECD Standard Code von der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) geprüft worden¹⁵.

Bei der Winde mit eigenem Antrieb ist die Hydraulikpumpe direkt auf der Kurbelwelle des Motors angebracht. Für die Berechnung des Kraftstoffbedarfs mit dem Motor des Kubota L2850 werden deshalb keine Übertragungsverluste veranschlagt. Für die Berechnungen mit dem Fendt Farmer 204P als Antriebsschlepper statt eines eigenen Antriebs wird ein Zapfwellenwirkungsgrad von 0,94 für die Leistungsübertragung berücksichtigt.

Der Wirkungsgrad errechnet sich aus den im Prüfbericht für unterschiedliche Laststufen aufgeführten Werten für Motorleistung und Zapfwellenleistung.

Für die Transportfahrten mit dem Fendt Farmer 204P wird ein Getriebewirkungsgrad von 0,9, ein Rollwiderstandsbeiwert von 0,05 (überwiegend Straßenfahrten), ein Triebkraftbeiwert von 0,7 und 10 % Schlupf angesetzt. Bei der Ermittlung des Kraftstoffbedarfs mit dem Fendt als Windenantriebsschlepper werden diese Werte auch zur Berechnung der Motorleistung beim Versetzen der Winde verwendet.

Der Rollwiderstandsbeiwert für den Geräteträger wird entsprechend den Verhältnissen bei begrünter Fahrbahn auf 0,08 und die Masse des Fahrers auf 90 kg festgelegt. Die Gewichte von Geräteträger und Winde wurden gemessen.

Die Berechnung ist nachfolgend exemplarisch für das Verfahren Pflanzenschutz mit einer Arbeitsgeschwindigkeit von 4 km/h und den KTBL Vorgaben zu Feldmaßen, Entfernungen und Transportgeschwindigkeiten dargestellt¹⁶ (Tab. 14).

4.2.3 Ergebnisse

In den folgenden Diagrammen ist der Kraftstoffverbrauch für die wichtigsten Arbeiten mit dem SMS unter unterschiedlichen Bedingungen dargestellt. Die Angaben sind in Liter je Hektar, auf der Grundlage der KTBL-Vorgaben zu Feldmaßen, Entfernungen und Transportgeschwindigkeiten. Der Rollwiderstand entspricht dem einer begrünten Fahrbahn (Rollwiderstandsbeiwert 0,08).

Als erstes ist der Dieselmotorkraftstoffverbrauch der Winde in Abhängigkeit von der Hangneigung abgebildet (Abb. 48). Als Antrieb der Winde mit Verstellpumpe wurde der Kubota-Motor angenommen, die Arbeitsgeschwindigkeit beträgt 4 km/h. Mit dem relativ leichten Arbeitsgerät Laubschneider werden 7,1 Liter je Hektar bei 40 % Hangnei-

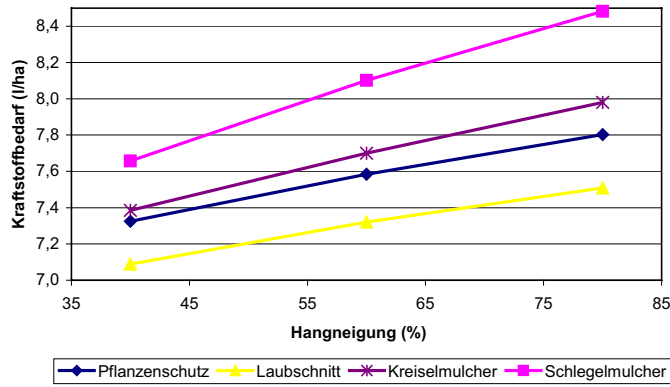


Abb. 48: Dieselverbrauch der Winde mit verschiedenen Arbeitsgeräten (bei 4 km/h Arbeitsgeschwindigkeit)

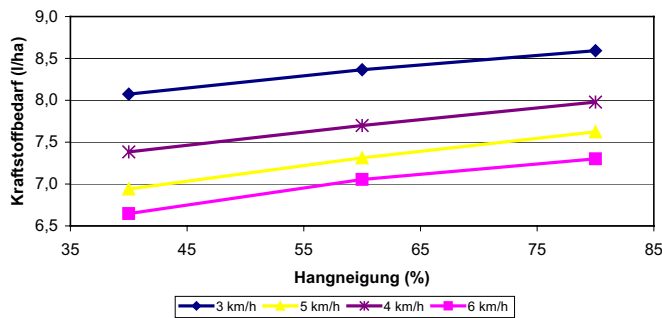


Abb. 49: Dieselverbrauch der Winde bei verschiedenen Seilgeschwindigkeiten (mit Arbeitsgerät Schlegelmulcher)

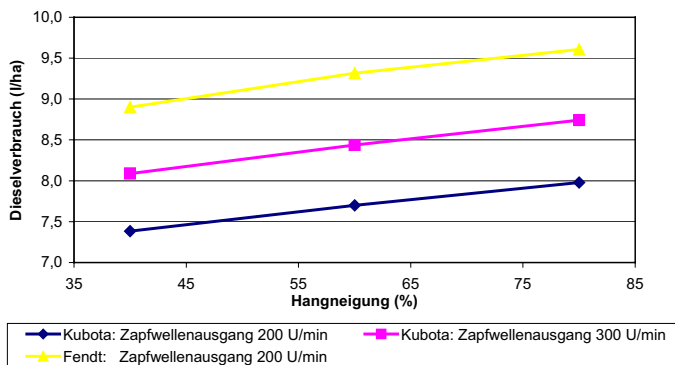


Abb. 50: Dieselverbrauch der Winde mit unterschiedlichen Antriebsarten (mit Schlegelmulcher bei 4 km/h)

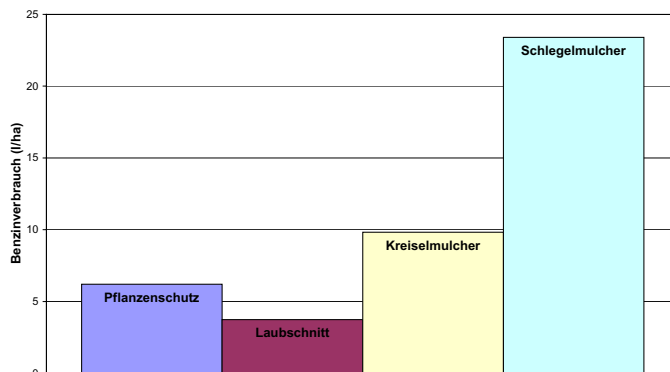


Abb. 51: Benzinverbrauch der Arbeitsgeräte (bei 4 km/h Arbeitsgeschwindigkeit)

gung benötigt. Bei 80 % Hangneigung steigt der Verbrauch um 6 % auf 7,5 Liter. Mit dem im Vergleich sehr viel schwerere Schlegelmulcher mit universalem Antriebsaggregat werden 7,7 Liter bei 40 % und bei 80 % Hangneigung 11 % mehr, also 8,5 Liter gebraucht:

Der Einfluss der Arbeitsgeschwindigkeit auf den Verbrauch wird im nächsten Diagramm (Abb. 49) deutlich. Bei höheren Geschwindigkeiten überwiegen die Kraftstoffeinsparung durch verkürzte Arbeitszeiten gegenüber dem Mehrverbrauch auf Grund des höheren Leistungsbedarfs. Durch Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit von 3 km/h auf 6 km/h beim Mulchen werden je nach Hangneigung zwischen 15 und 18 % Diesel gespart:

Wird die Winde statt mit dem Kubota-Motor mit dem Fendt-Schlepper angetrieben, steigt der Dieselverbrauch je Hektar um 20 %. Um fast 10 % höher fällt der Verbrauch aus, wenn die Winde mit zu hoher Drehzahl betrieben wird (Abb. 50).

Der Verbrauch der (im Allgemeinen) benzinbetriebenen Motoren zum Antrieb der Arbeitsgeräte ist unbeeinflusst von der Hangneigung. Bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 4 km/h werden für die Geräte mit eigenem Antriebsmotor zwischen 3,7 und 9,8 Liter Benzin je Hektar benötigt, für den von einer universalen Antriebseinheit ange-

Tab. 14: Berechnung des Kraftstoffverbrauchs

Berechnung des Energiebedarfs und Kraftstoffverbrauchs			
I. Zugkraft und Zugleistung			
Eingaben	Hangneigung	60	%
	Rollwiderstandsbeiwert	0,08	
	Masse Geräteträger beim Laubschnitt	318	kg
	Masse Geräteträger beim Pflanzenschutz	356	kg
	Masse Geräteträger beim Mulchen	421	kg
	Masse Geräteträger mit Transportwanne u. 0,5 m ² org. Dgr.	679	kg
	Masse des Fahrers	90	kg
Zwischenergebnis	Gewicht Geräteträger mit Fahrer (Masse in Kilo * 9,81)	4 375	N
Ergebnisse	Zugkraft bei der Talfahrt und im Stand	1 951	N
	Zugkraft bei der Bergfahrt	2 551	N
	Zugleistung bei Talfahrt mit 4 km/h	-2,17	kW
	Zugleistung bei Bergfahrt mit 4 km/h	2,83	kW
Leistungsbedarf der Winde mit Verstellpumpe bei 200 U/min			
Ergebnisse	Leistungsbedarf bei Talfahrt mit 4 km/h	2,4	kW
	Leistungsbedarf bei Bergfahrt mit 4 km/h	5,3	kW
	Leistungsbedarf im Stand (und Rüst-, Wende-, Versorg.-zeit)	0,4	kW
	Leistungsbedarf bei Vorfahrt	2,1	kW
II. Leistungsbedarf des Antriebsmotors			
Eingaben	Typenbezeichnung	Kubota L 2850	
	Nenndrehzahl	2 600	U/min
	Motordrehmoment bei Nenndrehzahl (Nennleistung)	73	Nm
	Motorleistung bei Nenndrehzahl	19,9	kW
	Erforderliche Ausgangsdrehzahl	200	U/min
	Angestrebte Motordrehzahl in Prozent der Nenndrehzahl	50	%
	Wirkungsgrad der Übersetzung	97	%
	Spezifisches Gewicht des Dieseltreibstoffs	0,840	kg/l
Ergebnisse	Leistungsbedarf des Antriebsmotors bei Talfahrt	2,5	kW
	Leistungsbedarf des Antriebsmotors bei Bergfahrt	5,5	kW
	Leistungsbedarf des Antriebsmotors im Stand	0,4	kW
	Leistungsbedarf des Antriebsmotors bei Vorfahrt	2,2	kW
Zwischen- ergebnisse	Übersetzung Motordrehzahl zu Ausgangsdrehzahl	6,5	
	Motordrehzahl für Ausgangsdrehzahl 200U/min	1 300	U/min
	Motordrehmoment bei Talfahrt	19	Nm
	Bezogen auf Drehmoment bei Nenndrehzahl	25	%
	Motordrehmoment bei Bergfahrt	40	Nm
	Bezogen auf Drehmoment bei Nenndrehzahl	55	%
	Motordrehmoment im Stand	3	Nm
	Bezogen auf Drehmoment bei Nenndrehzahl	4	%
	Motordrehmoment bei Vorfahrt	16	Nm
Bezogen auf Drehmoment bei Nenndrehzahl	22	%	
III. Leistungsbedarf des Fahrschleppers			
Eingaben	Typenbezeichnung des Transportschleppers	Fendt 294 P	
	Nenndrehzahl des Fahrschleppers	2 150	U/min
	Motordrehmoment bei Nenndrehzahl (Nennleistung)	218	Nm
	Nennleistung	49,1	kW
	Masse des Transportschleppers	2 335	kg
	Getriebewirkungsgrad des Antriebsschleppers	0,90	
	Rollwiderstandsbeiwert für Winde und Schlepper (feste Bahn)	0,05	
	Triebkraftbeiwert (wie oben)	0,70	
	Schlupf (wie oben)	10	%
	Masse der Winde, ohne Geräteträger	2 220	kg
Zwischen- ergebnisse	Triebbradwirkungsgrad	0,83	
	Gewicht (Schlepper, Winde, GT m. Arbeitsg. u. Fahrer)	49 060	N
	Fahrwiderstand	2453	N
	Fahrleistung	6,8	kW

Tab. 14: Berechnung des Kraftstoffverbrauchs (Fortsetzung)

IV. Energiebedarf zum Betrieb der Winde			
Eingabe	Geschwindigkeit bei Versetzen der Winde	1,3	km/h
Zwischen- ergebnisse	Zeit für Talfahrt je Hektar	1,56	h/ha
	Zeit für Bergfahrt je Hektar	1,56	h/ha
	Nebenzeit je Hektar	1,77	h/ha
	davon, Zeit für Vorfahrt	0,13	h/ha
	Versorgungszeit je Hektar	0,50	h/ha
	Rüstzeit am Feld je Hektar	0,67	h/ha
	Wegezeit von Feld zu Feld je Hektar	0,42	h/ha
	Rüstzeit am Hof, je Halbtage	0,33	h/ha
	Wegezeit vom und zum Hof je Halbtage	0,33	h/ha
Ergebnisse	Energiebedarf je Hektar für Talfahrt	3,94	kWh/ha
	Energiebedarf je Hektar für Bergfahrt	8,61	kWh/ha
	Energiebedarf je Hektar für Nebenzeit ohne Vorfahrt	0,68	kWh/ha
	Energiebedarf je Hektar f. Vorfahrt	0,28	kWh/ha
	Energiebedarf in der Nebenzeit, ohne Versorgungszeit	0,75	kWh/ha
	Energiebedarf während der Versorgungszeit	0,21	kWh/ha
	Energiebedarf während der Rüstzeit am Feld	0,27	kWh/ha
	Energiebedarf während der Rüstzeit am Hof	0,14	kWh/ha
	Energiebedarf bei der Fahrt von Feld zu Feld	3,79	kWh/ha
	Energiebedarf bei der Fahrt von Hof zu Feld	3,02	kWh/ha
V. Spezifischer Kraftstoffverbrauch der Winde			
Ergebnisse	Talfahrt	373	g/kWh
	Bergfahrt	247	g/kWh
	Stand (auch Rüst-, Versorgungs und Wendezeit)	573	g/kWh
	Vorfahrt	399	g/kWh
	Fahrten	265	g/kWh
VI. Kraftstoffverbrauch je Hektar			
Eingabe	Kraftstoffverbrauch des Anbaugerätes je Betriebsstunde	1,4	l/h
Zwischen- ergebnisse	Für Talfahrt	1,7	l/ha
	Für Bergfahrt	2,5	l/ha
	In der Nebenzeit ohne Vorfahrt	0,5	l/ha
	Für Vorfahrt	0,1	l/ha
	In der Nebenzeit, ohne Versorgungszeit	0,5	l/ha
	Nur für Versorgungszeit	0,1	l/ha
	Für Rüstzeit am Feld	0,2	l/ha
	Für Rüstzeit am Hof	0,1	l/ha
	Für die Fahrt von Feld zu Feld	1,2	l/ha
	Für die Fahrt von Hof zu Feld	1,2	l/ha
Ergebnisse	Kraftstoffverbrauch während der Hauptzeit	4,3	l/ha
	Dieserverbrauch je Hektar nach KTBL Arbeitszeitvorgaben	7,6	l/ha
	Dieserverbrauch während der Grundzeit (Haupt u. Nebenzeit)	4,9	l/ha
	Kraftstoffverbrauch je Hektar für Antrieb des Anbaugerätes	6,2	l/ha

triebenen Schlegelmulcher 23,4 Liter (Abb. 51).

Die Arbeitsgeschwindigkeit ist entscheidend für den Verbrauch der Arbeitsgeräte, weil sie sich unmittelbar auf die Laufzeit des Gerätes auswirkt (Abb. 52). Wird mit dem Kreiselmulcher statt mit 3 mit 6 km/h in der

Reihe gefahren, sinkt der Dieserverbrauch des Winde um 36 %.

Der Gesamtkraftstoffverbrauch der einzelnen Arbeiten ist nachfolgend noch einmal für eine Arbeitsgeschwindigkeit von 4 km/h bei 60 % Hangneigung dargestellt (Abb. 53).

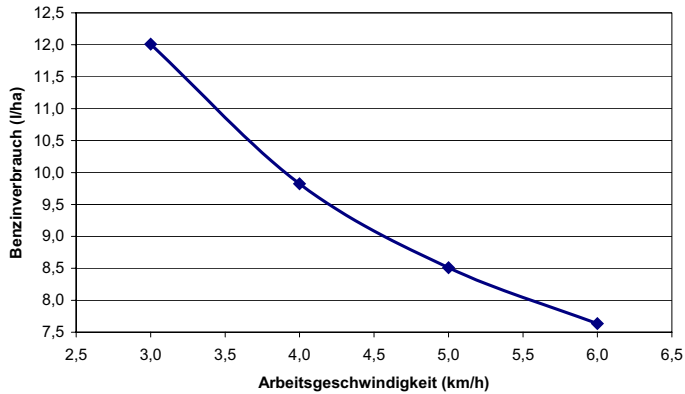


Abb. 52: Benzinverbrauch in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit (Kreiselmulcher)

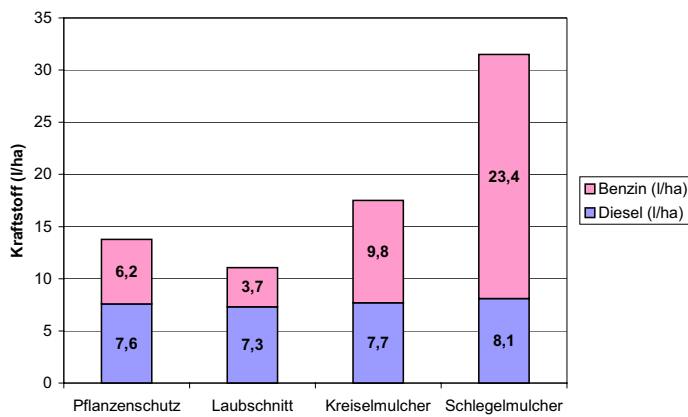


Abb. 53: Gesamtkraftstoffverbrauch einzelner Verfahren (bei 60 % Hangneigung und 4 km/h Arbeitsgeschwindigkeit)

- ¹ Grundlagen zu den Kräften die beim Fahren mit Landmaschinen wirken, finden sich in: Eichhorn, H. (Hrsg.) (1999): Landtechnik, Stuttgart und Kutzbach, H (1989): Lehrbuch der Agrartechnik Band 1, Allgemeine Grundlagen Ackerschlepper Fördertechnik, Hamburg
- ² Vereinfacht muss die Hangabtriebskraft also mindestens dem Rollwiderstand entsprechen, um das SMS einsetzen zu können:

$$\text{Gewichtskraft} \cdot \sin \alpha = \text{Gewichtskraft} \cdot \cos \alpha \cdot \text{Rollwiderstandsbeiwert}$$

$$\tan \alpha = \text{Rollwiderstandsbeiwert}$$
 Da $\tan \alpha$ gleich der Steigung ist, entspricht der Rollwiderstandsbeiwert näherungsweise der Minimalsteigerung ab der/bis zu der das SMS eingesetzt werden kann.
- ³ Bei einem typischen Gerätträgergewicht von 450 kg, einer Endgeschwindigkeit von 1 m/s und einer Beschleunigungsdauer von 3 Sekunden ergibt sich ein Beschleunigungswiderstand (Masse mal Beschleunigung) von 150 N. Die zur Beschleunigung notwendige Leistung

$$\text{Beschleunigungsleistung} = \frac{1}{2} \cdot \text{Masse} \cdot \frac{\text{Geschwindigkeit}^2}{\text{Zeit}}$$
 beträgt weniger als 0,1 kW, wobei diese dann auch nur für Sekunden je durchfahrener Rebreihe anfällt. Der Luftwiderstand beträgt bei angenommener Stirnfläche des Gerätträgers von 1m² und dem Luftwiderstandsbeiwert (c_w) entsprechend eines LKW von 0,9 bei einer Luftdichte von 1,3 kg/m³ 0,675N.
- ⁴ Entscheidend ist nicht der absolute Druck, sondern der Druckunterschied im System. Da aber der Rückfluss annähernd drucklos ist, lässt sich die Hydraulikleistung vereinfacht nur durch Messung der Druckseite bestimmen.
- ⁵ Anders als bei den Messung unter Versuchsbedingungen konnte bei den Messungen im Feld keine ständige Kabelverbindung zwischen dem Zugkraftaufnehmer und dem zur Messwerterfassung an der Winde eingesetzten Rechner eingerichtet werden. Versuche, die am Geräteträger gemessenen Zugkräfte und die Hangneigung auf einem zweiten, synchronisierten Rechner abzuspeichern, schlugen fehl.
- ⁶ Die Eingangsleistung (Zapfwellenleistung) bei der Bergfahrt lässt sich mit der Funktion,

$$\text{Eingangsleistung}_{\text{Berg}} = 1,58 \cdot \text{Zugleistung} + 0,86$$
 beschreiben.

Für die Hydraulikleistung gilt entsprechend,

$$\text{Hydraulikleistung}_{\text{Berg}} = 1,53 \cdot \text{Zugleistung} + 0,86$$

Die Differenz (Eingangsleistung_{Berg} - Hydraulikleistung_{Berg}) ergibt die Verluste an der Hydraulikpumpe, Pumpenverluste_{Berg} = 0,05 * Zugleistung + 1,2 also annähernd konstant 1,2 kW.

- ⁷ Tatsächlich nimmt der zum Öffnen des Lasthalteventils notwendige Druck bei größeren Durchflussmengen etwas ab. Dadurch erklärt sich ein geringfügig verringerter Leistungsbedarf bei höheren Geschwindigkeiten.
- ⁸ Der im Vergleich mit der Anbauwinde der Firma Obrecht höhere Leistungsbedarf der Anhängewinde der Firma Clemens wäre durch die Wahl einer geringeren Drehzahl bei den Messungen wahrscheinlich günstiger ausgefallen.
- ⁹ In Anlehnung an das Rechenschema nach Welschof, zitiert nach: Eichhorn, H. (Hrsg.) (1999): Landtechnik, Stuttgart
- ¹⁰ Die in 4.1.3.4 dargestellte Abhängigkeit von Hydraulikleistung zu Zugleistung bei Bergfahrt mit 4 km/h lässt sich durch folgende Funktion beschreiben:
Eingangsleistung_{Berg} [kW] = 2,72 * Zugleistung [kW] + 1,24
- ¹¹ Zum Vergleich wurden Leistungen auch mit einer nicht angepassten Eingangsdrehzahl an der Winde von 300 U/min berechnet. Für die Talfahrt gilt dann: Lstg. [kW] = 0,52 * Geschw. [km/h] + 0,67
Für die Bergfahrt: Lstg. [kW] = 1,61 * Zuglsg. [kW] + 1,36
Für den Stand werden 0,7 kW gebraucht, für die Vorfahrt 2,4 kW.
- ¹² Kutzbach, H (1989): Lehrbuch der Agrartechnik Band 1 Allgemeine Grundlagen Ackerschlepper Förder-technik, Hamburg
- ¹³ Siehe Anhang 2
- ¹⁴ Da die Eingangsleistung an der Zapfwelle nur für die Winde mit Verstellpumpe ermittelt werden konnte, kann der Kraftstoffverbrauch so auch nur für diese Winde bestimmt werden. Aus den unter 4.1.3.4 aufgeführten Unterschieden im Hydraulikleistungsbedarf der verschiedenen Winden lässt sich aber der Mehrverbrauch beim Einsatz einer Winde mit Konstantpumpe im Vergleich zur Winde mit Verstellpumpe abschätzen.
- ¹⁵ DLG (Hrsg.) (1986): DLG-Prüfbericht 220 / OECD Nr. 1032, Fendt Farmer 204 P, Groß-Umstadt
DLG (Hrsg.) (1980): DLG-Prüfbericht 147 / OECD Nr. 678, Kubota L2850, Groß-Umstadt
- ¹⁶ Zum Abschätzen des spezifischen Verbrauchs [g/kWh] bei 50% der Nenndrehzahl wurde aus dem Motorkennfeldern folgende Funktionen abgeleitet, für den Fendt Farmer 204P bei 1125 U/min:

Verbrauch = $1,24 \cdot 10^3 \cdot M^{0,426}$ und für den Kubota L2850D bei 1300 U/min:

Verbrauch = $-0,0006 \cdot M^3 + 0,1529 \cdot M^2 + 12,463 \cdot M + 625,92$

M ist das Drehmoment in Prozent bezogen auf das Drehmoment bei Nenndrehzahl.

5 Ortsbestimmung mit Satelliten in Steillagen und Reihenkulturen

Während mit dem Seilzugmechanisierungssystem (SMS) eine bereits eingeführte Technik zur Mechanisierung von Steillagen untersucht wurde, zielt die Erprobung der Ortsbestimmung mit Satelliten in Steillagen auf einen zukünftigen Einsatz bei „Precision Viticulture“. Mit „Precision Viticulture“ sollen Umweltauswirkungen beim Weinbau verringert und die Wirtschaftlichkeit verbessert werden. Die Ortsbestimmung mit Satelliten ist dabei eine Schlüsseltechnologie.

Bei „Precision Viticulture“ werden die im Weinberg auftretenden kleinräumigen (oder zeitlichen) Unterschiede bei Boden, Klima und Pflanzenbestand erfasst. Entscheidungen über geeignete Bearbeitungsmaßnahmen werden dann auf der Grundlage dieser Information getroffen und umgesetzt. Durch eine solche angepassten Bearbeitung sollen insbesondere Verluste von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln vermieden werden. Kennzeichnend für „Precision Viticulture“ ist die rechnergestützte Automatisierung der mit der Informationsbeschaffung und Umsetzung verbundenen Arbeitsabläufe.

Von zentraler Bedeutung bei „Precision Viticulture“ ist der räumliche Bezug bei der Erfassung und Umsetzung von Information über einen Weinberg. Ohne Ortsbestimmung kann die Auswertung und Umsetzung der Information nur unmittelbar im Anschluss an ihre Erfassung erfolgen. Das schränkt die Möglichkeit des Precision Viticulture stark ein, denn viele Bearbeitungsmaßnahmen lassen sich nur mit zeitlicher Verzögerung umsetzen. Die Ortsbestimmung bei der Durchführung von Bearbeitungsmaßnahmen dient auch zur Dokumentation der verrichteten Arbeiten.

Zur Ortsbestimmung eignen sich grundsätzlich Verfahren der terrestrischen Navigation, wie Winkelmessung (Triangulation) und Koppeln. Im Weinberg lassen sich eindeutig bestimmbare Reihen, Stickle oder Reben zur Ortsbestimmung nutzen. Die Anwendung der Winkelmessung wird durch die Notwendigkeit einer ständigen Sichtverbindung zu den Referenzpunkten eingeschränkt. Beim Koppeln können Fehler durch ungenaue Geschwindigkeitsmessung (beispielsweise bei Schlupf) und schwierig zu erfassende Richtungsänderungen entstehen. Der größte Nachteil der Winkelmes-

sung, des Koppelns oder der Orientierung an der Rebreihe hinsichtlich einer Nutzung für „Precision Viticulture“ ist, dass sie sich gar nicht, oder nur sehr aufwendig und unbefriedigend automatisieren lassen. Moderne Satellitennavigationssysteme hingegen eignen sich zur Automatisierung. Standortdaten werden zur Weiterverarbeitung in einem standardisierten elektronischen Format¹ ausgegeben. Die Systeme zeichnen sich, abhängig vom eingesetzten Empfänger, durch einfache Handhabung aus. Das hat zur umfassenden Adaption der Satellitennavigation mit GPS (Global Positioning System) für „Precision Farming“ im Ackerbau geführt und letztendlich dessen Entwicklung erst ermöglicht.

An ein System zur Ortsbestimmung für „Precision Viticulture“ werden jedoch höhere Anforderungen an die Genauigkeit gestellt als für „Precision Farming“ im Ackerbau. Zu den Grundanforderungen an ein Navigationssystem in Reihenkulturen gehört, dass die Reb- oder Baumgasse, in der sich das Gerät befindet, eindeutig bestimmt wird². Im modernen (Steillagen-) Weinbau beträgt der Reihenabstand minimal 1,5 m. Der Fehler zwischen dem durch das GPS ermittelte Ort und dem wahren Ort darf also nicht größer als 0,75 m sein. Nur dann ist gewährleistet, dass die Gasse eindeutig identifiziert wird, wenn die GPS-Messung genau in der Mitte der Gasse durchgeführt wird. Dies ist im Praxiseinsatz aber normalerweise nicht der Fall. Ein GPS-Empfänger auf einem Traktor oder einem seilgezogenen Geräteträger wird beim Durchfahren der Reihe immer etwas von der Gassenmitte abweichen. Deshalb scheint es angebracht eine Genauigkeit von weniger als 0,5 m für den Weinbau zu fordern.

Vor dem Hintergrund der erforderlichen Genauigkeit im Weinbau wird das GPS nachfolgend näher erörtert. Im Anschluss werden Untersuchungen zur Eignung von GPS im Steillagenweinbau und Reihenkulturen in Verbindung mit dem SMS vorgestellt.

5.1 Ortsbestimmung mit GPS

Bereits seit 1964 werden Satellitensignale zur Navigation verwendet, seit 1967 auch von zivilen Nutzern³. Allerdings erlaubten die Systeme anfänglich Ortsbestimmungen nur in Abständen von bis zu zwei Stunden mit einer Genauigkeit von ca. 200 m hori-

zontal. 1973 hat das US-amerikanische Verteidigungsministerium mit der Entwicklung des „Global Positioning System“ (GPS) begonnen, das auch zivilen Anwendern unentgeltlich zur Verfügung steht. Damit ist satellitengestützte Ortsbestimmung bewegter oder ruhender Objekte in Echtzeit, bei jedem Wetter, zu jeder Zeit und an jedem Ort auf der Erde mit hoher Genauigkeit möglich.

5.1.1 Funktionsweise des GPS

Das GPS setzt sich zusammen aus Satelliten zur Aussendung der Navigationssignale, Kontrollstationen zur Steuerung der Satelliten und den Empfängern der Navigationssignale. Die Satelliten senden auf zwei Mikrowellenfrequenzen, auf denen die Navigationssignale aufmoduliert sind. Die Trägerfrequenzen sind als L1 (1575,42 MHz, ca. 0,19 m Wellenlänge) und L2 (1227,60 MHz, ca. 0,24 m Wellenlänge) bezeichnet. Das für die zivile Nutzung des GPS grundlegende Signal ist der auf der L1-Frequenz ausgestrahlte C/A-Code (Coarse Acquisition Code, Code zur groben Erfassung). Der C/A-Code setzt sich aus 1 023 Bits zusammen. Alle 0,978 Mikrosekunden wird ein Bit ausgesendet, was einer Wellenlänge von 293 Metern entspricht. Ein zweiter, höher aufgelöster (29,3 Meter Wellenlänge) Code, der P-Code (Precise Code/Protected Code, also der genaue oder geschützte Code), wird auf der L1 und L2 Frequenz verschlüsselt übertragen und steht zivilen Anwendern nicht zur Verfügung.

Auf der L1 Frequenz wird zusätzlich die Navigationsnachricht (Navigation Message, auch als NAVDATA bezeichnet) mit ausgesendet. Sie enthält Zeitinformation und regelmäßig über die Bodenstationen korrigierte Satelliten-Bahndaten, Daten zur Ionosphäre und Satelliten-Uhrendaten.

Im GPS-Empfänger werden die Codes der Satelliten analysiert. Aus der Differenz zwischen Signalsendezeit und Empfangszeit wird die Signallaufzeit bestimmt. Mit der auf Grund der Bahndaten bekannten Satellitenposition und der bekannten Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen wird dann die Entfernung zum Satelliten berechnet. Mit vier Satelliten lässt sich die Position des Empfängers berechnen. Vier Satelliten sind notwendig, da neben den drei unbekannteren Größen für die Ortsbestimmung

auch noch die exakte Zeit ermittelt werden muss⁴.

Neben dem GPS gibt es ein ähnliches russisches System, das „Global Navigation Satellite System“ (GLONASS). Auf Grund von Wartungsproblemen arbeitet GLONASS jedoch nicht zuverlässig. GLONASS ist, wie auch GPS, militärischen Ursprungs. Die Europäer haben die Einrichtung eines eigenen Systems unter dem Namen Galileo beschlossen⁵.

5.1.2 Ungenauigkeiten beim GPS

Grundlage der Ortsbestimmung mit dem GPS ist die Messung der Satellitenentfernung. Dabei treten Fehler auf, die zu Ungenauigkeiten führen. Der Ausbreitungsfehler (oder Atmosphärenfehler) beruht darauf, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen nur im Vakuum mit bekannter Lichtgeschwindigkeit erfolgt. In der Ionosphäre hingegen werden die Wellen durch geladene Teilchen verzögert, in geringerem Ausmaß auch in der Troposphäre durch Wasserdampf. Mit von den Satelliten übertragenen und fortlaufend von den Bodenstationen korrigierten Daten zur Atmosphäre, kann die Laufzeitverzögerungen eingeschränkt modelliert werden, wodurch eine genauere Berechnung der Satellitenentfernungen möglich wird. Da elektromagnetische Wellen abhängig von ihrer Frequenz unterschiedlich abgebremst werden – je niedriger die Frequenz umso größer die Verzögerung – lässt sich der Atmosphäreinfluss beim GPS durch den Vergleich der Laufzeitverzögerung der beiden Trägerwellen L1 und L2 noch genauer bestimmen. Da auf der L2-Frequenz aber kein Signal für zivile Anwender zur Verfügung steht, ist die Auswertung der L2-Frequenz sehr schwierig. Grundsätzlich lassen sich übermäßige Atmosphärenfehler vermeiden, wenn nur Satelliten, die höher als 10°–15° über dem Horizont stehen und deren Signale keinen zu langen Weg durch die Atmosphäre haben, für die Positionsberechnung verwendet werden.

Trotz Überwachung und Korrektur der Satelliten durch die Bodenstationen kommt es zu Abweichungen in den Atomuhren und Unstimmigkeiten bei den Satellitenpositionen, den Satellitenuhren- und Satellitenbahnfehlern.

Am Boden besteht die Gefahr der Mehrwegausbreitung (Multipath). Zur Mehrweg-

ausbreitung kommt es, wenn Satellitensignale nicht nur im direkten Weg auf die Antenne treffen, sondern zuvor reflektiert werden.

Ungenauigkeiten bei der geometrischen Berechnung des Standortes ergeben sich bei ungünstiger Position der Satelliten relativ zum Empfänger. Stehen die empfangenen Satelliten eng beieinander, schneiden sich die zur Positionsberechnung verwendeten Verbindungslinien zwischen Satelliten und Empfänger im spitzen Winkel, mit der Folge geringerer Genauigkeiten⁶.

Ungenauere Empfängeruhren sind eine Ursache der Empfängerfehler. Die Genauigkeit, mit der die Satellitensignale im Empfänger abgeglichen werden, beträgt 2–3 % der Wellenlänge. Bei der Auswertung des C/A-Codes mit einer Wellenlänge von 293 Metern ergibt sich so ein Messfehler von 6 bis 9 Metern. Mit Verwendung des P-Code ließe sich der Messfehler bereits auf 60 bis 90 Zentimeter verringern. Wird die Trägerwelle mit einer Länge von ca. 19 cm (L1) zur Messung genutzt, verringert sich der Messfehler auf 4 bis 6 mm.

5.1.3 GPS-Empfänger

Einfache GPS-Empfänger nutzen den C/A-Code auf der L1 Frequenz zur Zeitmessung. Sie erreichen damit eine Genauigkeit von 10 Metern⁷. Durch Einsatz von „Differential GPS“ (DGPS) lässt sich die Genauigkeit steigern. Differential GPS beruht darauf, dass zwei nah beieinander stehende Empfänger ähnlichen atmosphärischen Einflüssen unterliegen und somit ihre ermittelten Positionen – von Mehrweg- und Empfängerfehlern abgesehen – einen annähernd gleichen Fehler aufweisen. Ist einer der GPS-Empfänger an einem Ort mit bekannten Positionsdaten eingerichtet, kann die Abweichung zwischen seiner wahren Position und der mit den Satellitensignalen ermittelten Position zur Berichtigung eines oder mehrerer anderer GPS-Empfänger verwendet werden. Solche Korrekturdaten für GPS-Empfänger werden von unterschiedlichen Anbietern, teilweise für den Benutzer kostenfrei, zur Verfügung gestellt⁸. Sie werden zur Korrektur in Echtzeit von der Erde über Langwellen, Ultrakurzwellen, auf dem 2-Meter-Band, über Mobiltelefon oder über Satellit ausgesendet. Für kleinräumig eingesetzte Korrekturstationen steht das 0,7-Meter-Band mit einer Reichweite von wenigen Kilometern zur Verfü-

gung. Die Korrekturstation wird im Allgemeinen als Basis- oder Referenzstation bezeichnet, der zu korrigierende Empfänger als „Rover“. Die Ähnlichkeit der Fehler und somit die Güte der Berichtigung ist umso größer, je näher Basis und Rover beieinander stehen. Unter guten Bedingungen erreichen einfache Differential-GPS-Empfänger eine Genauigkeit von 2–3 Metern.

Hochwertige GPS-Empfänger werten zur Berechnung der Signallaufzeit zusätzlich zum C/A-Code die im Vergleich viel kürzere Trägerwelle aus, mit der sich eine höhere Auflösung erreichen lässt. Dieses als trägergeglättete Codephasenmessung bezeichnete Verfahren ermöglicht bei Verfügbarkeit eines Korrektursignals eine Genauigkeit von <1 Meter.

Da sich aber die einzelnen Trägerwellenzyklen nicht voneinander unterscheiden lassen, kann nur die Länge des letzten (im Allgemeinen) unvollständigen Wellenzyklus, die sogenannte Restwellenlänge und die Doppler-Frequenz-Verschiebung der Trägerwelle gemessen werden. Mit der Doppler-Verschiebung lässt sich die Geschwindigkeit des Rovers ermitteln.

Bei der Phasenmessung (Carrier Phase Positioning) wird zur Laufzeitmessung der Trägerwelle zusätzlich zur Restwellenlänge noch die als Mehrdeutigkeit bezeichnete Anzahl ganzer Wellenlängen zwischen Empfänger und Satellit bestimmt. Zum Auflösen dieser Mehrdeutigkeit ist eine ebenfalls zur Phasenmessung geeignete Basisstation notwendig⁹. Die größtmögliche Entfernung zwischen Basisstation und Rover, bei der eine Phasenmessung noch zuverlässig möglich ist, wird im Allgemeinen mit 30 Kilometern angegeben. Erhöhte Sonnenfleckenaktivität, wie sie um den Jahreswechsel 2000/2001 aufgetreten ist, kann jedoch zu so großen Störungen durch die Ionosphäre führen, dass eine Auflösung der Mehrdeutigkeit auch bei sehr viel kürzeren Entfernungen nicht möglich ist.

In Deutschland wird ein Netz von Korrektursendern aufgebaut, das über 2-Meter-Funk und Mobiltelefonnetz für die Phasenmessung geeignete Korrekturdaten aussendet. Bereits jetzt ist kein Ort im Weinbaugebiet Rheingau beispielsweise weiter als 30 Kilometer von einem der umliegenden Sender in Wiesbaden oder Bingen entfernt und somit innerhalb der Reichweite des Funksignals zur Auflösung der Mehrdeutigkeit unter guten Bedingungen¹⁰. Geplant ist die Bereit-

stellung sogenannter virtueller Referenzstationen, die eine Auflösung der Mehrdeutigkeit auch bei ungünstigen ionosphärischen Verhältnissen ermöglichen sollen. Mit Kenntnis der ungefähren Positionsdaten des Rovers werden dazu die Korrekturdaten mehrerer Referenzstationen entsprechend ihrer Entfernung zum Rover gemittelt. Voraussetzung dafür ist eine (Funk-) Verbindung von Rover zu Korrektursender. Um das Problem zu großer Entfernung von Basis und Rover und mangelnder Verfügbarkeit öffentlich angebotener Korrektursignale zu umgehen, werden für phasengestützte GPS-Messungen jedoch in der Regel eigene Basisstationen auf dem 0,7 Meter Band mit einer Funkreichweite von ca. 2 Kilometern betrieben.

Beim 2-Frequenz-Verfahren wird zusätzlich zur L1-Frequenz noch die L2-Frequenz zur Positionsbestimmung verwendet, um den frequenzabhängigen Einfluss der Ionosphäre auf die Signallaufzeit zu berechnen. Da der auf der L2-Frequenz modulierte Code nicht öffentlich ist, kann die 2-Frequenz-Messung nur als Phasennutzung erfolgen. Durch die 2-Frequenz-Messung lässt sich die Genauigkeit der Positionsbestimmung auf 0,02 bis 0,03 Meter erhöhen.

GPS-Empfänger mit Phasennutzung werden auch als RTK-Empfänger oder geodätische GPS-Empfänger bezeichnet. RTK steht für „Real Time Kinematic“, also die Fähigkeit der Positionsbestimmung in Echtzeit und in Bewegung. Das ist eine irreführende Bezeichnung, da auch einfachste Ein-Frequenz-Empfänger den Anspruch erheben, in Echt-

zeit und Bewegung zu messen, allerdings mit sehr viel geringerer Genauigkeit. Die Bezeichnung geodätische GPS-Empfänger deutet auf eines der Hauptprobleme dieser Geräte für die Nutzung in der Landwirtschaft hin: Sie sind in erster Linie für reine Vermessungsaufgaben ausgelegt¹¹. Grundlegende Kenntnisse der Vermessungstechnik sind für einen sicheren Umgang mit diesen Geräten notwendig.

Ein Vergleich der GPS-Verfahren für Echtzeit-Messungen zeigt die wichtigsten Unterschiede auf (Tab. 15):

Die Zuverlässigkeit lässt sich durch die Verbindung des GPS mit anderen Verfahren zur Ortsbestimmung erhöhen. So können Ausfälle des GPS durch Koppeln überbrückt werden. Beim einfachsten Verfahren werden Fahrtrichtung und Geschwindigkeit entsprechend der letzten mit GPS ermittelten Werte fortgeschrieben. Die Extrapolation wird von der Anzahl der Werte, auf die zurückgegriffen wird, deren Gewichtung (beispielsweise neue Werte höher als alte) und die angewendeten Rechenverfahren beeinflusst. Bei Geradeausfahrt sind so zuverlässige Ergebnisse möglich¹². Eine Interpolation von Standort-Daten bietet vor allem in der Nachbearbeitung eine Möglichkeit zur Überbrückung von Ausfallzeiten.

Auch für Kurvenfahrten gibt es Rechenverfahren, mit denen die Fahrwegfortschreibung bei Ausfall des GPS möglich ist. Aus Grund der kurzen Zeiten von Richtungsänderungen ist für eine zuverlässigere Koppelung ein Richtungsgeber, beispielsweise ein Kreiselkompass, notwendig. Mit einem

Tab. 15: Vergleich von GPS-Empfängern

	Einfache GPS-Empfänger	Differential GPS-Empfänger	1-Frequenz GPS-Empfänger mit Trägerglättung	2-Frequenz RTK-GPS-Empfänger
Genutzte Frequenzen		eine		zwei
Korrektursignal	ohne		mit	
Phasennutzung		ohne		mit
Genauigkeit	ca. 10 m	2-3 m	1 m*	0,03 m
Ansprüche an den Benutzer	gering	gering	gering	hoch
Zusätzliche Kosten für das Korrektursignal	keine	keine bis 2 000 €/Jahr	2000 €/Jahr (einschl. durch Satelliten übertragenes Referenzsignal für hohe Genauigkeit)	Bei Verwendung einer eigenen Basisstation keine Kosten, sonst ab 0,2 €/Min.
Anschaffungskosten	ab 500 €	ab 1 500 €	ab 9 000 €	ab 30 000 €

*mit vernetzten Referenzstationen werden Genauigkeiten bis zu 0,5 Metern erwartet.

zusätzlichen Geschwindigkeitssensor kann auch bei wechselnden Geschwindigkeiten zuverlässig gekoppelt werden. GPS-Empfänger für den Einsatz in der Landwirtschaft mit der eingebauten Möglichkeit zur unabhängigen Geschwindigkeits- und Fahrtrichtungserfassung werden nicht angeboten (Hybride Systeme) – zudem ist die Erfassung der Richtungsänderung sehr aufwendig.

Mit „Map Matching“ lässt sich die Zuverlässigkeit der Standortbestimmung, vor allem von einfachen DGPS-Empfängern, in Reihenkulturen mit weitgehend vorgegebenem Fahrweg erhöhen¹³. Dazu muss der Fahrweg in den einzelnen Gassen vorab genau vermessen sein, was nur mit spezialisiertem Vermessungsgerät (beispielsweise Laser-Tachymeter oder 2-Frequenz-GPS-Anlagen) möglich ist. Beim Befahren einer Gasse wird dann berechnet, welche Gasse dem mit GPS ermittelten Standort am ehesten entspricht.

5.2 Untersuchungen zum Einsatz von GPS in Reihenkulturen und Steillagen

Um die Eignung von GPS für Reihenkulturen und Steillagen zu untersuchen, wurden Messungen mit einer Zwei-Frequenz-GPS-Anlage der Firma Trimble¹⁴ durchgeführt:

- Auf einem Schienenweg wurde die Genauigkeit des GPS bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Hangneigungen gemessen.
- Die Zuordnung der Daten eines Sensors zu GPS-Positionen wurde bei Zugkraftmessungen am SMS erprobt.
- Das GPS wurde auf dem Geräteträger des SMS aufgebaut, um die Eignung zur Arbeitszeiten-Aufnahme zu testen. Voraussetzung dafür war die Vermessung der Rebflächen, wodurch die Erstellung von Karten und Geländemodellen möglich wurde.

Die beiden als Rover und Basisstation eingesetzten Empfänger der GPS-Anlage können maximal fünfmal in der Sekunde überar-



Abb. 54: GPS-Referenzstation

beitete Positionsdaten ausgeben. Das Datenalter (Latency) bei der Ausgabe mit 5 Hz ist mit 0,1 Sekunden angegeben. Die Übertragung der Korrekturdaten von der Basisstation zum Rover erfolgt über Funk auf dem 2 m Band. Die Einstellung der Empfänger erfolgt entweder mit einem speziellen Feldrechner oder mit einem Programm¹⁵ auf einem Standardrechner (PC). Die GPS-Daten können entweder auf dem Feldrechner oder auf einem an den Rover angeschlossenen PC abgespeichert werden¹⁶.

5.2.1 Messaufbau

Zu Beginn der Messung mit einer Zwei-Frequenz-GPS-Anlage wird die Basis- oder Referenzstation eingerichtet (Abb. 54). Dafür muss die Position der Basisstation und das geodätische Bezugssystem bestimmt werden. GPS-Positionen beziehen sich auf das WGS-84-Ellipsoid. Zur Verknüpfung mit topographischen Karten oder mit Positionsdaten die in einem lokalen Koordinatensystem erstellt sind, müssen die GPS-Positionen in das lokale Bezugssystem transformiert werden¹⁷.

Nachdem die Basisstation eingerichtet ist, können mit dem Empfänger des Rovers genaue Positionsmessungen durchgeführt werden. Für Vermessungsaufgaben wird im allgemeinen der Feldrechner eingesetzt. Dabei werden Positionsdaten abgespeichert, sobald vorgegebene Anforderungen an Satellitenverfügbarkeit und Streuung der Messwerte erfüllt sind.

Fortlaufend erhobene Positionsdaten werden vom GPS-Empfänger im gewählten For-

mat und mit der eingestellten Rate ausgegeben und auf einen Standardrechner (PC) übertragen und abgespeichert. Der GPS-Empfänger kann verschiedene Typen von ASCII Datensätzen im NMEA 0183 Format übertragen. Für die meisten Anwendungen hat sich der PJK Datensatz bewährt¹⁸. Darin sind die Nord- und Ostkoordinaten und die Höhe in Metern, die Zeit und Informationen zur Qualität des Satellitensignals enthalten. Daraus lassen sich Geschwindigkeit oder Hangneigung direkt ableiten.

Eines der Ziele der Untersuchung war es, Daten mechanischer Messwertaufnehmer, beispielsweise Messwerte eines Zugkraftaufnehmers, einer genauen Position zuzuordnen. Dazu sollen die GPS-Positionen von demselben Messdatenerfassungsprogramm aufgenommen und abgespeichert werden, das auch die Daten der Messwertaufnehmer erfasst. Im Messdatenerfassungsprogramm DasyLab¹⁹ kann ein Modul zum Auslesen der Daten an der seriellen Schnittstelle eingerichtet werden²⁰. In diesem Modul muss für jeden Abschnitt des vom GPS an die Schnittstelle gesendeten Datensatzes ein Kanal eröffnet werden und in einem Formatstring angegeben werden, wie der Messwert zu lesen ist. Nachdem das Programm gestartet ist, arbeitet es die Kanäle nacheinander ab und speichert die Messwerte. Ist der letzte Kanal abgearbeitet wird nach Erreichen des durch die Abfragerate vorgegebenen zeitlichen Abstands wieder mit dem ersten Kanal begonnen. Bei jeder Abfrage werden zeitgleich (über einen Analog-Digital-Wandler) auch die Daten der mechanischen Messwertaufnehmer erfasst und zusammen mit den GPS-Daten abgespeichert. Nach Beendigung der Messung können die Daten dann zur weiteren Bearbeitung in ein Tabellenkalkulationsprogramm übertragen werden.

5.2.2 Messungen zur Beurteilung der Genauigkeit

Die Genauigkeit der eingesetzten 2-Frequenz-GPS-Anlage wurde durch Messungen entlang eines Schienenweges bei unterschiedlichen Steigungen und Geschwindigkeiten überprüft. Der erste Teil der Messungen wurde an einem Standort in flachem Gelände durchgeführt, frei von Hindernissen, die das Satellitensignal beeinträchtigen könnten (Abb. 55). Im zweiten Teil der Messungen wurden die Ergebnisse des ersten

Teils in zwei Steillagenweinbergen kontrolliert (Abb. 56).

5.2.2.1 Vorgehensweise

Für die Messungen wurde die Antenne des Rovers auf einem Schlitten angebracht. Dieser Schlitten war an einen ca. 6 m langen Schienenweg angepasst, auf dem er an einem Seil ohne Spiel entlang gezogen werden konnte. Die Schiene war in ihrer Steigung veränderbar. Am hindernisfreien Standort im flachen Gelände wurde mit 0, 45, 60 und 75 % Steigung gemessen. Die Messungen in Steillagen fanden am Schlossberg in Johannisberg mit annähernd flacher Schiene und mit ca. 40 % Steigung statt. An der Burg Ehrenfels in Rüdesheim wurde mit ca. 80 % Steigung gemessen. Bei jeder Steigung wurden zwei Messfahrten durchgeführt, bei denen der Schlitten mit ca. 2 und mit ca. 4 km/h auf dem Schienenweg entlang gezogen wurde. Während der Messfahrten des Schlittens auf dem Schienenweg wurden fünfmal in der Sekunde Positionsdaten ermittelt und auf einem Rechner abgespeichert (Abb. 57).

Zur Auswertung wurde die mittlere Entfernung der während der Messfahrten aufge-



Abb. 55: Messschiene



Abb. 56: Messschlitten

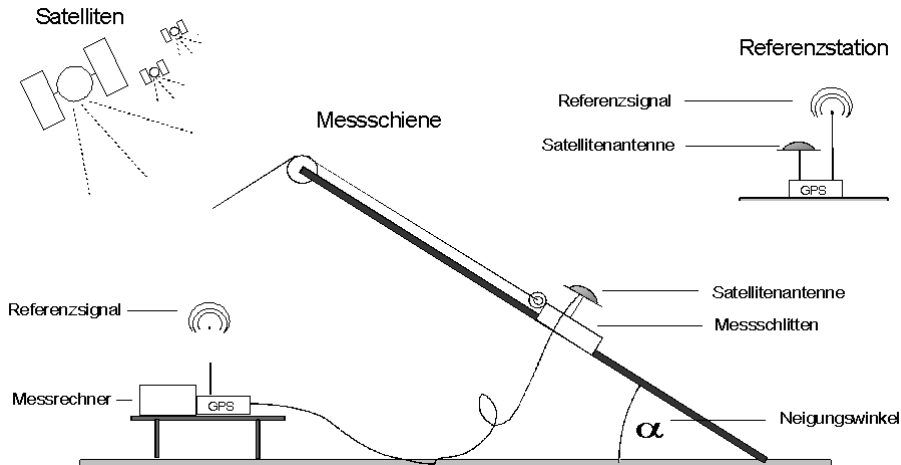


Abb. 57: Messaufbau zur Bestimmung der GPS-Genauigkeit

nommenen horizontalen und vertikalen Positionen von der Messschiene errechnet. Die Lage und Steigung des Schienenwegs wurde vor und nach den eigentlichen Messfahrten genau gemessen. Dazu wurde der Schlitten an zwei festgelegten Punkten auf dem Schienenweg geparkt und jeweils über einen Zeitraum von 30 Sekunden Positionsdaten mit 5 Hz aufgenommen. Durch die Mittelwerte der Koordinaten dieser beiden Punkte ist der Schienenweg bestimmt.

Um die Abweichung der während der Messfahrten aufgenommenen räumlichen Positionsdaten von der Messschiene zu ermitteln, werden zur Vereinfachung in einem ersten Schritt alle Messpunkte einer Koordinatentransformation unterzogen. Dabei wird einer der beiden den Schienenweg kennzeichnenden Punkte als Koordinatenursprung bestimmt (Abb. 58). Ein beliebiger während der Messfahrten aufgenommener Punkt P ist durch seine Nord-, Ost- und Höhenkoordinaten mit dem Vektor $\vec{P} = (N_P, O_P, H_P)$ beschrieben. Die Position der

Schiene ist durch den Vektor ihres zweiten, nicht als Koordinatenursprung gewählten, kennzeichnenden Punktes beschrieben: $\vec{L} = (N_L, O_L, H_L)$. Die gesuchte Abweichung von \vec{P} entspricht der Länge des senkrecht auf dem Schienenweg \vec{L} stehenden Abstandsvektors \vec{A} . Die Summe aus Abstandsvektor und des um den Faktor f in der Länge angepassten Vektors \vec{L} ist der Vektor \vec{P} : $\vec{P} = \vec{A} + f\vec{L}$. \vec{L} und \vec{P} sind bekannt. Um \vec{A} bestimmen zu können, muss der Faktor f berechnet werden. Dazu werden beide

$$\vec{P} = \vec{A} + f\vec{L} \text{ mit dem Vektor } \vec{L} \text{ skalar multipliziert. Da der Abstandsvektor } \vec{A} \text{ senkrecht zum Schienenweg } \vec{L} \text{ steht, ergibt das Skalarprodukt von } \vec{A} \text{ und } \vec{L} \text{ Null, } \vec{A} \cdot \vec{L} = 0. \text{ Damit lässt sich der Faktor } f \text{ und der Abstandsvektor } \vec{A} \text{ berechnen:}$$

$$f = \vec{P} \cdot \vec{L} / \vec{L} \cdot \vec{L}$$

$$\vec{A} = \vec{P} - f\vec{L}$$

Die Länge von \vec{A} ist gleich dem Betrag von

$$|\vec{A}| = \sqrt{\vec{A} \cdot \vec{A}}$$

Zur Auswertung wurden die Messwerte

jeder Messfahrt gemittelt. So ergeben sich durchschnittliche Abweichungen für unterschiedliche Geschwindigkeiten, Hangneigungen und Standortbedingungen. Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, dass die Position des als Referenz gewählten Schienenwegs selbst mit dem Fehler der statischen Positionsbestimmung mit der GPS-Anlage behaftet ist.

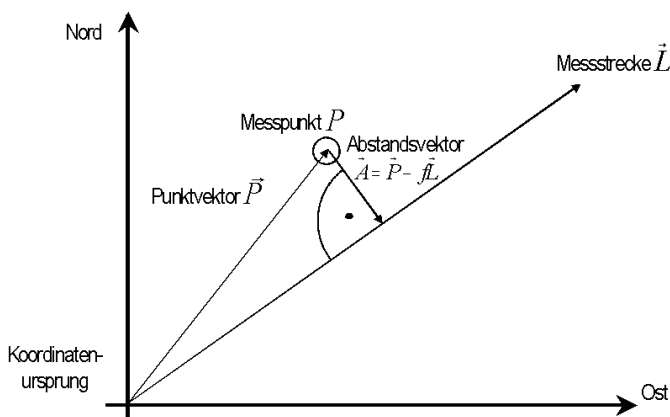


Abb. 58: Vektoren zur Berechnung der Abweichung der GPS-Positionen

5.2.2.2 Ergebnisse

Im ersten (Abb. 59) der beiden nachfolgenden Diagramme sind die mittleren Abweichungen der Positionswerte vom Schienenweg an einem Standort in der Ebene dargestellt. Das zweite Diagramm (Abb. 60) zeigt die mittleren Abweichungen unter Steillagenbedingungen auf. Die mittleren horizontalen und vertikalen Abweichungen war nie größer als 7 cm. Ein Einfluss von Fahrgeschwindigkeit und Fahrwegsneigung/Hangneigung ist nicht erkennbar.

Bei den Feldmessungen sollte mit dem GPS auch die Steigung und die Geschwindigkeit bestimmt werden. Um die Geschwindigkeit der Messfahrten zu ermitteln, wurde die horizontale Lageveränderung zwischen zwei Messpunkten im Verhältnis zur verstrichenen Zeit gesetzt. Die Steigung wurde aus dem Verhältnis der Höhenveränderung zur Lageveränderung bestimmt. Die oben aufgezeigten Abweichungen bei der Positionsermittlung führen zu Fehlern bei der Bestimmung von Steigung und Geschwindigkeit, insbesondere wenn zwischen zwei Messpunkten nur geringe Entfernungen in Höhe oder Lage zurückgelegt wurden. Verbesserungen lassen sich erzielen, indem entweder Durchschnittswerte verwendet werden, vorausgesetzt es finden tatsächliche Positionsänderungen statt, oder der Abstand zwischen den ausgewerteten Messpunkten erhöht wird. Die Abnahme der Varianz bei verringerter Abfragerate wird im Diagramm (Abb. 61) deutlich.

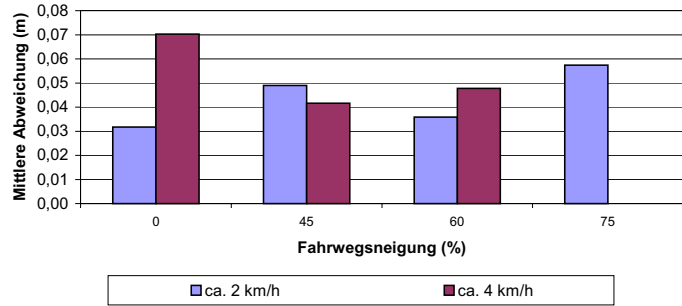


Abb. 59: Abweichung der GPS-Position bei unterschiedlichen Fahrwegsneigungen und Geschwindigkeiten

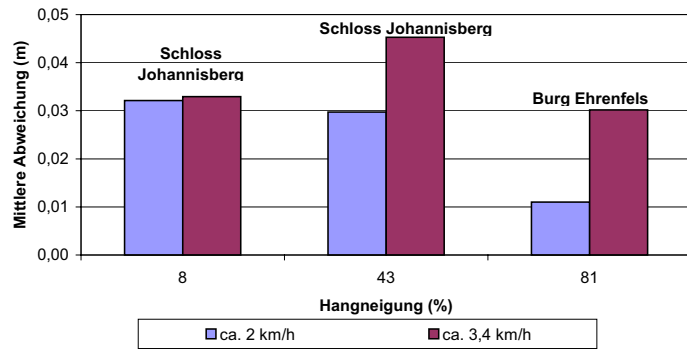


Abb. 60: Abweichung der GPS-Position in Steillagen

5.2.3 Zugkraftmessungen in Verbindung mit GPS

Die GPS-Anlage wurde für Zugkraftmessungen am Seilzugmechanisierungssystem (SMS) im Feld eingesetzt. Gemessen wurde beim Pflanzenschutz, Laubschneiden und Mulchen, bei Hangneigungen zwischen 40 und 85 % am Schloss Johannisberg und an der Burg Ehrenfels. Es sollte ermittelt werden, wie gut die für die Bestimmung der Antriebsleistung errechneten Zugkräfte (vgl. 4.1.3.1) mit im Feld gemessenen übereinstimmen. Mit den GPS-Positionsdaten wurde die Geschwindigkeit und die Hangneigung errechnet.

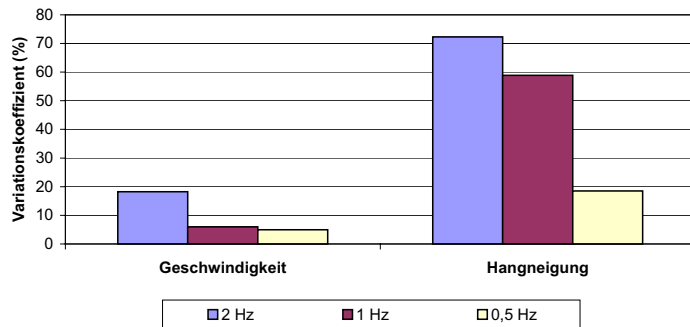


Abb. 61: Güte der Berechnung von Geschwindigkeit und Hangneigung aus GPS-Positionen in Abhängigkeit von der Abfragerate (Schienenweg mit 45° Steigung und ca. 1,9 km/h Geschwindigkeit)

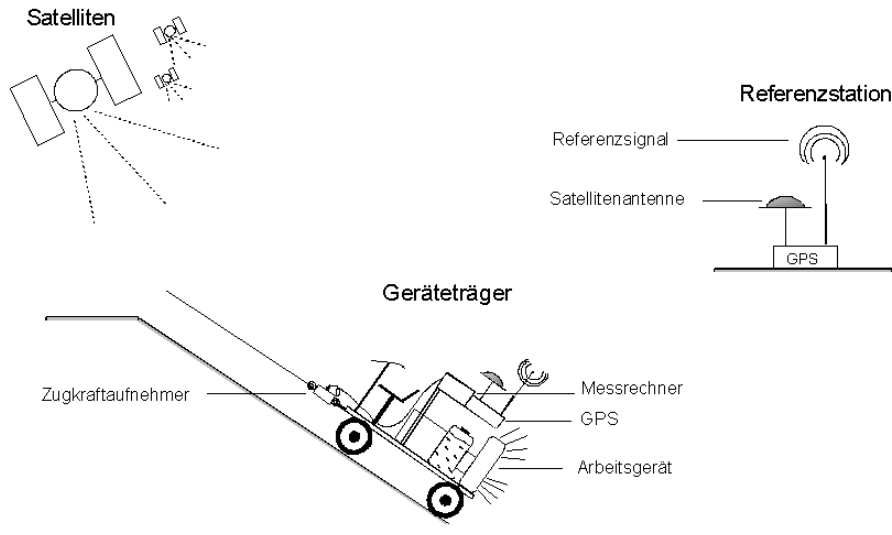


Abb. 62: Messaufbau für Zugkraftmessungen in Verbindung mit GPS

5.2.3.1 Vorgehensweise

Für die Messungen war der GPS-Empfänger mit der Antenne am Geräteträger des SMS angebracht. Der Zugkraftaufnehmer wurde zwischen Zugseil und Geräteträger eingehängt. Zugkraftwerte und Positionsdaten des GPS wurden wie oben beschrieben (vgl. 5.2.1) auf einem mitgeführten Rechner abgespeichert (Abb. 62, Abb. 63).



Abb. 63: GPS-Antenne auf dem Geräteträger

Die GPS-Positionen wurden einmal oder fünfmal je Sekunde ermittelt. Die Messrate des Zugkraftaufnehmers entsprach entweder der Messrate des GPS (5/s) oder wurde auf 50 Hz gesetzt. Ziel der 50 Hz Messrate war es, Schwankungen der Zugkraftwerte durch Mittelwertbildung über 10 oder 50 Messwerte, entsprechend der Messrate des GPS, auszugleichen (Wirkungsweise eines Filters). Bei dieser blockweisen Mittelung traten Verzögerungen bei der Abspeicherung der Zugkräfte auf, was zu Problemen bei der Zuordnung der Positionsdaten bei der unmittelbaren Datenreduktion führte. Datenglättungen wurden auch bei der späteren Auswertung vorgenommen, in dem gleitende Durchschnitte für Steigung und Zugkraftwerte berechnet wurden.

5.2.3.2 Ergebnisse

In den ersten drei Diagrammen sind beispielhaft die Ergebnisse der Messungen bei drei verschiedenen Hangneigungen dargestellt. Im ersten Diagramm (Abb. 64) ist der

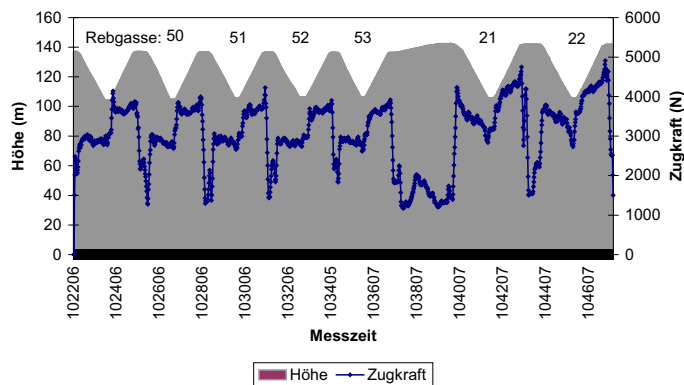


Abb. 64: Zugkräfte beim Laubschneiden an der Burg Ehrenfels

typische Verlauf eines SMS-Einsatzes an der Burg Ehrenfels dargestellt. Die Zugkräfte für die Fahrt des Geräteträgers und der Höhenverlauf sind abgebildet.

Die nächsten beiden Diagramme zeigen einen Ausschnitt aus der obigen Abbildung 64 im Bereich einer der steilsten Zeilen: Zuerst wieder die Zugkräfte mit dem Höhenprofil (Abb. 65), im Anschluss daran die Zugkräfte und der Absolutwert der Steigung (Abb. 66). Die Steigung wurde jeweils von einem zum nächsten Messpunkt ermittelt (Messrate 1 Hz). Zur Glättung wurde der gleitende Durchschnitt über acht Messpunkte gebildet.

Die Gesamtgewichtskraft des Laubschneiders einschließlich Fahrer und Messeinrichtung betrug 6080 N. Bei 75 % Hangneigung wurde für die Talfahrt eine Zugkraft von ca. 3500 N gemessen, für die Bergfahrt ca. 4000 N. Rechnerisch ergibt sich daraus ein Rollwiderstandsbeiwert zwischen 0,03 und 0,07. Es folgen (Abb. 67), zum Vergleich, Werte für eine Rebzeile mit ca. 60 % Steigung und eine Rebzeile am Schloss Johannisberg mit ca. 45 % Steigung (Abb. 68). Bei 60 % Steigung wurden Zugkräfte von ca. 2800 N und 3600 N gemessen. Das entspricht einem Rollwiderstandsbeiwert zwischen 0,06 und 0,09. Die Zugkräfte bei 45 % Steigung betragen ca. 2000 N und 2800 N, woraus sich ein Rollwiderstandsbeiwert von ca. 0,07 ergibt:

Die Verläufe der Zugkraftmessungen beim Pflanzenschutz und beim Mulchen entsprechen denen beim Laubschneiden. Im folgenden Diagramm (Abb. 69) ist die Fahrt

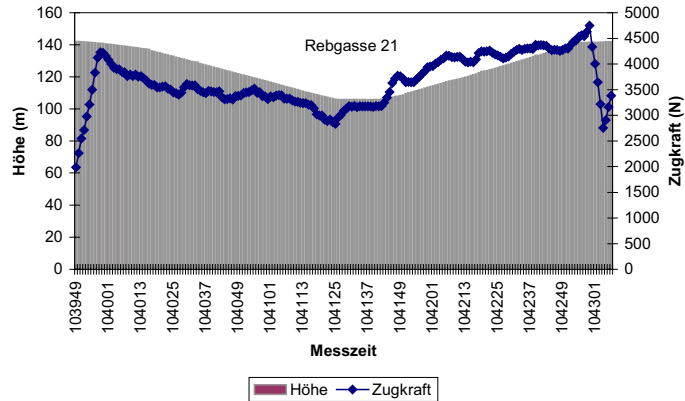


Abb. 65: Zugkräfte beim Laubschneiden in Verbindung mit dem Höhenverlauf

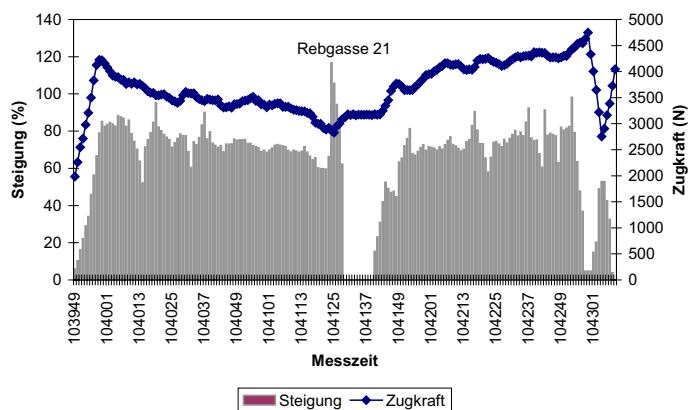


Abb. 66: Zugkräfte beim Laubschneiden bei ca. 75 % Steigung

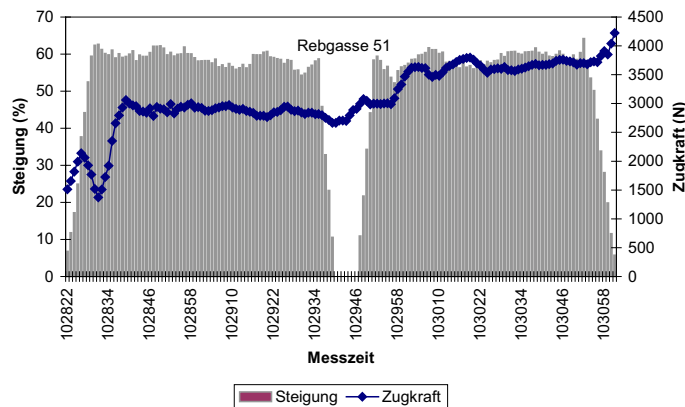


Abb. 67: Zugkräfte beim Laubschneiden bei ca. 60 % Steigung

mit dem SMS beim Mulchen in steilem Gelände dargestellt. Die Steigung ist dabei jeweils über einen Höhenunterschied von ca. 5 m berechnet, die Zugkräfte sind über diesen Bereich gemittelt. Die Gesamtgewichtskraft beim Mulchen betrug ca. 7030 N.

Beim Pflanzenschutz betrug die Gewichtskraft während der Messfahrten ca. 5220 N. Im nächsten Diagramm (Abb. 70) ist die Höhe über dem projizierten Fahrweg, wieder in einer der steilsten Rebmassen an

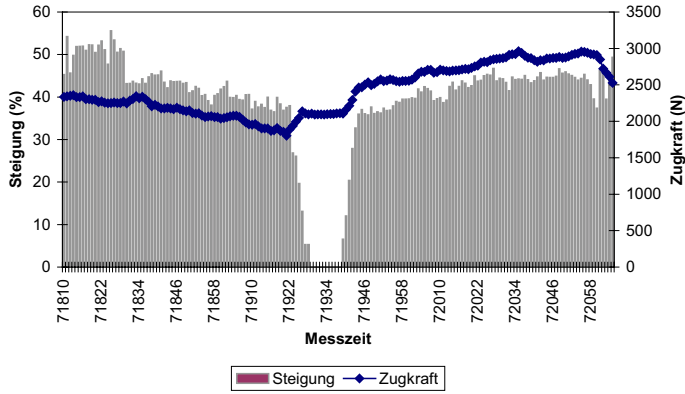


Abb. 68: Zugkräfte beim Laubschneiden bei ca. 45 % Steigung (Johannisberger Schlossberg)

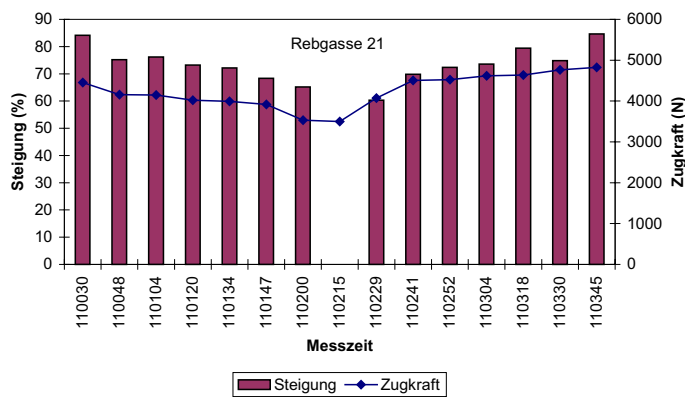


Abb. 69: Zugkräfte beim Mulchen bei ca. 75 % Steigung

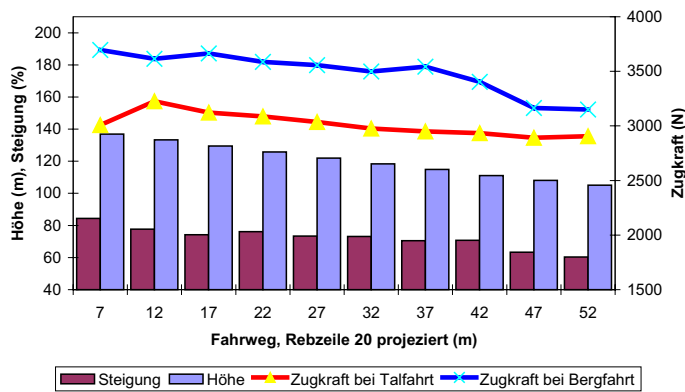


Abb. 70: Zugkräfte beim Pflanzenschutz bei ca. 75 % Steigung

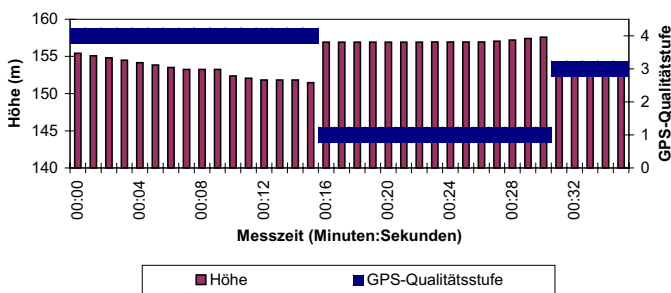


Abb. 71: Höhenmessung in Abhängigkeit von der Zeit und der GPS-Qualitätsstufe

der Burg Ehrenfels, aufgezeigt. Die Steigung ist für jeweils ca. 5 m Veränderung in der Lage berechnet. Die Zugkräfte sind über diesen Bereich gemittelt.

Bei den Messungen mit GPS im Steilhang konnte nicht durchgehend die erwünschte Genauigkeit (Abweichungen unter 10 cm) erzielt werden. Zum einen stand nicht immer die erforderliche Zahl an Satelliten zur Verfügung, zum anderen war die Funkverbindung von der Basisstation zum Rover nicht ausnahmslos gewährleistet. Probleme traten vor allem an der Burg Ehrenfels mit den hohen Weinbergsmauern und der Lage am Fuß des Berges auf. Im Beispiel Abbildung 71 sind die Auswirkungen wechselnder GPS-Qualitätsstufen auf die Höhenmessung dargestellt. Die Qualitätsstufe 4 kennzeichnet eine ohne Phasenauswertung, aber mit Korrektursignal gemessene Position. Bei Qualitätsstufe 1 ist die Position nur auf Grund des am Rover empfangenen Satellitensignals bestimmt worden, ohne Korrektursignal. Die angestrebte Qualitätsstufe 3 hingegen kennzeichnet Positionen, die unter Auswertung der Trägerphase ermittelt wurden, also eine Genauigkeit im Subdezimeter-Bereich aufweisen.

Warum die Qualität manchmal von Stufe 3 nach 4 wechselt, obwohl beispielsweise durchgehend sieben Satelliten mit befriedigender Geometrie empfangen wur-

den, war nicht erkennbar. Dass die Entfernung zwischen Basis und Rover zu groß war, um eine eindeutige Lösung bestimmen zu können, ist bei Basislinien, die immer unter 1 000 m lagen, unwahrscheinlich. Zusätzlich zur Unzuverlässigkeit der ermittelten GPS-Position gab es fortwährend Verluste der vom GPS-Empfänger ausgegebenen Datensätze, die über ein Terminal-Programm in den Messrechner gelangten²¹.

5.2.4 Arbeitszeitaufnahme

GPS wurde bereits mit Erfolg zur automatisierten Aufnahme von Arbeitszeiten in der Landwirtschaft eingesetzt²². Dazu wurden mit einer Reihe von Sensoren Maschinenzustände erfasst und zusammen mit GPS-Positionen abgespeichert. Durch Auswertung der Maschinenzustände wurden bei der Nachbearbeitung einzelne Arbeitszeitelemente identifiziert und deren Dauer bestimmt. Mit den im Steilhang durchgeführten Untersuchungen, sollte gezeigt werden, dass mit genauen GPS-Geräten die Aufnahme von Arbeitszeiten beim Bearbeiten von Reihenkulturen, unterschieden nach Teilzeiten, auch ohne die aufwändige Erfassung von Maschinenzuständen möglich ist.

5.2.4.1 Vorgehensweise

Als erster Schritt werden die Positionen aller Anker einer Rebanlage eingemessen. Anschließend wird geprüft, ob die Nordkoordinaten der oberen und unteren Ankerreihen einen funktionalen Verlauf in Abhängigkeit der Ostkoordinaten aufweisen. Ist dies der Fall, wird der Verlauf der Grenzfunktionen geschätzt. Lässt sich keine eindeutige Funktion für die Ortskoordinaten der Anker bestimmen (wenn z. B. einer Ostkoordinaten mehrere Nordkoordinaten zugeordnet werden können – ein bei der vorherrschenden Südausrichtung der Weinberge eher seltener Fall), wird durch Drehung ein in der Horizontalebene günstiger ausgerichtetes Bezugskordinatensystem ausgewählt. Am einfachsten verfährt man, in dem man die Umkehrfunktionen der Ankerreihen bildet.

Durch einfache logische Abfragen lässt sich mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms feststellen, ob ein beliebiger weiterer Messpunkt innerhalb oder außerhalb der von den Polynomen durch die Ankerpunkte

abgegrenzten Fläche liegt. Da jeder Positionsmessung eine Zeitmessung zugeordnet ist, bieten die GPS-Daten eine einfache Möglichkeit, Arbeitszeiten zu erfassen. Zur Arbeitszeitaufnahme wurden mit dem auf dem Geräteträger des SMS aufgebauten GPS-Gerät Positionsdaten ermittelt und auf einem mitgeführten Rechner abgespeichert. Für die Aufgabenstellung hat sich eine Positionserfassung mit 1 Hz als ausreichend erwiesen.

Voraussetzung für die Erfassung von Arbeitsteilzeiten mit GPS ist, dass sich die Übergänge zwischen den Teilzeiten mit eindeutig zu vermessenden räumlichen Merkmalen decken. So zählen z. B. alle Zeitabschnitte, die innerhalb der durch die Anker begrenzten Anlage zugebracht werden, zur Hauptarbeitszeit. Ohne Versorgungszeiten, Störungen und Arbeitspausen macht die Zeit außerhalb der Begrenzung durch die Anker die Wendezeiten aus. Zur Ermittlung der Teilzeiten werden für jeden, der während der Fahrt durch den Weinberg aufgenommenen Punkte, die seiner Ostkoordinate entsprechenden Werte der beiden Grenzfunktionen ermittelt. Jeder Fahrpunkt, dessen Nordkoordinate kleiner ist als der größere der für die beiden Grenzfunktionen errechnete (Nord-) Wert und größer ist als der kleinere, liegt innerhalb der Ankerreihen (Grenzfunktionen) und zählt deshalb zur Hauptzeit. Ist die Nordkoordinate eines Fahrpunktes größer als beide seiner Funktionswerte, so zählt er zur nördlichen Wendezeit, ist er kleiner als beide seiner Funktionswerte, ist er Teil der südlichen Wendezeit. Wird zusätzlich noch die Fahrgeschwindigkeit aus der Streckenänderung zwischen den Fahrpunkten berechnet, kann auch noch eine Aussage über Stillstands- und Verlustzeiten gemacht werden.

5.2.4.2 Ergebnisse

Im nachfolgenden Diagramm (Abb. 72) ist beispielhaft der Fahrweg beim Laubschneiden in Bezug auf die den Weinberg begrenzenden Anker dargestellt.

Tab. 16: Arbeitszeiten beim Laubschneiden mit dem SMS

	mit GPS gemessen	von Hand gestoppt
Obere Wende	37 s	38 s
Untere Wende	16 s	16 s

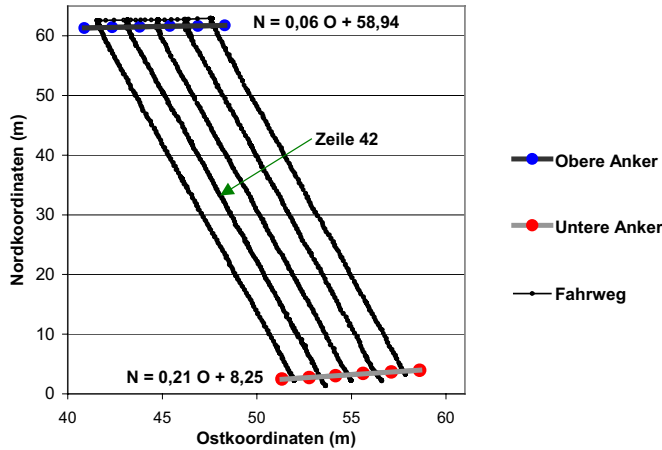


Abb. 72: Fahrweg des SMS beim Laubschneiden am Johannisberger Schlossberg

Bei der in dem obigen Diagramm dargestellten Fahrt betrug die obere Wendezeit im Mittel 37 Sekunden, die untere Wendezeit 16 Sekunden und die durchschnittliche Ar-

beitsgeschwindigkeit lag bei 1,9 km/h. In Tabelle 16 sind die mit GPS ermittelten Wendezeiten den von Hand gemessenen Zeiten gegenübergestellt:

Die zur Arbeitszeiterfassung mit dem GPS aufgenommenen Begrenzungen des Weinbergs eignen sich auch zur Erstellung von Karten und Geländemodellen. Mit Geländemodellen lässt sich das Relief eines Standorts als bestimm-

de Größe für natürliche und technische Restriktionen bei der Bewirtschaftung analysieren. Als Beispiel, ein Geländemodell der Versuchsfläche Johannisberger Schlossberg (Abb. 73).

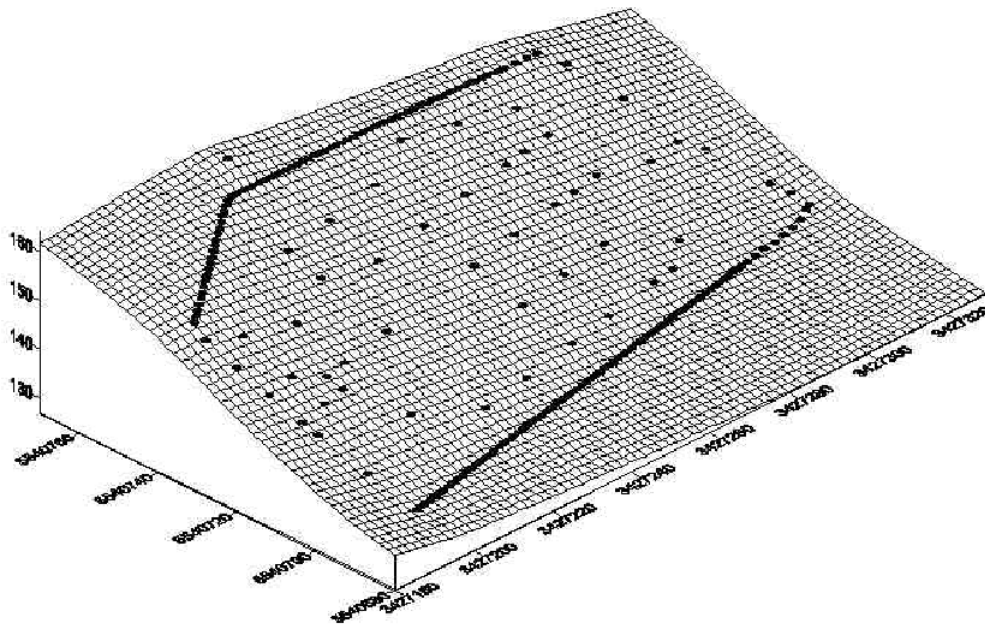


Abb. 73: Digitales Geländemodell des Johannisberger Schlossbergs (eigene Daten, angefertigt durch den Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz der Universität Rostock)

- ¹ Industriestandard zur Ausgabe von Navigationsdaten: NMEA 0183 (National Marine Electronics Association).
- ² vgl.: Ardoin N., Tisserre B., Sevilla, F. (1998): Specification for decision support systems in precision viticulture, Bio-decision conference, Montpellier (zitiert nach: Tisserre B., Paoli J.N., Sacca A., Total J., Sevilla F. (1999): dGPS Correction based on a Map Matching Algorithm for accurate machine location in the vineyard, in: Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering, Oslo)
- ³ vgl.: Hartl, P., Thiel, K. (1996): Satellitengestützte Ortung und Navigation, in: Spektrum der Wissenschaft 1/96, 102-106
- ⁴ Grundlagen zu GPS u.a. in: Dana, P. (2000): Global Positioning System Overview <<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>> und Trimble (Hrsg.) (2002): All about GPS <<http://www.trimble.com/gps/index.html>>

- ⁵ Am 26.3.2002. Vgl.: *Der Spiegel* (2002): Verkehr: Mit dem „Galileo“-Satelliten tritt Europa gegen die USA an, 14/02, 96
- ⁶ Das Maß für die geometrische Ungenauigkeit wird als GDOP (Geometric Dilution of Precision), also geometrische Präzisionsherabsetzung bezeichnet. Der GDOP nimmt ab, je weiter die empfangenen Satelliten voneinander entfernt stehen.
- ⁷ Für die Angabe der Genauigkeit von GPS-Empfängern gibt es keine einheitlichen Richtlinien. Im Allgemeinen wird die Genauigkeit in zwei Standardabweichungen für die GPS-Position von der wahren Position angegeben. Die hier angeführten Genauigkeiten beruhen auf Angaben der Gerätehersteller. Zu beachten ist, dass mit GPS Positionen standardmäßig im Koordinatensystem WGS-84 ermittelt werden. Für die Umrechnung in das Gauß-Krüger Koordinatensystem werden in den Empfängern deutschlandweit einheitliche Transformationsparameter angewendet. Dadurch können die Gauß-Krüger-Koordinaten einen zusätzlichen Fehler von bis zu 4 Metern erhalten.
- ⁸ siehe Anhang 3
- ⁹ Vgl.: Dana, P. (2000): Global Positioning System Overview
<<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>>
- ¹⁰ vgl. Anhang 3
- ¹¹ Die Fa. Trimble <www.trimble.com> bietet auch eine „landwirtschaftliche Ausführung“ ihrer 2-Frequenz-Empfänger an, noch liegen damit aber keine Erfahrungen vor.
- ¹² Vgl.: Beuche, H., Hellebrand, H. (1998): Positionsgenauigkeit und Verfügbarkeit verbessern, in: *Landtechnik* 3/98, 140-141
- ¹³ Tisseyre B., Paoli J.N., Sacca A., Total J., Sevilla F. (1999): dGPS Correction based on a Map Matching Algorithm for accurate machine location in the vineyard, in: *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering*, Oslo
- ¹⁴ Als Basisstation wurde ein Trimble 4400 Empfänger eingesetzt, als Rover ein Trimble 4700 Empfänger. Der Rover verfügte über ein eingebautes Funkmodem. Die Basisstation war an ein Trimble Trimtalk 450 S Funkmodem angeschlossen. Die Datenübertragung erfolgt auf UKW im Bereich zwischen 410 und 470 MHz.
- ¹⁵ Trimble Configuration Toolbox
- ¹⁶ Beispielsweise das im Windows-Betriebssystem integrierte Hyperterminal
- ¹⁷ siehe Anhang 4
- ¹⁸ siehe Anhang 5
- ¹⁹ DasyLab Version 5.6, Datalog GmbH & Co. KG, Mönchengladbach
- ²⁰ siehe Anhang 6
- ²¹ siehe Anhang 7
- ²² vgl.: Wild, K., Auernhammer, H. (1996): Ansätze zur automatisierten Arbeitszeitermittlung bei Feldarbeiten, in: *Landtechnik* 4/96, 198-199

6 Kosten der Steillagentechnik

Zur betriebswirtschaftlichen Bewertung der Steillagentechnik müssen deren Kosten und Leistungen berechnet werden. Die Kosten einer Maschine oder Technik, wie dem Seilzugmechanisierungssystem (SMS), werden bestimmt durch:

- Abschreibung
- Zinsansatz
- Reparaturen
- Wartung
- Betriebsstoffe
- Unterbringung
- Versicherung

Hinzu kommen die Lohnkosten für den Maschinenführer und, für die Anbau- und Anhängerversionen des SMS, die Kosten für den Antriebs- und Transportschlepper. Die Kosten für Arbeitskräfte und Schlepper sind in den einzelnen Betrieben stark unterschiedlich. Sie sind deshalb in der Berechnung der Maschinenkosten nicht berücksichtigt. Standardwerte können Datensammlungen entnommen werden¹.

Die jährliche Maschinenleistung wird durch die Anzahl der Betriebsstunden bestimmt. Bei gleichbleibender jährlicher Leistung des SMS müssen für betriebswirtschaftliche Kalkulationen jährlich gleichbleibende Gesamtkosten veranschlagt werden. Dazu wird die Abschreibung entsprechend festgelegt. Bei jährlich unveränderten Aufwendungen für Zinsen und Reparaturen kann auch die Abschreibung linear erfolgen.

6.1 Abschreibung und Zinsansatz

Unter Annahme gleichbleibender Aufwendungen für Zinsen und Reparaturen und weiterer Kosten, errechnet sich die Abschreibung aus Anschaffungskosten abzüglich Restwert, geteilt durch Nutzungsdauer. Die Anschaffungskosten für eine selbstfahrende Winde und eine Anbauwinde sind in der nachfolgenden Tabelle (Tab. 17) aufgeführt.

Das Ende der wirtschaftlichen Nutzungsdauer einer Maschine ist der Zeitpunkt, zu dem, bei gleicher Leistung, die Grenzkosten der Maschine die Durchschnittskosten einer Ersatzmaschine übersteigen. Dieser Zeitpunkt wird entweder erreicht, weil durch die beim Gebrauch auftretende Abnutzung die Grenzkosten der alten Maschine ansteigen, oder, weil durch technischen Fortschritt (bzw. technischer Veralterung der alten

Maschine) die Durchschnittskosten einer Ersatzmaschine sinken. Bei steigenden Grenzkosten ist die Nutzungsdauer durch die Anzahl der möglichen Betriebsstunden (oder bearbeiteten Fläche) begrenzt (leistungsbedingte Nutzungsdauer), bei sinkenden Durchschnittskosten durch die Anzahl der nutzbaren Jahre (zeitlich bedingte Nutzungsdauer).

Auf Grund der geringen Zahl ausgelieferter SMS (die zudem fortlaufend verändert wurden) gibt es keine verwertbaren Erkenntnisse über die Zahl der möglichen Betriebsstunden. Auf Grund von Erfahrungen mit vergleichbar komplexen, noch nicht vollkommen ausgereiften landwirtschaftlicher Maschinen, können jedoch ca. 6 000 Einsatzstunden als realistisch angenommen werden. Beim SMS waren die vergangenen zwei Jahre, nicht zuletzt getrieben durch die Wettbewerbssituation zweier Anbieter auf einem kleinen Markt, durch umfangreiche Verbesserungen geprägt. Schreibt man diese Entwicklung fort und berücksichtigt zusätzlich den fortschreitenden Elektronikeinsatz in der Landwirtschaft, ist weiterhin mit großem technischen Fortschritt bei der Steillagenmechanisierung zu rechnen. Es scheint deshalb gerechtfertigt, die zeitliche Nutzungsdauer des SMS mit höchstens 10 Jahren zu veranschlagen².

Daraus ergibt sich eine Abschreibungsschwelle von jährlich 600 Einsatzstunden. Bei mehr als 600 Betriebsstunden im Jahr muss das SMS nach den erbrachten Betriebsstunden abgeschrieben werden, bei einer

Tab. 17: Anschaffungskosten des SMS (Quelle: Angebotspreislisten der Hersteller, Stand Mai 2002)

	Euro, ohne Mehrwertsteuer
Anbauwinde (2-Mann-Verfahren)	12 800
Selbstfahrende Winde (1-Mann-Verfahren)	32 000
Seil	500
Geräteträger	3 650
Funkfernsteuerung	3 950
Mulcher	7 000
Sprühgerät	3 550
Laubschneider	4 500
Transportwanne	1 750
Gesamt für Anbau-SMS	37 700
Gesamt für Selbstfahrendes SMS	56 900

Jahresleistung von weniger als 600 Stunden nach der Zahl der genutzten Jahre.

Um typische jährliche Betriebsstunden des SMS abschätzen zu können, wird der einzelbetriebliche Einsatz beim Pflanzenschutz, Mulchen, Laubschnitt und für Transportaufgaben untersucht (vgl. Anhang 8). Der Pflanzenschutz ist dabei die von der Terminierung kritischste Aufgabe. Bedingt durch die Wirksamkeit der Pflanzenschutzmittel müssen die Anwendungen im 14-tägigen Turnus durchgeführt werden. Bei entsprechendem Krankheitsdruck sollen die Pflanzenschutzmaßnahmen innerhalb eines Zeitraums von 4 bis 5 Tagen abgeschlossen sein. Aus den Ergebnissen der Arbeitszeituntersuchung (vgl. 3.2.3) lässt sich die Flächenleistung eines SMS beim Pflanzenschutz ableiten (Tab. 18).

Bleiben Rüst- und Wegezeiten unberücksichtigt, können innerhalb von vier Tagen mit jeweils 10 Arbeitsstunden Pflanzenschutzmaßnahmen auf ca. 8 Hektar durchgeführt werden. Stehen nur 7,5 Feldarbeitsstunden je Tag zur Verfügung, reichen vier Tage zur Bearbeitung von 6 Hektar. Unter der Annahme, dass in der verbleibenden Zeit zwischen den Pflanzenschutzbehandlungen alle anderen Hauptarbeiten mit dem SMS durchgeführt werden, lassen sich typische Maschinenauslastungen ableiten (Tab. 19):

Das SMS wird bei einzelbetrieblicher Nutzung selbst bei einer Flächenleistung von 8 ha nach der Anzahl der genutzten Jahre abgeschrieben. Durch Nutzung des SMS für weitere Arbeiten, wie beispielsweise Pflanzlochbohren lässt sich die Auslastung noch steigern. Eine jährliche Maschinenauslastung von 750 Stunden oder mehr ist bei überbetrieblicher Nutzung in Betriebsgemeinschaften oder durch Lohnunternehmer denkbar. Der Restwert des SMS kann bei einer Nutzungsdauer von 10 Jahren oder 6 000 Stunden mit ca. 10 % des Anschaffungspreises veranschlagt werden.

Als Zinssatz wird der Durchschnitt aus aktuellen Soll- und Habenzin-

Tab. 18: Zeitbedarf für Arbeiten mit dem SMS

Pflanzenschutz	4,9 h/ha
Mulchen	4,6 h/ha
Laubschnitt	4,4 h/ha
Ernte	5,0 h/ha
Rindenmulch einbringen (mit 4 Arbeitskräften)	115,0 h/ha
Auf Grundlage der Hauptarbeitszeit, Arbeitsgeschwindigkeit 4 km/h	

sen verwendet. Hypothekenkredite kosten aktuell durchschnittlich 5,7 % Zinsen, Sparguthaben erbringen gegenwärtig durchschnittlich 2,7 % Zinsen³. Damit ergibt sich ein kalkulatorischer Zinssatz von 4,2 %.

6.2 Betriebsstoffe

Den Hauptanteil an den Kosten für Betriebsstoffe beim SMS haben Diesel- und Benzinkosten. Sie wurden für die oben dargestellten Maschinenauslastungen für das selbstfahrende SMS berechnet (Tab. 20, Tab. 21, Tab. 22).

Zusätzlich zu den Betriebsstoffkosten bei einzelbetrieblicher Nutzung wurden Betriebsstoffkosten für den Fall überbetrieblicher Nutzung kalkuliert. Bei überbetrieblicher Nutzung lässt sich nicht schlüssig ableiten, wofür das SMS eingesetzt wird. Zur Berechnung der Treibstoffkosten der bei überbetrieblicher Nutzung veranschlagten 750 Betriebsstunden jährlich, wurden Durchschnittswerte verwendet⁴. Aus den Treib-

Tab. 19: Jährliche Auslastung des SMS (in Stunden)

Bearbeitete Fläche in Hektar	4	6	8
Pflanzenschutz (7 mal pro Jahr)	137,2	205,8	274,4
Mulchen (4 mal pro Jahr)	73,6	110,4	147,2
Laubschnitt (2 mal pro Jahr)	35,2	52,8	70,4
Transportarbeiten (10 Stunden je Hektar)	40,0	60,0	80,0
Gesamte Betriebsstunden	286,0	429,0	571,0

Tab. 20: Jährliche Dieselmkosten (in Euro)

Bearbeitete Fläche in Hektar	4	6	8
Pflanzenschutz (7,6 l/ha)	170	255	340
Mulchen (7,7 l/ha)	99	148	197
Laubschnitt (7,3 l/ha)	47	70	97
Transportarbeiten (7,5 l/ha, Durchschnittswert)	24	36	48
Gesamt	340	509	682
60 % Hangneigung, 4 km/h Arbeitsgeschwindigkeit, Dieselpreis 0,80 €/l			

Tab. 21: Jährliche Benzinkosten (in Euro)

Bearbeitete Fläche in Hektar	4	6	8
Pflanzenschutz (6,6 l/ha)	194	292	388
Mulchen (9,8 l/ha)	165	247	329
Laubschnitt (3,7 l/ha)	31	47	62
Gesamt	390	586	779
60 % Hangneigung, 4 km/h Arbeitsgeschwindigkeit, Benzinpreis 1,05 €/l			

Tab. 22: Jährliche Betriebsstoffkosten (in Euro)

Bearbeitete Fläche in Hektar	4	6	8
Treibstoff	730	1 095	1 461
Schmierstoffe, Motor- und Hydrauliköle (0,40 € pro Stunde)	114	172	228
Gesamt	844	1 267	1 689
60 % Hangneigung, 4 km/h Arbeitsgeschwindigkeit			

stoffkosten von 2,6 €/Betriebsstunde und den Kosten für Schmierstoffe von 0,4 €/Betriebsstunde errechnen sich Gesamtbetriebsstoffkosten von 2 250 € jährlich.

6.3 Unterhaltskosten

Die Unterhaltskosten setzen sich aus Reparaturen, Wartung, Unterbringung und Versicherung zusammen. Selbst bei seit langem eingeführten Landmaschinengruppen mit großer Verbreitung gelten Reparaturen als das „Kostenelement mit dem höchsten Unsicherheitsgrad“⁵. Da empirische Untersuchungen zu Reparaturkostenverlauf und Reparaturkostensummen nicht vorliegen, werden Durchschnittsreparaturkosten für die gesamte Nutzungsdauer aus Richtwerten abgeleitet⁶. Am Anfang der Nutzung einer Maschine fallen geringere Reparaturkosten an als am Ende. Je niedriger die Auslastung der Maschine ist, umso mehr werden deshalb die durchschnittlichen Reparaturkosten von den geringen Reparaturkosten der

Anfangszeit bestimmt. Wird die Gesamtzahl der möglichen Betriebsstunden ausgenutzt, werden für Schlepper 75–80 % des Anschaffungspreises als Reparaturkosten veranschlagt. Bei 75 % Auslastung noch 50–55 % und bei 50 % Auslastung 30 %. Nimmt man diese Werte als Anhaltspunkte für das SMS, können folgende Reparaturkosten geschätzt werden (Tab. 23).

Bei Nutzung des SMS über die Abschreibungsschwelle hinaus werden

die Gesamtreparaturkosten zu 75 % des Anschaffungspreises geschätzt. Je Betriebsstunde fallen dann 7,1 € Reparaturkosten an, bei 750 Betriebsstunden jährlich also 5 334 €.

Für die Unterbringung des SMS wird ein Prozent des Anschaffungspreises veranschlagt, also 569 € jährlich. Eine (Haftpflicht-) Versicherung muss für das SMS in der Anbau- oder Anhängerausführung nicht abgeschlossen werden. Wartungskosten werden maßgeblich von der betriebspezifischen Bewertung der Arbeitszeit bestimmt und bleiben deshalb bei der Kostenkalkulation unberücksichtigt. Der Umfang der Wartungsarbeiten ist bei der Ermittlung des Arbeitszeitbedarfs bei den Rüstzeiten berücksichtigt (vgl. 3.2.3).

6.4 Kalkulation

Auf der Grundlage der zuvor abgeleiteten Kosten lassen sich die Kosten für das selbstfahrende SMS berechnen (Tab. 24).

Tab. 23: Reparaturkosten bei 10-jähriger Nutzung

Bearbeitete Fläche in Hektar	4	6	8
Jährliche Maschinenauslastung (h)	286	429	571
Jährliche Maschinenauslastung in Prozent der Abschreibungsschwelle (600 h/Jahr)	48	72	95
Ungefähre Reparaturkostensumme in Prozent des Anschaffungspreises (6 900 €)	30	50	75
Reparaturkostensumme (€)	17 070	28 450	42 675
Durchschnittliche Reparaturkosten (€/a)	1 707	2 845	4 268

Tab. 24: Betriebskosten des SMS in Abhängigkeit des Nutzungsumfangs

Bearbeitete Fläche* in Hektar		4	6	8	variabel
Jährliche Betriebsstunden		286	429	571	750
Feste Kosten (€)	Abschreibung**		5 121		
	Zinsansatz***		1 314		
	Unterbringung		569		
	Summe		7 004		1 883
Variable Kosten (€)	Reparaturen	1 707	2 845	4 268	5 334
	Betriebsstoffe	844	1 267	1 689	2 250
	Abschreibung**				6 410
	Summe	2 551	4 112	5 957	13 994
Gesamt- kosten****	Summe (€/Jahr)	9 555	11 116	1 2961	14 777
	Summe (€/h)	33	26	23	20
<p>* Bearbeitet mit 7-mal Pflanzenschutz, 4-mal Mulchen, 2-mal Laubschnitt und 10 h/ha Transportarbeiten</p> <p>** Anschaffungskosten abzüglich Restwert geteilt durch Nutzungsdauer</p> <p>*** 4,2% von der Hälfte des Anschaffungspreises einschließlich Restwert</p> <p>**** Wartungskosten bleiben unberücksichtigt, ihre Höhe wird von der Bewertung der Arbeitszeit bestimmt</p>					

- ¹ Beispielsweise in: KTBL (Hrsg.) (2001): KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, Darmstadt. Darin ist die jährliche Abschreibung für einen Traktor mit weniger als 33 kW Leistung mit 1 330 € angegeben, die Abschreibungsschwelle mit 667 Stunden (Abschreibung je Betriebsstunde: 2 €), Reparatur- und Treibstoffkosten mit 4,31 € je Betriebsstunde und die Haftpflichtversicherungsprämie mit 110 € jährlich. Die Kosten für einen Betriebsshelfer werden mit 6,6 bis 11 € pro Stunde angegeben.
- ² Vgl.: Schaefer-Kehnert, W. (1969): Die Kosten des Landmaschineneinsatzes, Berichte über Landtechnik, Heft 74, München
- ³ Quelle: DLG (Hrsg.) (2002): DLG-Zinsspiegel, in: DLG-Mitteilungen 5/02, 38
- ⁴ Dieserverbrauch 1,5 l/h (1,2 €/Betriebsstunde) Benzinverbrauch 1,3 l/h (1,4 €/Betriebsstunde)
- ⁵ Vgl.: Reisch, E., Zeddies, J. (1992): Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre, Band 2: Spezieller Teil, Stuttgart
- ⁶ Nach: Schaefer-Kehnert, W. (1969): Die Kosten des Landmaschineneinsatzes, Berichte über Landtechnik, Heft 74, München

7 Diskussion

Ziel der mit den Seilzugmechanisierungssystemen (SMS) durchgeführten Untersuchungen war, Erfordernisse, Umweltauswirkungen und Kosten dieser Systeme bei der Bewirtschaftung von Steillagen zu ermitteln. Bei der Untersuchung der Satellitennavigation sollte deren Eignung als Grundlage für umweltgerechtes „Precision Viticulture“ in Steillagen bewertet werden.

Seilzugmechanisierungssysteme

Mit Seilzugmechanisierungssystemen können Steillagen unabhängig von der Hangneigung mechanisiert werden. Im Direktzug lassen sich Steillagen unter günstigen Bedingungen bis zu einer Hangneigung von 60 % bewirtschaften. Traktion und Lenkfähigkeit sind beim Direktzug jedoch schon bei geringeren Hangneigungen eingeschränkt. Auch nimmt der Schlupf und damit die Bodenbelastung mit ansteigender Hangneigung zu. Entwicklungen wie neue Gummilaufbänder für Raupenschlepper können diese Nachteile nur geringfügig mindern.

Seilzugmechanisierungssysteme sind eine Weiterentwicklung des traditionellen Seilzugs mit Sitzpflug. Der Sitzpflug ist mit einem modernen, umweltgerechten Steillagenweinbau nicht vereinbar. Das Grundkonzept des umweltgerechten Weinbaus ist die ganzjährige Begrünung der Rebassen. Damit wird der in § 17 Abs. 2 des Bundesbodenschutzgesetzes darlegten guten fachlichen Praxis entsprochen. Mit dem Pflug hingegen wird eine offene Bodenhaltung angestrebt. Weitere Nachteile des Sitzpfluges sind die Erfordernis von zwei Arbeitskräften, Leerfahrten und das mühsame Umsetzen am Ende der Rebzeile.

Seilzugmechanisierungssysteme bieten die Möglichkeit, außer der Ernte alle auch im Direktzug mechanisierten Arbeiten durchführen zu können. Dank Funkfernsteuerung und Auffahrpritsche kann das SMS mit nur einer Arbeitskraft betrieben werden. Vorteile gegenüber dem Direktzug sind das geringe Gewicht, die schlupffreie Fahrt und die Sicherung durch das Seil. Nachteilig ist die beschränkte Auswahl der zur Verfügung stehenden Arbeitsgeräte, der fehlende Schutz des Fahrers durch eine Kabine und die Notwendigkeit, bei der Bearbeitung jede Rebasse tal- und bergwärts zu durchfahren.

Beim Vergleich des SMS mit anderen Verfahren ist zu berücksichtigen, dass das SMS für viele Arbeiten in Steillagen oberhalb der Direktzuggrenze die einzige gegenwärtig angebotene Möglichkeit zur Mechanisierung ist. Dies gilt insbesondere für das zur Pflege der Dauerbegrünung im modernen Steillagenweinbau notwendige Mulchen und für den Laubschnitt.

Methoden

Die am SMS durchgeführten Untersuchungen zum Arbeitszeitbedarf, zum Kraftstoffverbrauch und zur Betriebssicherheit bilden die Grundlage für die Kostenermittlung. Die Leistungsmessungen geben Aufschluss über Anforderungen an das SMS und sind Ausgangspunkt zur Berechnung des Kraftstoffverbrauchs. Kraftstoffverbrauch, die Arbeitsqualität beim Pflanzenschutz und die Eignung des SMS zur Pflege der Dauerbegrünung sind wichtige Kriterien bei der Beurteilung der Umweltauswirkungen.

Zur Bestimmung des Arbeitszeitbedarfs und des Kraftstoffverbrauchs wurden die untersuchten Verfahren in einzelne, eigenständige Elemente zerlegt. Dadurch konnten Ergebnisse erzielt werden, die nicht an bestimmte Standortverhältnisse, wie beispielsweise Reihengänge oder Hangneigung gebunden sind. Durch Kombination der Elemente lässt sich der Arbeitszeitbedarf und Kraftstoffverbrauch für unterschiedliche Produktionsbedingungen berechnen. Das ermöglicht den Vergleich mit anderen Verfahren. Darüber hinaus lassen sich so günstige Betriebsbedingungen ermitteln und, durch die Betrachtung der einzelnen Elemente, Einsparungsmöglichkeiten erkennen.

Unterschiede im Arbeitszeitbedarf zwischen den SMS-Bauarten und Betriebsweisen

Der Arbeitszeitbedarf wirkt sich unmittelbar auf die Betriebskosten aus. Einsparungsmöglichkeiten beim Arbeitszeitbedarf lassen sich auf der Grundlage der ermittelten Teilzeiten ableiten:

Um die Rüstzeiten des Anbau-SMS zu verringern, ist es vorteilhaft, wenn die Winde des Anbau-SMS über einen ausgedehnten Einsatzzeitraum am Schlepper angebaut bleiben kann. Die Anhänger-SMS werden ver-

gleichsweise schnell an- und abgehängt. Der zum Transport des SMS eingesetzte Schlepper ist dann kurzfristig für andere Arbeiten verfügbar. Unabhängig vom Hersteller ist der An- und Abbau der Arbeitsgeräte auf den Geräteträger zeitaufwendig und vielfach nicht von einer Person alleine durchzuführen. Der Grund sind schwergängige Verbindungen zwischen Arbeitsgerät und Geräteträger und teilweise mangelhafte Möglichkeiten, die Arbeitsgeräte im abgebauten Zustand abzustützen.

Beim Anbau-SMS können Wegezeiten durch den Einsatz schnell laufender Zugmaschinen vermindert werden. Mit dem Aufbau von SMS-Winden auf speziellen Transportfahrzeugen mit Straßenzulassung verkürzen sich die Rüstzeiten am Feld. Mit Geschwindigkeiten bis zu 40 km/h lassen sich gleichzeitig die Wegezeiten verringern. Versorgungszeiten werden durch Mitführen von Spritzbrühe oder Dünger auf den Transportpflügen der Winde und entsprechenden Überlademöglichkeiten reduziert.

Bei den unteren Wendezeiten unterscheiden sich die verschiedenen SMS-Bauarten nicht. Die oberen Wendezeiten sind bei den einfachen Anhäng- oder Anbau-SMS im Betrieb mit zwei Arbeitskräften nur unwesentlich kürzer als bei den selbstfahrenden SMS. Die selbstfahrenden SMS werden vom Geräteträger aus in die nächste Reihe vorgefahren, ohne dass abgestiegen werden muss. Beim Betrieb der Anbau- und Anhäng-SMS ohne eigenen Antrieb mit nur einer Arbeitskraft muss zum Vorfahren vom Geräteträgerfahrer auf den Schlepper gewechselt werden. Bestimmend für die Hauptzeiten ist die gewählte Arbeitsgeschwindigkeit. Hier sind die Anwender gefordert, die Möglichkeiten auszunutzen, die das SMS bietet, mit Arbeitsgeschwindigkeiten zwischen 4 und 6 km/h.

Betrachtet man die Gesamtarbeitszeiten, sind Arbeitsgeschwindigkeit und die Zahl der Arbeitskräfte entscheidend für die Arbeitswirtschaftlichkeit beim Betrieb des SMS. Wird die Geschwindigkeit von 5 auf 4 km/h zurückgenommen, erhöht sich der Arbeitszeitaufwand je ha um ca. 10 %, selbst beim Zugrundelegen des zur Bewertung schneller Verfahren ungünstigen KTBL-Standards. Um fast die Hälfte lässt sich der Arbeitszeitaufwand senken, wenn statt zwei Arbeitskräften nur noch eine eingesetzt wird. Rüst-, Versorgungs- und Wendezeiten werden zwar durch die zweite Arbeitskraft etwas verkürzt,

die zweite Person steht aber auch während der Transport- und Hauptarbeitszeit zur Verfügung, ohne die Arbeitsleistung zu verbessern. Der einzige Vorteil der zweiten Arbeitskraft ist dabei, dass sie in abgelegenen und steilen Lagen bei Schwierigkeiten Hilfe leisten oder holen kann und damit ein Sicherheitsbedürfnis erfüllt. Bei den nicht selbstfahrenden SMS ist der Ein-Mann-Betrieb allerdings auf Grund des mühseligen Umsteigens vom Geräteträger auf den Traktor zur Vorfahrt am oberen Gassenende in der Praxis nicht verbreitet. Aus arbeitswirtschaftlicher Sicht stellt somit das selbstfahrende SMS die günstigste Lösung dar.

Arbeitszeitbedarf des SMS im Vergleich mit alternativen Mechanisierungsmöglichkeiten für Arbeiten in Steillagen

Einzige umfassende Quelle für Arbeitszeiten in der Landwirtschaft und speziell im Weinbau sind die vom KTBL veröffentlichten Datensammlungen. Für den Ackerbau gibt das KTBL eine Datenbank mit Teilzeiten einzelner Verfahren heraus¹. Mit einem der Datenbank beigefügten Programm kann die Gesamtarbeitszeit eines Verfahrens für unterschiedliche Betriebsverhältnisse errechnet werden. In der KTBL-Weinbau-Datensammlung sind hingegen nur Gesamtarbeitszeiten enthalten. Die zur Berechnung der Gesamtarbeitszeit verwendete Formel ist nur näherungsweise gültig. Für Verlust-, Wege- und Rüstzeiten, Feldgröße und Hof-Feld-Entfernung werden pauschale Werte eingesetzt, die aktuelle Verhältnisse nur unzureichend widerspiegeln und die Bewertung der Verfahren beeinflussen. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen, sind im nachfolgenden Diagramm (Abb. 74) die Arbeitszeitdaten aus der KTBL-Weinbau-Datensammlung für den Direktzug mit dem Schlepper und der handgeführten Kleinraupe zum Vergleich herangezogen:

Bereits bei der Ermittlung der Zeiten kann eine unterschiedliche und nicht ausgewiesene Vorgehensweise zu Arbeitszeitunterschieden führen, die nicht durch die Verfahren begründet sind. Weiterhin birgt die Zusammenfassung der Teilzeiten nach dabei verwendeten Standards die oben beschriebenen Probleme. Vor diesem Hintergrund kann dennoch gesagt werden, dass das SMS vor allem beim Mulchen und Laubschnitt einen geringeren Arbeitszeitbedarf aufweist

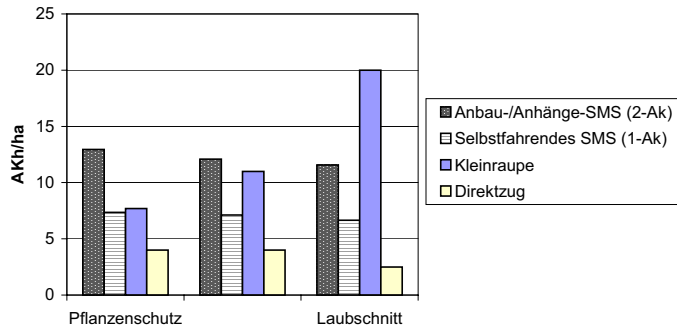


Abb. 74: Arbeitszeitbedarf verschiedener Mechanisierungsverfahren (Quelle: KTBL (2001), DLG-Prüfbericht (1998), eigene Untersuchungen, nach KTBL-Standard berechnet)

als die handgeführte Kleinraupe. Beim Pflanzenschutz benötigen beide Verfahren deutlich weniger Arbeitszeitaufwand als die Schlauchspritzung mit ca. 20 Stunden pro Hektar².

Arbeitsqualität

Die Arbeitsqualität der untersuchten Mulcher und Laubschneider des SMS ist mit den im Direktzug eingesetzten Geräten vergleichbar³. Unterschieden in der Zerkleinerung des Mulchgutes wird kein Einfluss auf dessen Zersetzung zugeschrieben⁴.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen zur Arbeitsqualität stand der Pflanzenschutz. Es ist die zeitaufwendigste, mechanisierte Bearbeitungsmaßnahme im Weinbau. Für die Umweltverträglichkeit des Weinbaus ist die Arbeitsqualität beim Pflanzenschutz von besonderer Bedeutung.

Beim Vergleich der Luftprofile weist das SMS-Sprühgerät geringere Strömungsgeschwindigkeiten auf als ein Standardsprühgerät für den Direktzug. Die auf der rechten Seite des SMS-Gebläses erreichten Luftgeschwindigkeiten von fast durchgehend 10 m/s oder mehr gelten für die Durchdringung der Laubwand als ausreichend⁵. Zu große Strömungsgeschwindigkeiten fördern unter Umständen Abdrift, wenn bei der Bearbeitung von Randzeilen Pflanzenschutzmittel durch die Laubwand geblasen wird. Die auf der linken Gebläsesseite des SMS im Bereich zwischen 90 und 130 cm Höhe über dem Boden gemessenen Werte werden hingegen als nicht ausreichend eingestuft. Ursache für die niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten in diesem Bereich sind Gerätebauteile (Pumpe, Motor) im Ansaugbereich.

Die Messungen des Belags entsprechen der auf Grund des Luftprofils zu erwartenden

Verteilung. Die Verteilung nach SMS-Einsatz weist deutlich geringere Belagswerte auf als die mit dem Vergleichsgebläse erzielten. Hinzu kommt, dass die Werte beim SMS-Einsatz stark streuen, vor allem auf der linken Gebläsesseite. Auch beim Penetrationsverhalten schneidet das SMS-Gebläse nach den drei Beurteilungskriterien

Belagsmasse, Tropfenverteilung und Tropfendichte schlechter ab als das Vergleichsgebläse. Während das Vergleichsgebläse auch in der dritten Messebene über dem Boden noch gute Werte erreicht, fallen die Werte beim SMS-Gebläse bereits nach der ersten Ebene stark ab. Verluste treten beim SMS-Gebläse vor allem als Ablagerungen auf dem Boden auf – beim Vergleichsgebläse hingegen durch Austragung der Pflanzenschutzmittel über den Bestand. Gemessen an drei Positionen an der Prüfstrecke werden durchschnittlich 23,8 % der mit dem SMS auf den Hektar ausgebrachten Pflanzenschutzmittel am Boden abgelagert, beim Vergleichsgebläse hingegen nur 2,8 %.

Auch wenn das SMS-Gebläse in der Gegenüberstellung mit einem Schlepper-Anbaugebläse abfällt, so behauptet es sich doch gut im Vergleich mit anderen in Steillagen eingesetzten Verfahren. Die Belagsmassen im Pflanzenbestand nach der Behandlung mit dem SMS-Gebläse sind, abgesehen von den Blattoberseiten in der Gipfelzone größer als nach dem Hubschraubereinsatz. Beide, SMS-Gebläse und Hubschrauber, schneiden dabei besser ab als die Schlauchspritze. Positiv zu bewerten ist die beim SMS-Gebläse geringere Streuung der Ergebnisse im Gegensatz zu den anderen Verfahren. Durch Verlegung der im Ansaugbereich störenden Gerätebauteile ließe sich die Arbeitsqualität des SMS-Gebläses verbessern. Noch größere Fortschritte bei der Pflanzenschutzbehandlung mit dem SMS brächte die Verwendung von Tangentialgebläsen oder modernen Radialgebläsen. Beide weisen gegenüber dem Axialgebläse günstigere Trägerluftströme auf.

Beim Feldversuch zur Beurteilung der biologischen Wirksamkeit war Peronosporabefall in allen vier Varianten ausreichend unterbunden. Die Botrytis-Bonitur ergab bei

der Hubschrauber- und der SMS-Variante geringere Befallshäufigkeiten und -stärken als bei der Schlauchspritzen-Variante. Das schlechte Abschneiden der Schlauchspritzen-Variante im Vergleich zur SMS-Variante überrascht nicht. Hier bestätigen sich die Ergebnisse aus der Belagsmessungen und, da nur jede 4. Reihe durchlaufen wurde und das Tempo dabei auch noch stark streute, die große Variation bei der Applikation mit dem Schlauch.

Anwender- und Betriebssicherheit

Die Anwendersicherheit des SMS im Steilhang hängt entscheidend vom Windenseil ab. Das Seil und die Verbindung zwischen Seil und Geräteträger muss regelmäßig auf Schäden kontrolliert werden. Vorsorglich sollte das Seil jährlich erneuert werden. Durch das Lasthalteventil und die mechanische Feststellbremse ist das Seil gegen unkontrolliertes Abrollen auch bei plötzlichem Hydraulikdruckabfall gesichert. Ungeklärt ist, welche Folgen sich durch Probleme mit der elektronischen Windensteuerung ergeben. Die Betriebssicherheit wurde im Untersuchungszeitraum wiederholt durch Probleme mit der Funkfernsteuerung eingeschränkt.

Nach den Angaben der Berufsgenossenschaften⁶ können lärmbedingte Gehörschäden (bleibende Hörminderung) auftreten, wenn der Beurteilungspegel 85 db(A) überschreitet. Die beim Mulchen und Pflanzenschutz mit dem SMS gemessenen Schallpegel machen das Tragen eines Gehörschutzes somit unbedingt erforderlich.

Leistungsbedarf

Die zur Bestimmung des Leistungsbedarfs durchgeführten Messungen waren nicht frei von äußeren Einflussgrößen. Außentemperaturen, Unebenheiten in der Fahrbahn und unregelmäßiges Abroll- und Bremsverhalten haben einen nicht quantifizierbaren Einfluss auf die Messergebnisse und führen zu zufälligen Abweichungen. Durch Wiederholungen und Mittelwertbildung konnten jedoch einheitliche und übertragbare Ergebnisse erzielt werden.

Die maximale Zugkraft der untersuchten SMS-Winden liegt bei 4000 N. Diese Zugkraft ist zum Mulchen bei 80 % Steigung

erforderlich. Zum Fahren mit einer voll beladenen Transportwanne unter diesen Verhältnissen reichen die Zugkräfte jedoch nicht aus. Der maximale Zugleistungsbedarf bei der Bergfahrt des Mulchers beträgt 6,2 kW. Zum Erbringen dieser Zugleistung muss der SMS-Winde mit Verstellpumpe mehr als der 1,6-fache Betrag an Eingangsleistung zugeführt werden. Zur Talfahrt sind immer noch bis zu 4 kW Eingangsleistung erforderlich und das, obwohl durch das Abbremsen des Geräteträgers dem System eigentlich Leistung zugeführt wird. Der Grund dafür ist der zum Öffnen des Lasthalteventils notwendige Hydraulikdruck. Energiesparendere mechanische Bremsen an Stelle des Lasthalteventils zur Kontrolle der Talfahrt haben sich jedoch bisher nicht bewährt.

Bei der Bergfahrt hat die Winde im Bereich zwischen 4 und 6 kW Zugleistung einen Wirkungsgrad von bis zu 60 %, bei geringerer Belastung sinkt der Wirkungsgrad auf unter 40 %. Noch ungünstiger sind die Verhältnisse bei den Winden deren Hydrauliksystem mit Konstantpumpen arbeiten. Ihr Leistungsbedarf ist teilweise doppelt so hoch wie bei dem System mit Verstellpumpe. Durch die Wahl einer der Seilgeschwindigkeit angepassten Drehzahl am Pumpeneingang lässt sich der Wirkungsgrad der Winden mit Konstantpumpen etwas verbessern, im untersuchten Fall bei einer Geschwindigkeit von 2 km/h und einer Zugleistung von 2,6 kW von 38 auf 49 %.

Kraftstoffverbrauch

Auf der Grundlage der aus den Leistungsmessungen erstellten Funktionen zum Leistungsbedarf der SMS-Winden lässt sich der Treibstoffverbrauch für unterschiedliche Betriebszustände bestimmen. Abhängig vom Gewicht des Geräteträgers und von der Hangneigung werden für den Einsatz der Winde mit eigener Antriebsmaschine zwischen 6 und 9 Liter Diesel je ha benötigt. Wird anstatt des speziellen Antriebsmotors ein Standardweinbauschlepper eingesetzt, steigt der Verbrauch um etwa 20 %.

Aus Kostengründen ist der Benzinbedarf der Arbeitsgeräte bedeutender als der Dieselverbrauch. Für die direkt angetriebenen Arbeitsgeräte werden zwischen 3,5 (Laubschneider) und 10 Litern (Kreiselmulcher) Benzin je Hektar gebraucht. Wird statt des direkten Antriebs eine universale Motorein-

heit mit Benzinmotor und Hydrauliksystem verwendet, steigt der Verbrauch beispielsweise zum Antrieb des Schlegelmulchers auf über 20 Liter je Hektar.

Der Gesamtkraftstoffverbrauch des SMS beim Einsatz direkt angetriebener Geräte beträgt zwischen 11 und 17,5 Litern je Hektar. Berücksichtigt man nur den Verbrauch in der Haupt- und Nebenzeit, also ohne Rüst- und Wegezeiten, werden beispielsweise zum Pflanzenschutz 4,8 l Diesel und 6,5 l Benzin je ha, insgesamt also 11,3 l benötigt. Damit liegt der Verbrauch im oberen Bereich der für den Direktzug ermittelten Werte (beim Pflanzenschutz zwischen 7 und 11,8 l Diesel je ha)⁷. Dem hohen Verbrauch der Benzinmotoren haben die Hersteller unterdessen entgegen gewirkt, in dem sie einen kleinen Dieselmotor als universale Antriebseinheit anbieten.

Einsparungen beim Gesamtverbrauch können durch höhere Arbeitsgeschwindigkeiten erreicht werden. Der Verbrauch der Arbeitsgeräte ist weitgehend unabhängig von der Arbeitsgeschwindigkeit – höhere Geschwindigkeiten bedeuten somit weniger Zeitaufwand auf der Fläche und reduzierter Verbrauch. Auch für die Winde sinkt auf die Fläche bezogen der Kraftstoffverbrauch bei höheren Arbeitsgeschwindigkeiten. Die Einsparungen durch die verkürzte Bearbeitungszeit auf der Fläche wiegen den Mehrverbrauch je Betriebsstunde bei höheren Geschwindigkeiten auf.

Ortsbestimmung mit GPS in Reihenkulturen und Steillagen

Von einem System zur Ortsbestimmung in Reihenkulturen wird gefordert, dass die Rebo- oder Baumgasse eindeutig bestimmt wird⁸. Phasengestützte GPS-Geräte und speziell 2-Frequenz-Geräte bieten dafür eine ausreichende Genauigkeit und Zuverlässigkeit. Auf Grund standardisierter Datenausgabe eignen sie sich grundsätzlich auch zur Automatisierung. Allerdings liegen die Kosten für eine 2-Frequenz-GPS-Anlage mit 35 000 € noch weit über denen einfacherer GPS-Empfänger und stellen zudem noch sehr hohe Anforderungen an den Benutzer.

Genauigkeit von GPS in Steillagen

Bei den durchgeführten Untersuchungen an der 2-Frequenz-GPS-Anlage zur Beurteilung der Genauigkeit lagen die durchschnittlichen Abweichungen der räumlichen Position im Bereich zwischen 1 und 7 cm. Die Varianzanalyse weist statistisch signifikante Unterschiede der durchschnittlichen Abweichungen bei den verschiedenen Hangneigungen auf. Eine Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit oder Standort ist jedoch nicht erkennbar. Die ermittelte Genauigkeit des 2-Frequenz-GPS-Gerätes ist zur automatischen Maschinenlenkung auch in Reihenkulturen und Steillagen ausreichend.

Zugkraftmessungen in Verbindung mit GPS

Um die Eignung im praktischen Einsatz zu untersuchen wurden GPS-Messungen in Verbindung mit Zugkraftmessungen durchgeführt. Damit sollte gleichzeitig geklärt werden, in wie weit die errechneten Zugkräfte den tatsächlich im Feld auftretenden Werten entsprechen. Die berechneten und gemessenen Werte sind in Tabelle 4.1.2 dargestellt. Die in Verbindung mit GPS bei unterschiedlichen Hangneigungen gemessenen Zugkräfte entsprechen annähernd den aus Gewicht, Hangneigung und geschätztem Rollwiderstand berechneten Werten. Die Abweichungen sind auf die Unsicherheit beim Abschätzen des Rollwiderstandsbeiwerts und auf die uneinheitlichen Fahrbahnen zurückzuführen. Darauf weisen auch die Unterschiede zwischen Berg- und Talfahrt bei den Rollwiderstandsbeiwerten hin, die aus den in Verbindung mit GPS gemessenen Zugkräften abgeleitet wurden.

Die bei den Messungen zur Bestimmung der Genauigkeit festgestellten Abweichungen der GPS-Positionen von weniger als 10 cm wurden bei den Zugkraftmessungen im Steilhang nicht durchgehend erzielt. Dabei lagen nicht immer erkennbare Gründe für die fehlende Genauigkeit, wie eine ungenügende Anzahl empfangener Satelliten oder eine unterbrochene Funkverbindung, vor. Fehlerhafte GPS-Positionen und Signalausfälle lassen sich allerdings auch unter den vergleichsweise günstigeren Bedingungen in der Landwirtschaft nicht ausschließen⁹.

Arbeitszeiterfassung mit GPS in Reihenkulturen

Die beispielhaft mit Hilfe des GPS aufgenommenen Arbeitszeiten beim Laubschneiden entsprechen weitestgehend den zeitgleich zur Kontrolle von Hand erfassten Werten (Tab. 12). Die Untersuchungen zeigen, dass die vorgestellte Methode zur Arbeitszeiterfassung mit dem GPS in Reihenkulturen geeignet ist. Die Koppelung der GPS-Werte mit Maschinenwerten ist dabei nicht notwendig. Voraussetzung ist jedoch, dass der Grenzverlauf der Pflanzanlage erfasst ist.

Kosten der Steillagentechnik

Die zuverlässige Ermittlung der Kosten der Steillagenmechanisierung ist problematisch. Insbesondere Abschreibung und Reparaturen des SMS, die beiden größten Kostenfaktoren, sind wegen der geringen Verbreitung und Erfahrung nur schwer abzuschätzen. Die zur Einordnung des SMS ermittelten Gesamtkosten zwischen 20 und 33 € je Betriebsstunde entsprechen den Kosten vergleichbarer Arbeiten im Direktzug¹⁰. Die auf die Fläche bezogenen Kosten sind jedoch wegen der geringeren Flächenleistung je Betriebsstunde höher (vgl. Abb. 74).

¹ AvorWin, Version 1.0, KTBL, Darmstadt

² KTBL (Hrsg.) (2001): *KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft*, Darmstadt

³ Vgl.: DLG (Hrsg.) (1998): *Prüfberichte 4686-4688, Laubschneider für den Weinbau, Groß-Umstadt*

⁴ DLG (Hrsg.) (2001): *Prüfbericht 4950, Braun-Mulchgerät Alpha-Sensor, Groß-Umstadt*

⁴ Vgl.: Prochnow, A., Kleinke, M. (1995): *Ökologische Bewertung des Mulchens*, in: *Landtechnik 1/95*, 36-37

⁵ Vgl. Bäcker, G. (1988): *Einfluss der Gebläsebauart auf die biologische Leistung beim Pflanzenschutz im Weinbau*. In: *Gesunde Pflanzen*, 7/88, 261-265

⁶ Vgl. VDI (Hrsg.) (1988): *Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung, VDI-Richtlinie 2058 Blatt 2*, Düsseldorf

⁷ Rühling, W., Struck, W., Uhl, W. (2002): *Kraftstoffverbrauch von Schmalspur-Traktoren*. ATW-Bericht 131, Darmstadt

⁸ Ardoin N., Tisseyre B., Sevila, F. (1998): *Specification for decision support systems in precision viticulture*, Bio-decision conference, Montpellier (zitiert nach: Tisseyre B., Paoli J.N., Sacca A., Total J., Sevila F.

(1999): *dGPS Correction based on a Map Matching Algorithm for accurate machine location in the vineyard*, in: *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering*, Oslo)

⁹ Vgl.: Schwenke, T., Auernhammer, H. (2002): *GPS-Ausfälle vermeiden*, in: *Landtechnik 4/02*, 206-207

¹⁰ Vgl.: KTBL (Hrsg.) (2001): *KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft*, Darmstadt

8 Zusammenfassung

Während der Weinbau in der Ebene umfassend mechanisiert ist, werden in Steillagen, die nicht mit dem Schlepper im Direktzug bearbeitet werden können, die meisten Arbeiten noch von Hand durchgeführt. Die dadurch bedingten höheren Kosten haben zu einem stetigen Rückgang des Steillagenweinbaus geführt. Die Folge sind der Verlust von Arbeitsplätzen im Weinbau und der Verfall des vom Steillagenweinbau geprägten Kulturlandschaftsbildes.

In dieser Arbeit wird Technik zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Steillagen untersucht, mit der die Kosten gesenkt und Umweltauswirkungen verringert werden sollen. Im Mittelpunkt stehen Seilzugmechanisierungssysteme, mit denen verschiedene Arbeiten in Steillagen durchgeführt werden können. Zusätzlich wurde GPS zur Ortsbestimmung mit Satelliten in Steillagen und Reihenkulturen erprobt. Als Bestandteil von „Precision Viticulture“ kann GPS beim Erfassen kleinräumiger Unterschiede im Weinberg bei Boden, Klima und Pflanzenbestand und zur Dokumentation und Steuerung von Bearbeitungsmaßnahmen eingesetzt werden.

Traditionell beschränkt sich die Mechanisierung von Steillagen auf den seilgezogenen Sitzpflug. Die damit erreichte offene Bodenhaltung erfüllt jedoch nicht die Anforderungen an eine umweltgerechte Steillagenbewirtschaftung. Zentraler Bestandteil umweltgerechter Steillagenbewirtschaftung ist die ganzjährige Begrünung der Rebassen, mit dem Ziel, Erosion zu vermeiden und Bodenleben und Bodengare zu fördern.

Mit Seilzugmechanisierungssystemen (SMS) kann das zur Pflege der Dauerbegrünung im Rahmen umweltgerechter Steillagenbewirtschaftung notwendige Mulchen durchgeführt werden. Die Seilzugmechanisierungssysteme bestehen aus einem Geräteträger, der an einem Seil in die Rebassen auf- und ab bewegt werden kann, und einer Winde mit Auffahrpritsche zur Aufnahme des Geräteträgers. Auf der Pritsche kann der Geräteträger von einer zur nächsten Rebasse versetzt werden. Die Winde und damit die Arbeitsgeschwindigkeit des Geräteträgers wird vom Fahrer des Geräteträgers über Funk gesteuert. Der Geräteträger kann verschiedene Arbeitsgeräte wie Mulcher, Pflanzenschutzgerät, Laubschneider und andere aufnehmen.

Das SMS wird mit Anbau-, Anhänge- und selbstfahrenden Winden angeboten. Der Hauptvorteil der selbstfahrenden Winden ist, dass sie komfortabel mit nur einer Arbeitskraft betrieben werden können. Dadurch kann der Arbeitszeitbedarf beim Betrieb des SMS annähernd halbiert werden. Eine weitere Verringerung des Arbeitszeitbedarfs lässt sich erreichen, wenn bei der Arbeitsgeschwindigkeit die Möglichkeiten des SMS ausgenutzt werden, unter günstigen Bedingungen also nicht langsamer als 5 km/h gefahren wird. Selbst dann weist das SMS gegenüber dem Direktzug, je nach durchgeführter Arbeit einen bis zu 50 % höheren Arbeitszeitbedarf auf.

Die Arbeitsqualität beim Mulchen und Laubschneiden mit dem SMS entspricht der beim Direktzug. Der Arbeitsqualität beim Pflanzenschutz kommt hinsichtlich der Umweltauswirkungen bei der Bewirtschaftung von Steillagen besondere Bedeutung zu. Das mit SMS zum Pflanzenschutz eingesetzte Gebläse weist im Vergleich mit einem Standardsprühgerät für den Direktzug geringere Strömungsgeschwindigkeiten auf. Die Folgen sind eine schlechtere Vertikalverteilung und schlechteres Penetrationsverhalten. Zudem geht fast ein Viertel der mit dem SMS-Gebläse ausgebrachten Pflanzenschutzmittel als Ablagerungen auf dem Boden verloren. Den alternativen Pflanzenschutzverfahren in Steillagen, mit Hubschrauber oder Schlauchspritze, ist das SMS-Gebläse dennoch überlegen.

Zugkraft- und Zugleistungsmessungen am SMS wurden unter kontrollierten Bedingungen und im Feld in Verbindung mit GPS durchgeführt. Die maximale Zugkraft der untersuchten SMS-Winden liegt bei 4000 N. Abhängig von der Arbeitsgeschwindigkeit muss eine Zugleistung von bis zu 6,2 kW aufgebracht werden. Auf Grund des schlechten Wirkungsgrades des Hydrauliksystems der SMS-Winden ist als Antriebsleistung mindestens das 1,6-fache der erbrachten Zugleistung erforderlich. Winden, deren Hydrauliksystem mit Konstantpumpen statt mit Verstellpumpen ausgerüstet sind, weisen einen noch schlechteren Wirkungsgrad auf. Unabhängig vom eingesetzten Pumpentyp ist selbst zum Bremsen des abrollenden Geräteträgers Antriebsleistung erforderlich. Der Treibstoffverbrauch des SMS je ha liegt im oberen Bereich vergleichbarer Werte beim Direktzug.

Den Zugkraftmessungen mit GPS gingen Untersuchungen zur Bestimmung der Genauigkeit der eingesetzten 2-Frequenz-GPS-Anlage mit eigener Referenzstation voran. Dabei wurden durchschnittliche Abweichungen der räumlichen Position zwischen 1 und 7 cm, auch beim Einsatz in Steillagen ermittelt. Diese Genauigkeit ist ausreichend um die einzelne Rebasse eindeutig bestimmen zu können. Allerdings kam es beim GPS-Einsatz im Steilhang wiederholt zu Ausfällen, die zu Genauigkeitseinbußen führten, wie sie auch aus Anwendungen in der Ebene berichtete werden.

Neben dem Einsatz in Verbindung mit Zugkraftmessungen am SMS wurde das GPS auch zur Erfassung von Teilarbeitszeiten bei der Bearbeitung von Reihenkulturen erprobt. Voraussetzung dazu ist die Aufnahme der Weinbergsgrenzen. Die bei den Zugkraftmessungen und Arbeitszeiterfassung gewonnenen Erfahrungen zeigen, dass GPS auch in Steillagenweinbergen für „Precision Viticulture“ eingesetzt werden kann.

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass mit den Seilzugmechi-

sierungssystemen im Steillagenweinbau, außer der Ernte, die wichtigsten, im Direktzug mechanisierten Arbeiten befriedigend durchgeführt werden können. Auch zur Mechanisierung anderer Kulturen in Steillagen, wie Kaffee oder Bananen, könnte das SMS adaptiert werden. Ein moderneres Sprüngerät und verbesserte Hydrauliksysteme würden dazu beitragen, die Umweltverträglichkeit des SMS weiter zu steigern. Auf die Betriebskosten wirkt sich der schlechte Wirkungsgrad des Hydrauliksystem nur geringfügig aus. Mit 20 bis 33 €/h sind die Betriebskosten ohne Lohnansatz vergleichbar mit den Kosten für Arbeiten mit dem Schlepper. Auf Grund der geringeren Flächenleistung sind die Kosten auf den Hektar bezogen jedoch fast doppelt so hoch wie beim Direktzug. Zur weiteren Kostenreduzierung könnte eine weitreichende Automatisierung der Steillagenbewirtschaftung beitragen. Ansätze dazu bieten Entwicklungen bei der automatischen Maschinensteuerung, beispielsweise mit mechanischen Sensoren zum Abtasten der Rebreihen am Geräteträger des SMS oder mit GPS.

9 Englischsprachige Zusammenfassung (Summary)

In this treatise, titled

Environmentally Friendly Technology for Grape Production on Steep Slopes

technology for sustainable grape production on steep slopes, intended to reduce costs and environmental impact is evaluated. The focus is on a mechanisation system consisting of a winch pulling a trolley, with which various labours in a vineyard can be carried out. It is assessed by the amount of labour required, the quality of the work performed, its performance and energy needs and its costs.

In addition to the winch and trolley system, the satellite positioning system GPS has been tested for use in steep slopes and in plantation crops. GPS is a decisive tool for „Precision Viticulture“ applications, intended to better manage variability within a vineyard.

Grape Production on Steep Slopes

Temperature is the limiting factor when growing grapes in higher latitudes or higher elevations. Slopes facing south on the northern hemisphere receive more sun than level areas, thus averaging higher temperatures. Herein lies the main advantage when growing grapes on steep slopes.

Some 15 % of Germany's 101 573 ha of vineyards are located on steep slopes. Europe wide, more than 80 000 ha are estimated to be on steep terrain. By one definition, a vineyard is considered to have steep slopes, when it can not be accessed by tractor. Under ideal conditions, tractors now manage 60 % gradient. More often though, a gradient of 40 % or less is limiting the use of a tractor already. Reasons are loss of steering, and insufficient traction. Slopes too steep for a tractor to enter drawing an implement directly are considered to be above the direct draw limit. Much of the work then has to be performed by hand. These vineyards can require as much as 20 times the amount of labour as fully mechanised level vineyards. Due to the high production costs, the area of grapes grown on steep slopes has decreased continuously. As a result, wine related jobs are being lost and the traditional countryside shaped by wine production changes.

Sustainable grape production on steep slopes requires a cover crop of the soil between the vines at all times. Cover crops improve infiltration and prevent soil erosion. A soil's structure and organic content is enhanced through cover crops. The main draw back of a cover crop is the competition for water it poses to the vine in times of shortage. This can be overcome with drip irrigation and repeated mowing of the cover crop in order to keep it low.

Mechanisation for Sustainable Grape Production on Steep Slopes

By definition, slopes are considered steep, when traction does not suffice for a machine to enter. Hence, to move machinery in a steep slope vineyards, cable and winch are required. Traditional vineyard mechanisation consists of a cable-drawn plough. Ploughing results in bare soil, hence rendering it unsuitable for sustainable grape production. In contrast, the winch and trolley system can be equipped with a mower to manage permanent cover crops between the vines.

While various ways for mechanising slopes above the direct draw limit have been tried in the past, the winch and trolley system has so far sustained on the market. Originally developed by a small wine grower in Southern Germany it is now offered in a number of variations and built to order by two companies. A prerequisite are trellised vine grapes, planted in rows at least 1,5 m wide in the direction of the slope and a path on the top end of the slope, running in almost a right angle to the grape rows.

The winch can be either self propelled or powered by a tractor through the PTO. The self propelled winches come with three or four wheel chassis. The tractor driven winches are mounted on the three-point hitch or are drawn as a trailer. All winches feature a platform to carry the trolley when moving from row to row. The platform can be tilted according to the slope of the vineyard. The trolley, connected to the winch cable, is driven up and down between the grape rows by reeling the cable in or out. The trolley can carry various implements, the most important being the mower and the pesticide sprayer. It is equipped with a seat for the operator who steers the trolley and runs the winch via radio control.

The winches operate hydraulically. Both, open and closed load sensing systems are in use. For holding the trolley and slowing its down hill drive, the hydraulic systems feature load-holding-valves. Because of the pressure needed to open these valves, even the down-hill-drive is energy consuming.

Time-Requirements for Machinery Work on Steep Slope Vineyards

Labour costs are decisive when evaluating a new technology. Therefore labour requirements for cultivating grapes on steep slope vineyards with the winch and trolley system have been measured. The aim when taking the time measurements, was to obtain results which are not limited to a specific site. Instead they should be universally applicable, in order to account for different production conditions, e.g. variations in field size, row length and spacing, in-between-field distances and slope. For this purpose, every job was split into time elements, each consisting of a specific phase, which could be regarded separately. These elements included the actual work phase, the turn-around times at the field ends, time needed for replenishing, time for travelling to and from the field, time to maintain and prepare the machine and an allowance for unaccountable time losses. Whereas some time elements, as for example the actual work phase or the replenishing time, are specific to the job performed, others, like turn-around times, are unrelated to the job. The advantage of splitting a job in time elements, allowing to calculate time requirements for very specific production conditions, becomes a necessity when comparing different machines evaluated at different locations. Furthermore, dividing a job in separate elements enables thorough analysis of each phase, in order to identify potential for improvements.

A revised formula was derived for calculating total labour requirements for a job on the basis of time elements. With this formula, labour requirements for different winch types performing the main cultivation tasks, mowing the cover crop, pesticide application and leave trimming, under standardised production situations, were established.

The results indicate the superiority of the one-man operated self propelled winches over the tractor-driven winches. Decisive when working with the winch and trolley

system is maintaining the highest speed possible during the work phase. Finally, labour requirements of the winch and trolley system were compared with data published for tractors and walk-behind track laying tractors intended for use on slopes. With a tractor labour requirements for some jobs can almost be halved, whereas the track laying tractor generally requires more labour. Both though are no alternative when mechanising slopes with a gradient of more than 60 %.

Quality of Work

The quality of the work with the winch and trolley system was evaluated for mowing, leave-canopy trimming and pesticide application. Mowing and leave trimming with the winch and trolley were of comparable quality as when performed with tractor mounted equipment.

Extensive investigations were made on the performance of the sprayer used for pesticide application, as it is of paramount importance when judging the environmental impact of the winch and trolley system. The results were compared with a standard tractor mounted sprayer and alternative methods for pesticide application in steep slopes.

The air speed produced by the fan of the sprayer used with the winch and trolley system was significantly lower than the air speed from the tractor sprayer. In some parts, the air speed of the winch and trolley sprayer could not be considered sufficient to penetrate the leave canopy. These results were confirmed when evaluating the amount of active ingredient deposited after a pesticide application in different heights and depths of a (simulated) leave canopy. Considerably less active ingredient was retrieved from blotting paper laid out in different heights after an application with the winch and trolley sprayer then after a tractor sprayer application. Still more distinct differences were found on blotting paper laid out in different depth of a canopy. To verify these results, the percentage of area covered with spray liquid and the droplet density at different depth of a canopy was evaluated as well. Both criteria confirm the inferior penetration capability of the sprayer used with the winch and trolley system.

The losses of spray liquid on non-target areas are an important indicator for the environmental effects of a spray technology.

With the tractor sprayer much spray liquid was carried out above the canopy. The sprayer used with the winch and trolley system in contrast, deposited large amounts of spray liquid on the ground.

Whereas the winch and trolley system has considerable drawbacks when compared with the tractor sprayer, it has proved superior to alternative spraying methods for steep slopes. Deposits in a vineyard were evaluated after application with helicopter, hand held sprayer and the sprayer of the winch and trolley system. The amount of active ingredient was measured on the top- and bottom-side of leaves sampled from the upper zone and the grape zone of the canopy. In all locations, the winch and trolley system delivered results far superior to the standard hand-held application. Though not as distinct, the winch and trolley sprayer performed better than the helicopter in all but one of the four positions examined, as well. Only on the top side of leaves collected from the upper zone of the canopy, the helicopter has a slight advantage.

Safety and Reliability

Occupational safety is a prime consideration when working with machinery in steep slopes. With the winch and trolley system safety is depending on the cable connecting the trolley to the winch. This cable and its connections have to be checked regularly. The trolley is equipped with spears which protrude into the ground as a safety brake. In case pressure in the hydraulic system of the winch drops a mechanical brake for the drum prevents further unreeling.

Reliability of one of the winches has been limited because of the type of cable drum used. The drum, which had repeatedly damaged the cable will not be installed in future models any more. Repeated sources for breakdown were connections related to the radio system controlling the winch.

Force and Performance and Fuel Consumption

Typical draw forces can be calculated from the weight of the trolley and its implements, the measured rolling-resistance-coefficient for the trolley and the slope gradients experienced. For verification, draw forces of the

trolley were measured under field conditions in conjunction with satellite positioning. Maximum drawing force of the winch delivered is 4000 N, which is sufficient to pull the trolley in all but the most adverse conditions. The draw power required can reach up to 6,2 kW.

The power input required for the winch to deliver the needed draw power was determined for varying conditions. Winch power was measured inside the hydraulic system and at the PTO. Due to losses in the hydraulic system, PTO performance has to exceed draw power by at least a factor of 1,6. If an Open Centre Hydraulic System instead of a Closed Centre system is installed, power conversion is even lower.

The system of splitting a job in separate elements resembling a specific work phase each, established for measuring time-requirements, was applied for the calculation of the fuel consumption as well. For each work phase, the power requirement of the winch was determined. Then, for the Diesel engine powering the winch, the specific fuel consumption related to the power required was noted. This approach again allowed to calculate fuel consumption under standardised production conditions, so that results can be compared with other machinery.

Depending on work speed, slope and work performed, Diesel consumption for the winch is between 6 and 9 l / ha. The implements driven by small gasoline engines consume between 3,5 and 9 l / ha. These results are in the upper region of typical tractor fuel consumptions.

Satellite Positioning in Steep Slopes and Plantation Crops as a Tool for Precision Viticulture

In addition to technology for the mechanisation of grape production, satellite navigation with the Global Positioning System (GPS) was evaluated for plantation crops under steep slope conditions. GPS may serve as a tool for Precision Viticulture. Precision Viticulture aims at managing variations within a vineyard, better allocating inputs according to demand and thus reducing environmental impact.

First, accuracy of the 2-frequency-GPS-unit with specific reference station available was assessed. For that reason, the GPS

antenna was mounted on a sled, which was pulled along a track at different speeds. The track, positioned first on an open field and then in actual steep slope vineyards, could be tilted at various angles. Positions were monitored while the sled moved along the track.

Mean deviation from the track did not exceed 7 cm in lateral and vertical position. The GPS unit evaluated thus proved to be accurate enough to clearly identify a specific grape row, a desirable property for use in precision viticulture applications. Nevertheless, as reported from use of GPS in open and level terrain as well, reliability problems with the GPS occurred at times.

GPS was used in conjunction with measuring draw forces of the trolley when pulled by the winch on steep slopes. Mounted on the trolley, speed and slope gradient was derived from the GPS positions. It was shown that after having determined the borders of a vineyard GPS can be used as a simple means for measuring time elements when working in a vineyard, allowing for accurate differentiation between work phase and turn-around times.

Conclusion

The winch and trolley system offers a viable means to mechanise steep slope vineyards and could well be adapted for other crops grown on steep slopes, like bananas or coffee. The sprayer offered with the system as well as the energy consuming hydraulic system could be improved. Although experience about repair costs and the time it can be used is limited so far, operating costs of the winch and trolley system were calculated to lie between 20 and 33 €/h, depending on utilisation. This is comparable with costs for operating a tractor with implements. However, because of the smaller area covered, costs per ha are almost twice the tractor costs. Self-steering of the implement carrying trolley could offer a way to reduce costs in the future. Possibly with the use of GPS, which can deliver accurate positions in plantations on steep slopes.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- ARDOIN, N.; TISSERYRE, B.; SEVILA, F. (1998): Specification for decision support systems in precision viticulture, Bio-decision conference, Montpellier (zitiert nach: TISSEYRE, B.; PAOLI, J.N.; SACCA, A.; TOTAL, J.; SEVILA, F. (1999): dGPS Correction based on a Map Matching Algorithm for accurate machine location in the vineyard, in: Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering, Oslo)
- AUERNHAMMER, H. (1976): Eine integrierte Methode zur Arbeitszeitanalyse, KTBL-Schrift Nr. 203, Darmstadt
- AUERNHAMMER, H. (1986): Manuskriptdruck zur Vorlesung Landwirtschaftliche Arbeitslehre, Institut für Landtechnik der TU München
- BMVEL (Hrsg.) (2002): Ertragslage Garten- und Weinbau 2002, Bonn
- BÄCKER, G. (1975): Arbeitsgeräte für die Seilzugtechnik im Weinbau (Steillagen), KTBL-Arbeitsblatt 0141, Darmstadt
- BÄCKER, G. (1980): Einschienenbahn im Weinbau in Steillagen, KTBL-Schrift 246, Darmstadt
- BÄCKER, G. (1984): Arbeitsgeräte für den Seilzug, KTBL-Arbeitsblatt 34, Darmstadt
- BÄCKER, G. (1984): Pflanzenschutztechnik im Weinbau, KTBL-Schrift 295, Darmstadt
- BÄCKER, G. (1988): Einfluss der Gebläsebauart auf die biologische Leistung beim Pflanzenschutz im Weinbau. In: Gesunde Pflanzen, 7/88, 261–265
- BEUCHE, H.; HELLEBRAND, H. (1998): Positionsgenauigkeit und Verfügbarkeit verbessern. In: Landtechnik 3/98: 140–141
- BRAMLEY, R. (2001): Progress in the development of Precision Viticulture – Variation in Yield, Quality and Soil Properties in Contrasting Australian Vineyards. In: Precision tools for improving land management, Occasional report 14, Palmerston North
- BURGMANN, J. (2001): Terroir in aller Munde. In: Das deutsche Weinmagazin 9–10/01: 78–81
- BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (1998): Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz) vom 14.5.98. In: BGBl. I, 950. ÄndG v. 16.06.98 in: BGBl. I, 1527
- DANA, P. (2000): Global Positioning System Overview <<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>>
- DEUTSCHER WEINBAUVERBAND (2002): Zahlen zu Weinanbau in Steillagen (Fax von Herrn K. Rückrich, 10.09.2002)
- DIETRICH, J. (1995): Mechanisierung und Produktionsplanung im Steillagenweinbau. KTBL-Schrift 366, Darmstadt
- DIN (Hrsg.) (1974): Grundsätze für Seiltriebe, DIN 15020 Blatt 2, Berlin
- DIN (Hrsg.) (2000): Integrierte mittelwertbildende Schallpegelmesser, DIN EN 60804, Berlin
- DIN (Hrsg.) (2001): Land- und Forstmaschinen – Pflanzenschutzgeräte zum Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln und flüssigen Düngemitteln; Umweltschutz – Teil 1: Allgemeines; DIN EN 12761-1; Teil 3: Sprühgeräte für Raumkulturen; DIN EN 12761-3, Berlin
- DLG (Hrsg.) (1980): DLG-Prüfbericht 147/OECD Nr. 678, Kubota L2850, Groß-Umstadt
- DLG (Hrsg.) (1986): DLG-Prüfbericht 220/OECD Nr. 1032, Fendt Farmer 204 P, Groß-Umstadt
- DLG (Hrsg.) (1998): Prüfberichte 4686–4688, Laubschneider für den Weinbau, Groß-Umstadt
- DLG (Hrsg.) (2001): Prüfbericht 4950, Braun-Mulchgerät Alpha-Sensor, Groß-Umstadt
- DLG (Hrsg.) (2002): DLG-Zinsspiegel. In: DLG-Mitteilungen 5/02: 38
- DLG PRÜFSTELLE FÜR LANDMASCHINEN (1996): DLG-Prüfrahmen, Laubschneidegeräte für den Weinbau, Stand Oktober 1996 (unveröffentlicht)
- DLG PRÜFSTELLE FÜR LANDMASCHINEN (1999): DLG-Prüfrahmen, Mulchgeräte zur Bearbeitung von Reb- und Obstanlagen, Stand Mai 1999 (unveröffentlicht)
- EICHHORN, H. (Hrsg.) (1999): Landtechnik, Stuttgart
- EUROPÄISCHES PARLAMENT UND EUROPÄISCHER RAT (1998): Richtlinie 98/37/EG zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Maschinen. In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, 23.07.98, L207/1–L207/46
- FAO (2001): FAOSTAT Agriculture Data <<http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>>
- FREGONI, M. (2001): La Viti-Viniculture en Europe et dans le monde: Perspectives et risques. In: Viticulture de montagne 13 (CERVIM): 6–11
- HARTL, P.; THIEL, K. (1996): Satellitengestützte Ortung und Navigation. In: Spektrum der Wissenschaft 1/96: 102–106
- JÄGER, P. (1991): Zeitbedarf von Feldarbeiten. In: Landtechnik 1-2/91: 69–71; 3/91: 123–128; 4/91: 188–190
- JESKE, A. (1968): Pflanzenschutztechnik, Berlin
- KTBL (Hrsg.) (2001): KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, Darmstadt

- KUTZBACH, H. (1989): Lehrbuch der Agrartechnik Band 1 Allgemeine Grundlagen Acker-schlepper Fördertechnik, Hamburg
- LEIMBROCK, F. (1984): Möglichkeiten der Querterrassierung im Steillagenweinbau, Gießen
- MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, VERKEHR, LANDWIRTSCHAFT UND WEINBAU, MAINZ (Hrsg.) (1999): Terrassierung von Weinbergs-Steillagen in der Flurbereinigung Koblenz-Moselweiß. Ein Modell für Weinbau in Steillagen, Mainz
- NOACK, S. (2001): Hydraulik in mobilen Arbeitsmaschinen, Bosch Automation (Hrsg.), Ditzingen
- PROCHNOW, A.; KLEINKE, M. (1995): Ökologische Bewertung des Mulchens. In: Landtechnik 1/95: 36–37
- RAU, H.; DÖRRIES, U.; ZASKE, J. (1971): Anwendung der Fluorometrie zur Verteilungsmessung in der Pflanzenschutztechnik. In: Landtechnische Forschung 3-4/71: 93–101
- REISCH, E.; ZEDDIES, J. (1992): Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre, Band 2: Spezieller Teil, Stuttgart
- REFA VERBAND FÜR ARBEITSGESTALTUNG, BETRIEBSORGANISATION UND UNTERNEHMENSENTWICKLUNG E.V. (Hrsg.) (1984): REFA-Buch Landwirtschaft Teil 1, Methoden des Arbeitsstudiums im Landbau, Darmstadt
- REFA VERBAND FÜR ARBEITSGESTALTUNG, BETRIEBSORGANISATION UND UNTERNEHMENSENTWICKLUNG E.V. (Hrsg.) (1986): REFA-Buch Landwirtschaft Teil 2, Mensch und Arbeit im Landbau, Darmstadt
- RÜCKERT, F.-E.; STEINBERG, B.; BETTNER, W. (1994): Einsatzmöglichkeiten artenreicher Dauerbegrünungsmischungen im Weinbau. In: X. Kolloquium des internationalen Arbeitskreises Begrünung im Weinbau, Krems/Donau
- RÜHLING, W. (1988): Schmalspurkettenschlepper für den Steillagenweinbau. In: Der Deutsche Weinbau 12/88: 597–601
- RÜHLING, W. (1991): Mechanisierung von Steillagen auf der Basis handgeführter Kleindrauen. In: Der Deutsche Weinbau 16/91: 631–638
- RÜHLING, W. (1999): Entwicklung ökologisch und ökonomisch vorteilhafter Mechanisierungsverfahren zur Erhaltung weinbaugeprägter Kulturlandschaften. XXIV Weltkongress für Rebe und Wein, Mainz, unveröffentlichtes Vortragsmanuskript
- RÜHLING, W.; STRUCK, W.; UHL, W. (2002): Kraftstoffverbrauch von Schmalspur-Traktoren. ATW-Bericht 131, Darmstadt
- RÜHLING, W. (2002): Untersuchungen zur Weiterentwicklung seilgezogener Mechanisierungssysteme. ATW-Bericht 117, Darmstadt (erschienen nach Fertigstellung)
- SCHAEFER-KEHNERT, W. (1969): Die Kosten des Landmaschineneinsatzes. Berichte über Landtechnik, Heft 74, München
- SCHULTZ, H. (2001): Eine Alternative zu bestehenden Produktionssystemen? Minimalschnitt Teil 1. In: Der Deutsche Weinbau 11/01: 10–34
- SCHWENKE, T., AUERNHAMMER, H. (2002): GPS-Ausfälle vermeiden. In: Landtechnik 4/02: 206–207
- DER SPIEGEL (2002): Verkehr: Mit dem „Galileo“-Satelliten tritt Europa gegen die USA an, 14/02: 96
- STAATLICHE LEHR- UND VERSUCHSANSTALT TRIER (SLVA) (2001): Formel und Teilzeiten zur Berechnungen des Arbeitszeitbedarfs in Steillagen für das KTBL (Fax von Herrn E. Kohl 17.1.2001)
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1982): Weinbauerhebung 1979/80
- Statistisches Bundesamt (1992): Weinbauerhebung 1989/90
- STEINMETZ, H. (1985): Grenzhangerschließung im Weinbau, KTBL-Schrift 300, Darmstadt
- STOTZ, J. (1994): Stickstoffdynamik und Stickstofffixierung bei Begrünung mit Leguminosen. In: X. Kolloquium des internationalen Arbeitskreises Begrünung im Weinbau, Krems/Donau
- SÜDTIROLER BERATUNGSRING FÜR OBST- UND WEINBAU (Hrsg.) (1999): Neuanlagen im Weinbau, Kaltern
- TISSEYRE, B.; PAOLI, J.N.; SACCA, A.; TOTAL, J.; SEVILA, F. (1999): dGPS Correction based on a Map Matching Algorithm for accurate machine location in the vineyard. In: Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering, Oslo
- TRIMBLE (Hrsg.) (2002): All about GPS < <http://www.trimble.com/gps/index.html> >
- VDI (Hrsg.) (1988): Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung, VDI-Richtlinie 2058 Blatt 2, Düsseldorf
- WELSCHOF, zitiert nach: EICHHORN, H. (Hrsg.) (1999): Landtechnik, Stuttgart
- WILD, K.; AUERNHAMMER, H. (1996): Ansätze zur automatisierten Arbeitszeitermittlung bei Feldarbeiten. In: Landtechnik 4/96: 198–199
- ZIPSE, W.; KOHL, E. (1975): Geräte zum Traubentransport aus Seilzuglagen, KTBL-Arbeitsblatt 65, Darmstadt

Anhang 1 Berechnung der Gesamtarbeitszeit (AKh/ha) aus Teilzeiten

Hauptbestandteil bei der Berechnung der Gesamtarbeitszeit aus Teilzeiten ist die Grundzeit. Sie setzt sich aus Haupt- und Nebenzeit zusammen:

$$(I) \quad \text{Grundzeit je Gasse [min]} = \text{Hauptzeit je Gasse} + \text{Nebenzeit je Gasse}$$

Mit:

$$(II) \quad \text{Hauptzeit je Gasse [min]} = \frac{\text{Gassenlänge [m]}}{\text{Geschwindigkeit bei Talfahrt [m/min]}} + \frac{\text{Gassenlänge}}{\text{Geschwindigkeit bei Bergfahrt}}$$

Und:

$$(III) \quad \text{Nebenzeit je Gasse [min]} = \text{Untere Wendezeit} + \text{Obere Wendezeit} + \text{Versorgungszeit je Gasse}$$

Die Versorgungszeit je Gasse lässt sich mit Kenntnis des Tankinhalts oder der Behältergröße berechnen:

$$(IV) \quad \text{Versorgungszeit je Gasse [min]} = \frac{\text{Gassenfläche}}{\text{Fläche je Tankinhalt}} * \text{Versorgungszeit je Tankinhalt}$$

Zur Ermittlung der Fläche die mit einem Tankfüllung (einem Tankinhalt) abgedeckt werden kann braucht man die Ausbringungsmenge/Hektar:

$$(V) \quad \text{Fläche je Tankinhalt [m}^2\text{]} = \frac{\text{Tankinhalt}}{\text{Ausbringungsmenge / Hektar}} * \frac{10\,000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}}$$

Die Unteilbarkeit einiger der Faktoren (Rüst- und Wegezeiten, Gassenlänge), die in die Berechnung der Gesamtarbeitszeit eingehen, lässt sich in einer Formel nicht berücksichtigen. Am Beispiel der Versorgungszeit wird dies deutlich: Tanks oder Behälter werden nur am Vorgewende aufgefüllt. Somit gilt die Berechnung der Versorgungszeit je Gasse nur, wenn der Quotient aus Gassenfläche zu Fläche je Tankinhalt ganzzahlig ist. Dann wird der Tank oder Behälter genau mit Erreichen des Vorgewendes leer. In der Praxis wird es nur selten vorkommen, dass Tankfüllung und Reihen genau aufgehen. Statt dessen wird entweder bereits nachgefüllt bevor der Tank oder Behälter ganz leer ist, oder der Tank / Behälter wird in der Reihe leer. Im ersten Fall muss häufiger aufgefüllt werden, im zweiten Fall sind mit dem Auffüllen Leerfahrten verbunden. Beides mal wird bei Verwendung der oben aufgeführten Berechnungsformel die wahre Versorgungszeit unterschätzt.

Zur weiteren Berechnung wird zur einfacheren Handhabung die Grundzeit auf der Grundlage eines Quadratmeters statt einer Gasse eingesetzt. Dazu wird die auf die Gasse bezogene Grundzeit durch die Gassenfläche geteilt:

$$(VI) \quad \frac{\text{Grundzeit je Gasse [min]}}{\text{Gassenfläche [m}^2\text{]}} = \text{Grundzeit je m}^2 \text{ [min/m}^2\text{]}$$

Um von der Grundzeit zur Gesamtarbeitszeit zu gelangen, müssen noch Rüst- und Wegezeiten berücksichtigt werden. Rüstzeiten fallen am Hof und am Feld an. Wegezeiten gibt es vom Hof zum Feld und von Feld zu Feld (das Feld wird auch als Parzelle oder Schlag bezeichnet).

Addiert man die Rüstzeit je Feld und die Wegezeit von Feld zu Feld (Quotienten aus Wegstrecke und Fahrgeschwindigkeit) zu der Grundzeit, erhält man den Gesamtarbeitszeitbedarf am Feld bezogen auf den Quadratmeter oder einen Feld:

$$(VII) \quad \text{Gesamtarbeitszeitbedarf am Feld je m}^2 \text{ (oder Feld) [min/m}^2\text{]} = \frac{\text{Grundzeit} + \text{Rüstzeit} + \text{Wegezeit-Feld-Feld}}{\text{m}^2 \text{ (oder Feld)}}$$

Die Gesamtarbeitszeit wird nach KTBL auf der Grundlage von Halbtagen ermittelt. In diesen Halbtagen fallen neben der Gesamtarbeitszeit am Feld auch die Rüstzeiten am Hof und

die Wegezeit vom Hof zum Feld (mit Hin- und Rückweg) an. Zieht man von der gesamten Halbtagsdauer die Rüstzeiten am Hof und die Hof-Feld-Wegezeit ab, erhält man die am Feld verfügbare Zeit je Halbtag:

$$(VIII) \quad \text{Am Feld verfügbare Zeit je Halbtag [min/Halbtag]} = \frac{\text{Halbtagsdauer} - \text{Rüstzeit am Hof} - \text{Wegezeit-Hof-Feld}}{\text{Halbtag}}$$

Mit:

$$(IX) \quad \text{Wegezeit-Hof-Feld [min]} = \frac{\text{Wegstrecke[m]}}{\text{Geschwindigkeit [m/min]}}$$

Bei der Berechnung der Grundzeit je Feld wurde für jedes Feld die Wegezeit zum nächsten Feld berechnet. Da aber am letzten Feld keine Wegezeit zum nächsten Feld mehr anfällt, muss eine Wegezeit von Feld zu Feld je Halbtag der am Feld verfügbaren Zeit je Halbtag hinzugezählt werden, wenn Wegezeiten von Feld zu Feld während des Halbtages anfallen:

$$(X) \quad \text{Am Feld verfügbare Zeit je Halbtag [min/Halbtag] bei Wechsel von Feld zu Feld} = \frac{\text{Halbtagsdauer} - \text{Rüstzeit am Hof} - \text{Wegezeit-Hof-Feld} + \text{Wegezeit-Fd.-Fd.}}{\text{Halbtag}}$$

Die Gesamtarbeitszeit am Feld je Quadratmeter geteilt durch die am Feld verfügbare Zeit je Halbtag ergibt die Halbtage, die je Quadratmeter aufgewendet werden müssen:

$$(XI) \quad \text{Halbtage je m}^2 \text{ [Halbtag/m}^2\text{]} = \frac{\frac{\text{Grundzeit} + \text{Rüstzeit} + \text{Wegezeit-Feld-Feld}}{\text{m}^2}}{\frac{\text{Halbtagsdauer} - \text{Rüstzeit am Hof} - \text{Wegezeit-Hof-Feld} + \text{Wegezeit-Fd.-Fd.}}{\text{Halbtag}}}$$

Sind auf Grund großer Schläge oder langer Grundzeiten keine Wegezeiten von Feld zu Feld innerhalb eines Halbtages zu erwarten, werden die Halbtage je m² besser geschätzt, wenn man die Wegezeit unberücksichtigt lässt:

$$(XII) \quad \text{Halbtage je m}^2 \text{ (ohne Wegezeit Feld-Feld) [Halbtag/m}^2\text{]} = \frac{\frac{\text{Grundzeit} + \text{Rüstzeit}}{\text{m}^2}}{\frac{\text{Halbtagsdauer} - \text{Rüstzeit am Hof} - \text{Wegezeit-Hof-Feld}}{\text{Halbtag}}}$$

Die Wegezeit von Feld zu Feld und der Rüstzeit am Feld wird mit der bisher im Steillagenweinbau verwendeten Formel falsch berechnet. Grundlegend für die Rüst- und Wegezeiten am Feld bzw. von Feld zu Feld sind die bearbeiteten Felder oder Parzellen je Halbtag. Für jede Parzelle die je Halbtag bearbeitet wird, fällt eine Rüstzeit an. Rüstzeiten, die wie Wegezeiten auf der Grundlage eines Feldes ermittelt werden, können also (wenn das Problem der Ganzzahligkeit ausgespart bleibt) einfach auf Quadratmeter bezogen in die Formel einfließen. Nicht aber die Wegezeit, denn in jedem Halbtag fällt eine Wegezeit weniger an als Felder (Parzellen) während eines Halbtages bearbeitet werden. Und da die Flächenleistung je Halbtag und somit die Felder je Halbtag die unbekannte Größe der Gleichung (XII) ist, lässt sich die Wegezeit je Quadratmeter nicht vorab ermitteln. In anderen Formeln findet man darum die Wegezeit (und Rüstzeit) in Abhängigkeit der Zahl der Parzellen je Hektar berücksichtigt. Eine solche Abhängigkeit gibt es jedoch nicht, sie zu unterstellen kann zu vollkommen falschen Ergebnissen führen: Sind beispielsweise 10 Parzellen in einem Hektar, werden 10 (minus 1) Rüst- und Transportzeiten berechnet, obwohl u. U. nicht einmal in einem Halbtag das Feld gewechselt wurde. Bei einer großen Zahl von Schlägen je Hektar, aber nur geringer Hektarleistung je Halbtag, wird der Arbeitszeitbedarf also überschätzt. Umgekehrt fallen bei Schlägen größer oder gleich einem Hektar keine oder negative Wegezeiten von Feld zu Feld an, unabhängig wie oft tatsächlich das Feld gewechselt wurde.

Um die Arbeitskraftstunden je Hektar zu erhalten müssen die Halbtage je m² noch mit der Zahl der eingesetzten Arbeitskräfte multipliziert werden (dies kann auch schon an früherer

Stelle geschehen), mit 10000 m²/ha um auf Hektar zu kommen (dito) und mit der Zahl der Stunden je Halbttag:

$$(XIII) \quad AKh/ha = \frac{\text{Halbttag [HT]} * \text{Zahl der Arbeitskräfte [AK]} * \frac{10000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} * \frac{\text{Stunden [h]}}{\text{Halbttag [HT]}}}{\text{m}^2}$$

Um unverfälschte Ergebnisse zu erhalten, müssten neben der Versorgungszeit auch Rüst- und Wegezeiten immer nur ganzzahlig verwendet werden. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen:

Grundzeit / Feld:	50 Minuten
Rüstzeit / Feld:	10 Minuten
Wegezeit / Feld:	5 Minuten
Rüstzeit am Hof:	15 Minuten
Wegezeit Hof / Sg.:	20 Minuten
Halbtagsdauer:	240 Minuten

Nach Abzug der Rüstzeit am Hof und der Wegezeit vom Hof zum Feld bleiben 195 Minuten. In dieser Zeit können drei Schläge bearbeitet werden. Die verbleibende Zeit reicht dann zwar noch eine viertes Feld anzufahren, um aber innerhalb der Halbtagsfrist zurückzukehren, kann das letzte Feld nicht mehr bearbeitet werden. Demnach reicht der Halbttag nur für die Bearbeitung von drei Schlägen.

Verwendet man die Formel ergibt sich:

$$\frac{50 \text{ Minuten Grundzeit} + 10 \text{ Minuten Rüstzeit} + 5 \text{ Minuten Wegezeit}}{\text{Feld}} \\ \frac{240 \text{ Min. Halbtagsdauer} - 15 \text{ Min. Rüstzeit} - 20 \text{ Minuten Wegezeit} + 5 \text{ Min. Wegezeit}}{\text{Halbttag}}$$

= 3,23 Schläge je Halbttag

Die Verwendung einer Formel mit der die Unteilbarkeit von Rüstzeiten und Wegezeiten nicht berücksichtigt wird, führt also zu einer systematischen Unterschätzung des Gesamtarbeitszeitbedarfs. Hinzu kommt der Fehler der Unterschätzung der Versorgungszeiten und der Arbeitszeiten die nur auf ganze Gassen bezogen ermittelt wurden. Diese Verzerrung des tatsächlichen Arbeitszeitbedarfs fällt bei verschiedenen Verfahren abhängig von den Fahrgeschwindigkeiten und den Rüst-, Wege-, Versorgungs- und Wendzeiten unterschiedlich aus. Die Unteilbarkeit einzelner Faktoren könnte durch Lineare Programmierung berücksichtigt werden, was allerdings mit großem Aufwand verbunden wäre.



PRÜFUNGS-ABTEILUNG
FENDT FARMER 204 P

Motorleistung
Engine performance

Test Nr. 78-26

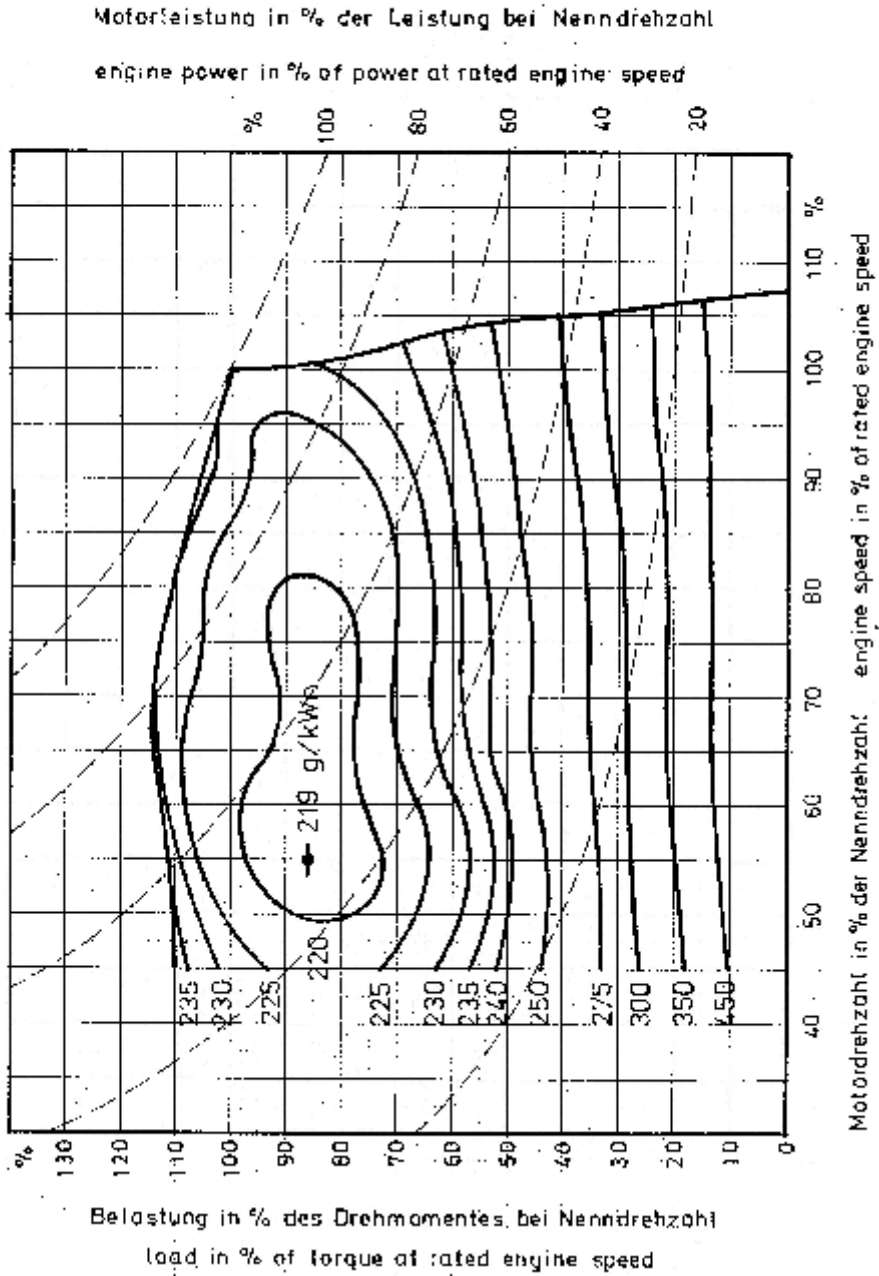


Abb. 76: Motordiagramm Fendt Farmer 204 P (Quelle: DLG (Hrsg.) (1986):
DLG-Prüfbericht 220 / OECD Nr. 1032, Fendt Farmer 204 P, Groß-Umstadt)

Anhang 3 Korrekturdienste für DGPS

Eine Auswahl von Korrekturdiensten für Ein- und Zwei-Frequenz-GPS-Empfänger:

- Unter dem Namen SAPOS EPS (Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung, Echtzeit Positionierungsservice) bietet die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder der Bundesrepublik Deutschland Korrektursignale über UKW an (Freie und Hansestadt Hamburg, Baubehörde, Amt für Geoinformation und Vermessung, Postfach 100504, D-20003 Hamburg, www.adv-online.de).
- Für 2-Frequenz-GPS-Empfänger wird von der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung ein Korrekturdatennetz unter dem Namen SAPOS HEPS (Hochpräziser Echtzeit Positionierungsservice) aufgebaut. Geplant ist die Vernetzung und Bereitstellung virtueller Referenzstationen. Bei einem Test des HEPS, am 5.9.2000 am Versuchsstandort Johannisberger Schlossberg, war der Sender Wiesbaden für eine Woche abgeschaltet worden, ohne dass die Nutzer darauf hingewiesen wurden. Bei einem weiteren Test am 24.10.2000 am Standort Schloss Johannisberg war keine Auflösung der Mehrdeutigkeit mit dem Korrektursignal des in 8 km Entfernung eingerichteten Korrektursender des Wasser- und Schifffahrtsamts in Bingen möglich.
- Die Firma Omnistar bietet weltweit Korrektursignale über Satellit für Ein-Frequenz-Empfänger an (Omnistar Bv, Dillenburgsingel 69, NL 2263 HW Leidschendam, www.omnistar.nl). In den USA bietet die Regierung Korrekturdaten (WAAS, Wide Area Augmentation Service) über Satellit an.
- Im deutschen Küstebereich und im Raum Koblenz können Korrektursignale kostenfrei über Küstenfunk (UKW) empfangen werden.

Abhängig vom Sendeverfahren kommt es bei der Übertragung der Korrekturdaten zur Verzögerungen, wodurch die Genauigkeit beeinflusst wird. Bei der Übertragung auf Langwelle kann die Datenverzögerung bis zu 4 Sekunden betragen.

Anhang 4 Transformation der GPS-Positionsdaten und Festlegung der Basisstation

Die mit dem GPS gemessenen Positionen beziehen sich auf das WGS-84 Ellipsoid¹. Ein Ellipsoid ist eine geometrische Bezugsfläche, mit der die unregelmäßige Erdkugel näherungsweise abgebildet wird². Lokalen Koordinatensystemen liegt im Allgemeinen nicht das WGS-84 Ellipsoid zu Grunde. Statt dessen werden an ein Gebiet besonders gut angepasste Ellipsoide gewählt. Für Deutschland ist dies das Bessel Ellipsoid. Um GPS-Positionen in einem örtlichen Koordinatensystem darzustellen, müssen sie zuerst mit einer Datum-Transformation auf den lokalen Ellipsoiden bezogen werden. Zur Abbildung der durch das Ellipsoid dargestellten Erdoberfläche in einem ebenen Koordinatensystem muss eine Kartenprojektion durchgeführt werden. Für topographische Karten in Deutschland wird zur Kartenprojektion eine winkel-

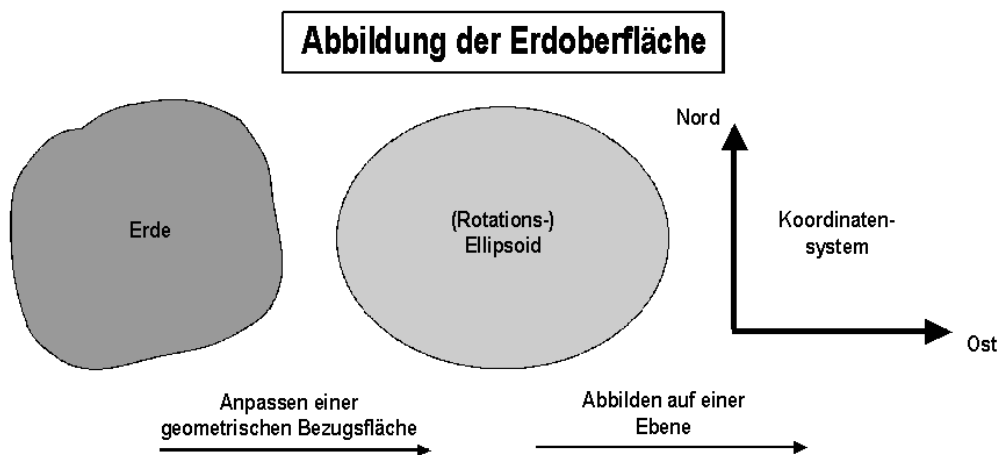


Abb. 77: Abbildung der Erdoberfläche

treue transversale Zylinderprojektion (Mercatorprojektion) durchgeführt, die Gauss-Krüger Abbildung.

Zur Verknüpfung mit topographischen Karten oder mit Positionsdaten, die in einem lokalen Koordinatensystem erstellt sind, müssen GPS-Positionen also in das lokale Bezugssystem transformiert werden. Zur Festlegung des Bezugssystems und der Position der Basisstation mit der Zwei-Frequenz-GPS-Anlage gibt es drei Möglichkeiten:

- Eine der vom Basisempfänger auch ohne ein Differentialsignal, fortlaufend ermittelten, Positionen wird als Referenzposition für die Basisstation bestimmt. Diese unkorrigierte Position ist mit einem Fehler behaftet, die dem einfacher GPS Empfänger entspricht, also ca. 10 m. Alle anschließend mit dem Rover ermittelten Positionen haben den gleichen Fehler wie die Standortdaten des Basisempfängers. Untereinander weisen diese Positionen jedoch nur den für 2-Frequenz GPS Anlagen typischen Fehler von ca. 3 cm auf. Diese Methode zur Festlegung der Position der Basisstation ist geeignet, wenn es um den Bezug von Positionsdaten untereinander geht und die Einbindung in ein übergeordnetes System nicht notwendig ist.
- Sind die WGS 84 Positionsdaten, auf der die Basisstation steht, bekannt, können sie direkt eingegeben werden. Allerdings ist es eher unwahrscheinlich, einen für die Basisstation geeigneten Standpunkt zu finden (in Funkreichweite zum Rover), für den WGS 84 Koordinaten vorliegen. Mit einer durch WGS 84 Koordinaten beschriebenen Basisstation, werden auch alle mit dem Rover ermittelten Positionsdaten auf WGS 84 bezogen. Der Feldrechner des GPS verfügt über eine Bibliothek mit Transformationsparametern, um WGS 84 Koordinaten in verschiedene örtliche Bezugssysteme überführen zu können. Auf Grund der weiträumigen Gültigkeit dieser Transformationsparameter³ kann es dabei jedoch zu Abweichungen von bis zu 0,3 m kommen.

- Um genaue GPS Positionen in Bezug auf ein örtliches Koordinatensystem zu erhalten, können mit 4 Vermessungspunkten, für die Koordinaten im lokalen Bezugssystem vorliegen, lokale Transformationsparameter erstellt werden und gleichzeitig die Basisstation eingemessen werden. Geeignete Vermessungspunkte (topographischen Punkte) haben in Deutschland die Vermessungsämter in einem Vierecksnetz im Abstand von ca. 1 km eingerichtet. Die zum Einmessen der Basisstation benötigten 4 Vermessungspunkte müssen in einem Viereck um die Basisstation, in Funkreichweite, liegen; innerhalb eines solchen Vierecks ist der Standort der Basisstation frei wählbar. Zuerst wird wieder eine der ohne Differentialsignal, fortlaufend ermittelten Koordinaten des Basisempfängers als Referenzposition festgelegt. Anschließend werden mit dem Rover die WGS 84 Koordinaten der 4 Vermessungspunkte in Bezug auf die Basisstation bestimmt. Aus den WGS 84 Koordinaten der Vermessungspunkte können dann mit den vorhandenen Koordinaten im lokalen Bezugssystem Transformationsparameter errechnet werden. Mit diesen Transformationsparametern kann jeder, in Reichweite der Basisstation mit dem Rover gemessene Punkt mit seinen genauen Koordinaten im lokalen Bezugssystem dargestellt werden⁴.

¹ WGS-84: World Geodetic System from 1984.

² Ein Geoid ist im Gegensatz zur geometrischen Bezugsfläche des Ellipsoids, eine physikalische Bezugsfläche. Mit dem Geoid wird die Erdoberfläche als Fläche gleicher Schwerkraft abgebildet. Für landwirtschaftliche Vermessungsaufgaben ist der Geoid im Allgemeinen ohne Bedeutung.

³ DEREf-Parameter

⁴ Die gemessenen Punkte liegen vor der Transformation als WGS 84 Koordinaten vor. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass sie in Bezug auf den Basispunkt erstellt wurden, für den die genauen WGS 84 Koordinaten nicht bekannt sind. Alle so ermittelten Punkte unterliegen mit ihren WGS 84 Koordinaten dem gleichen Fehler wie er bei der ursprünglichen Festlegung des Basispunktes aufgetreten war.

Anhang 5 Auslesen des PJK Datensatzes

Nachfolgend ist beispielhaft ein PJK Datensatz aufgeführt, wie er vom GPS Empfänger ausgegeben wird:

```
$PTNL,PJK,134515.00,060601,+5539026.620,N,+3425645.199,E,1,03,3.8,GHT+49.402,M*4F<CR><LF>
```

Nach \$PTNL,PJK, steht die Uhrzeit, zu der die Position erstellt wurde: 134515.00 also 13:45:15 Uhr und das Datum 060601, der 6 Juni 2001. Daran anschließend die Nordkoordinaten +5539026.620 und die Ostkoordinaten +3425645.199 jeweils in Metern. Nach dem E, das die Ostrichtung angibt, folgt der Code für die Qualität der ermittelten Position. Die 1 steht für eine autonome, also ohne Korrektursignal ermittelte Position. Eine 3 an dieser Stelle würde bedeuten, dass die Position im 2-Frequenz-Verfahren mit der höchst erreichbaren Genauigkeit erstellt wurde. Nach dem Qualitäts-Code folgt die Zahl der ausgewerteten Satelliten, im Beispiel 03 und die Fehlergröße DOP (Dilution of Precision): 3.8. Im Anschluss an die drei Qualitätsmaßstäbe wird die Höhe in Metern über dem Ellipsoiden angegeben, im Beispiel 49.402. Das Ende des Datensatzes ist durch <LF> gekennzeichnet.

In der Tabelle 25 sind die Formatstrings zum Auslesen der Werte aus einem PJK Datensatz aufgeführt:

Tab. 25: Formatstrings zum Auslesen eines PJK Datensatzes

Kanal	Formatstring	Messwert
0	10x a \x2C	Uhrzeit
1	8x a \x2C	Nordkoordinate
2	3x a \x2C	Ostkoordinate
3	2x a \x2C	GPS-Qualität
4	a \x2C	Anzahl der Satelliten
5	a \x2C	DOP
6	3x a 5x \n	Höhe

Eine Zahl vor einem x im Formatstring bedeutet, dass die entsprechende Anzahl von Zeichen im Datensatz ignoriert wird. Da der erste Formatstring mit 10x beginnt, werden also die ersten 10 Zeichen des Datensatzes, \$PTNL,PJK, nicht berücksichtigt. Das a im Formatstring gibt an, dass Zeichen als ASCII-Wert interpretiert werden. Wenn keine Zahl vor dem a steht gilt es für alle Zeichen bis zum Endezeichen. Das Endezeichen wird durch den Backslash \ gekennzeichnet. Im ersten Formatstring ist das Endezeichen ein Komma, ausgedrückt durch die Zeichenfolge x2C. Das x leitet eine Hexadezimalzahl ein. 2C Hexadezimal für 44 steht für ein Komma. Das n am Ende des letzten Formatstrings steht für das Ende des Datensatzes, also dem Ausdruck <LF> (Line Feed). Anstatt des n kann auch Hexadezimal für 10, 0A eingesetzt werden. Das <CR> im PJK Datensatz wird ignoriert.

Anhang 6 DasyLab Schaltbild

Unten ist das für die zeitgleiche Aufnahme von GPS-Positionen und mechanischen Messgrößen erstellte DasyLab Schaltbild dargestellt. Das Schnittstellenmodul (Modul RS232-Schnittstelle) ist im Schaltbild mit GPS bezeichnet:

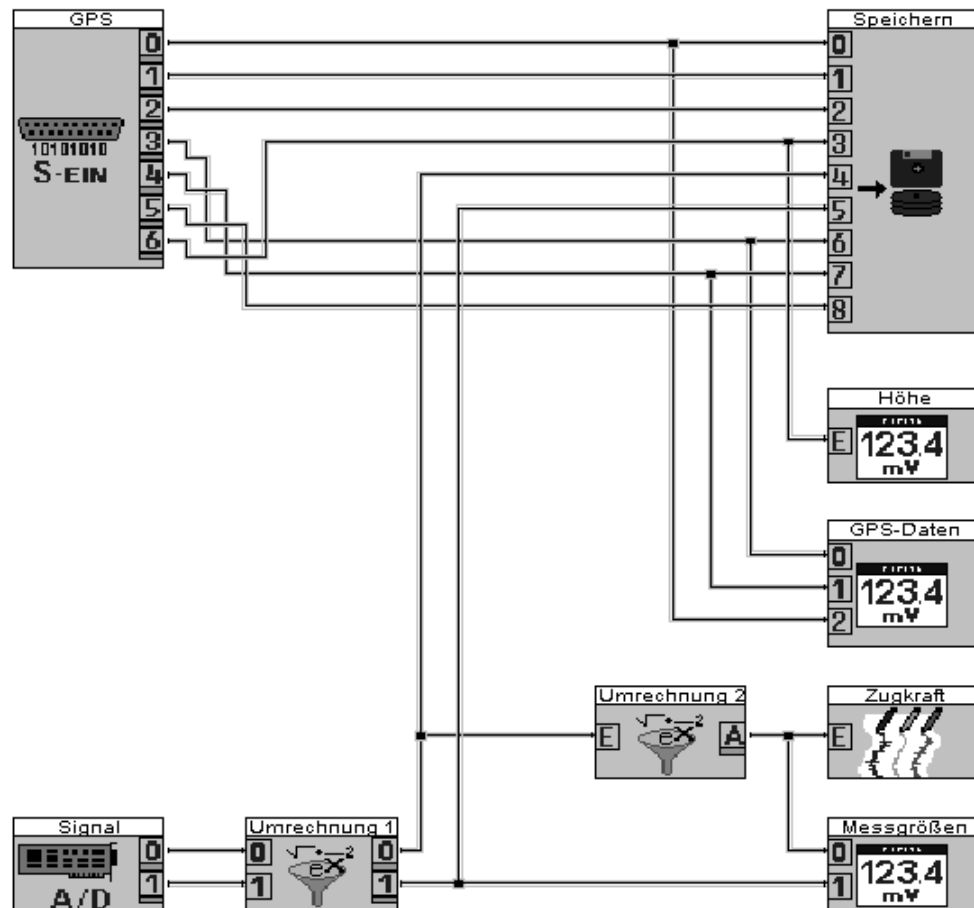


Abb. 78: Schaltbild

Anhang 7 GPS Probleme

Während der Messungen kam es wiederholt zu Verlusten bei den vom GPS-Empfänger ausgegebenen Datensätzen. Beim nachfolgenden Beispiel der über ein Terminal-Programm¹ vom Messrechner fortlaufend empfangenen Datensätze werden die Verluste erkennbar:

```
$PTNL,PJK,090601.00,053101,+5538211.306,N,+3419880.070,E,3,09,2.7,GHT+116.387,M*76
$PTNL,PJK,090602.00,053101,+5538212.159,N,+3419880.171,E,3,09,2.7,GHT+116.966,M*7B
$PTNL,PJK,090603.00,053101,+5538213.063,N,+3419880.279,E,3,09,2.7,GHT+117.521,M*76
$PTNL,PJK,090605.00,053101,+5538214.745,N,+3419880.543,E,3,09,2.7,GHT+118.662,M*71
$PTNL,PJK,090606.00,053101,+5538215.581,N,+3419880.688,E,3,09,2.7,GHT+119.202,M*7E
$PTNL,PJK,090607.00,053101,+5538216.397,N,+3419880.857,E,3,09,2.7,GHT+119.743,M*71
$PTNL,PJK,090608.00,053101,+5538217.247,N,+3419880.925,E,3,09,2.7,GHT+120.295,M*73
$PTNL,PJK,090610.00,053101,+5538218.943,N,+3419881.109,E,3,09,2.7,GHT+121.475,M*74
$PTNL,PJK,090611.00,053101,+5538219.791,N,+3419881.166,E,3,09,2.7,GHT+122.106,M*7E
$PTNL,PJK,090612.00,053101,+5538220.679,N,+3419881.303,E,3,09,2.7,GHT+122.636,M*75
```

Die GPS Datensätze wurden an der seriellen Schnittstelle vom Messdatenerfassungsprogramm abgefragt. Die Abfragerate war festgelegt und entsprach der Ausgaberate des GPS. Jedes Mal, wenn vom GPS kein neuer Datensatz zur Verfügung gestellt wurde, wurde der letzte Datensatz wiederholt ausgelesen und zusammen mit den Zugkraft-Messdaten abgespeichert. Die Abfolge von doppelten und fehlenden Datensätzen verringert nicht nur erheblich die Genauigkeit der Positionsdaten, sie führt vor allem zu größerem Aufwand bei der Datenauswertung. Warum immer wieder Datensätze fehlten war nicht erkennbar. Probleme beim Satellitenempfang (nicht genug verfügbare Satelliten, keine unzureichende geometrische Verteilung) wurden nicht angezeigt². Teilweise wurden beim Auslesen der GPS-Daten mit dem Messdatenerfassungsprogramm nur Teile eines Datensatzes wiederholt. Oft erfolgten die Ausfälle in einem bestimmten Rhythmus (beispielsweise alle Sekunde, bei einer Ausgaberate von 5 Hz). Das deutet darauf hin, dass es sich um ein Schnittstellenproblem zwischen GPS-Empfänger und PC handeln könnte, unter Umständen auf Grund mangelhafter Synchronisation. Auf Probleme mit der Taktung weist teilweise auch die Uhrzeit einzelner Datensätze hin:

```
05.02.2002,00:00:00.9,144555.80,39067.035,25627.605,102.058,0,59,3,5,5,8,
05.02.2002,00:00:01.2,144556.00,39067.074,25627.771,101.900,-0,62,3,5,5,8,
05.02.2002,00:00:01.4,144556.20,39067.086,25627.875,101.825,-0,61,3,5,5,8,
05.02.2002,00:00:01.6,144556.41,39067.121,25627.963,101.770,-0,61,3,5,5,8,
05.02.2002,00:00:01.7,144556.59,39067.121,25627.963,101.770,-0,62,3,5,5,8,
05.02.2002,00:00:01.9,144556.80,39067.184,25628.080,101.750,0,59,3,5,5,8,
05.02.2002,00:00:02.2,144557.00,39067.207,25628.268,101.588,0,58,3,5,5,8,
05.02.2002,00:00:02.4,144557.20,39067.215,25628.369,101.508,0,58,3,5,5,8,
05.02.2002,00:00:02.5,144557.41,39067.246,25628.369,101.508,0,57,3,5,5,8,
```

Bei einer Ausgaberate von 5 Hz liegen manchmal 0,21 Sekunden und dann wieder 0,18 Sekunden zwischen den Datensätzen. Im Rahmen dieser Arbeit konnten diese Fehler der Datenverarbeitung nicht behoben werden³.

¹ Microsoft Windows Hyper Terminal

² Nach Angaben der Gerätevertreiber entspricht es dem üblichen Geräteverhalten, bei unzuverlässigem Satellitenempfang den letzten ermittelten Datensatz erst zu wiederholen und bei andauerndem schlechten Empfang die Datenübermittlung ganz einzustellen (und nicht, wie erwartet die Qualitätsstufe 0 – keine Positionsermittlung möglich – auszugeben).

³ Um Probleme zu vermeiden, hat es sich grundsätzlich als nützlich erwiesen, den Speicher des Empfängers komplett zurück zu stellen (Reset Receiver and: Erase Battery Backed RAM, Erase File System), bevor Änderungen an der Einstellung des Empfängers vorgenommen werden. Nach dem Neustart sollte erst gut zwei Minuten lang die Ausgabe von Datensätzen abgewartet werden, bevor Daten zur Auswertung verwendet werden. Innerhalb dieser Zeit kann es nämlich erfahrungsgemäß noch einmal zum Zurücksetzen der ausgegebenen Uhrzeit kommen, auch wenn die Datensätze bereits ohne Fehlermeldung ausgegeben werden.

Tab. 26: Arbeiten im Steillagenweinbau (Johannisberger Schlossberg 2001)

Arbeit	Datum	Wachstumsstadium		Arbeitszeitbedarf (Akh/ha)*			Treibstoff (l/ha)**		Aufwendungen
				Selbstfahrendes SMS mit 4 km/h		Handarbeiten	Winde	Arbeitsgerät	
		Beschreibung	Code	Geamtaz.	Grundzeit	Grundzeit			
Schneiden	14. März						79,5		
Drahtrahmen ausbessern	März / April						4,2		10 Stichel / 0,8 ha ersetzt***
Biegen	12. April						34,4		
Mulchen / Rebholz zerkleinern	28. April	Wolle	5	5,0	4,4		7,7	9,8	
Mulchen, Unterstockherbizid	22. Mai	Gescheine wachsen	55	5,2	4,6		7,7	9,8	300 l Spritzbrühe/ha
1. Pflanzenschutzbehandlung	30. Mai		56	5,5	4,9		7,6	6,5	150 l Brühe/ha
Ausbrechen / Drähte ablegen	01. Juni	Gescheine entwickelt	57			13,9			Jede 2. Gasse durchlaufen
Aufnehmen / Einstecken	13. Juni		58			8,3			Jede 2. Gasse durchlaufen
2. Pflanzenschutzbehandlung	15. Juni		59	5,5	4,9		7,6	6,5	150 l Brühe/ha
3. Pflanzenschutzbehandlung	02. Juli	Ende der Blüte	69	5,5	4,9		7,6	6,5	300 l Brühe/ha
Mulchen	04. Juli			5,0	4,4		7,7	9,8	
Einstecken	05. Juli	Erbsengroß	75			25,6			Jede Gasse durchlaufen
Laubschnitt	09. Juli			5,0	4,4		7,3	3,7	
4. Pflanzenschutzbehandlung	17. Juli		77	5,5	4,9		7,6	6,5	300 l Brühe/ha
5. Pflanzenschutzbehandlung	31. Juli	Traubenschluss	79	5,5	4,9		7,6	6,5	400 l Brühe/ha
Laubschnitt	09. August		79	5,0	4,4		7,3	3,7	
6. Pflanzenschutzbehandlung	13. August		79	5,5	4,9		7,6	6,5	400 l Brühe/ha
Mulchen, Unterstockherbizid	30. August	Reife	83	5,2	4,6		7,7	9,8	300 l Spritzbrühe/ha
Lese	30. Oktober					533,0			
Gesamtaufwand				63,4	56,2	698,9	91,0	85,6	
* SMS-Arbeitszeiten berechnet mit Ausbringungsmengen von 400l/ha beim Pflanzenschutz und 100 l/ha beim Unterstockspritzen									
** SMS-Verbrauchswerte berechnet für 60 % Hangneigung *** mit 2 Arbeitskräften, 10 Minuten je Stichel									

KTBL-Veröffentlichungen zum Thema Weinbau

Weinbau und Kellerwirtschaft

Pflanzenschutz im Wein- und Obstbau. 6. Internationales ATW-Symposium 2001. 205 S., 19 € (Best.-Nr. 41006)

Gesunder Boden durch Begrünung. 5. Internationales Symposium 1998. 128 S., 16 €, ISBN 3-7843-1981-5 (Best.-Nr. 18256)

Mechanisierung der Stockpflegearbeiten. Auswirkungen auf die Weinqualität. 4. Internationales Symposium 1995. 133 S., 14 €, ISBN 3-7843-1915-7 (Best.-Nr. 11364)

Dietrich, J.: Mechanisierung und Produktionsplanung im Steillagenweinbau. 1995. 176 S., 17 €, ISBN 3-7843-1919-X (Best.-Nr. 11366)

Kauer, R.; Kiefer, W.: Umweltschonender und ökologischer Weinbau. Versuchsergebnisse und Empfehlungen für die Praxis. 1995, 99 S., 14 €, ISBN 3-7843-1920-3 (Best.-Nr. 11367)

Müller, D.H.: Abwassertechnik im Weinbau. 1995, 145 S., 17 €, ISBN 3-7843-1921-1 (Best.-Nr. 11368)

Datensammlung, Betriebsführung

Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft. 2001. 11. Aufl., 100 S., 16 €, ISBN 3-7843-1938-6 (Best.-Nr. 19465)

Datensammlung Direktvermarktung. 2000, 2. Aufl., 111 S., 18 €, ISBN 3-7843-2113-5 (Best.-Nr. 19462)

Datensammlung Obstbau. 2002, 3. Aufl., 139 S., CD-ROM 22 €, ISBN 3-7843-2134-8 (Best.-Nr. 19468)

Datensammlung Freilandgemüsebau. 2002., 6. Aufl., 120 S., CD-ROM, 22 €, ISBN 3-7843-2144-8 (Best.-Nr. 19472)

Taschenbuch Gartenbau. Daten für die Betriebskalkulation im Gartenbau. 1999, 5. Aufl., 256 S., 17 €, ISBN 3-7843-2105-4 (Best.-Nr. 19459)

AVORWin. Kapazitätsplanung in der Außenwirtschaft. 2002, CD-ROM, 30 € (Best.-Nr. 43011)

MAKOST für Windows. Maschinenkostenkalkulation. 2002, CD-ROM, 21 € (Best.-Nr. 43003)

Organische/mineralische Abfälle und Wirtschaftsdünger. (Datenbank Version 1.0). 2000. CD-ROM, 25 € (Best.-Nr. 40028)

KTBL-Arbeitsblätter Weinbau

Rebholz, F.: Stapler im Weinbaubetrieb. 2002, 5 S., 3 € (Best.-Nr. 42086)

Achilles, A.: Traubenvollernter – Typentabelle 2002, 6 S., 3 € (Best.-Nr. 42085)

Schledt, C.; Achilles, A.: Vierradschleper für den Weinbau – Typentabelle 2001. 14 S., 3 € (Best.-Nr. 42084)

Binder, G.: Rotweinbereitung durch Maischeerhitzung. 2000, 7 S., 3 € (Best.-Nr. 42083)

Maul, D.: Bodenbearbeitungs- und Tiefenlockerungsgeräte. 2000. 6 S., 3 € (Best.-Nr. 42082)

Uhl, W.; Rebholz, F.: Ausbringtechnik für mineralische und organische Düngemittel. 2000, 5 S., 3 € (Best.-Nr. 42081)

Walz, O.: Materialien für die Unterstützungsvorrichtung im Weinbau. 2000, 10 S., 3 € (Best.-Nr. 42080)

Maul, D.: Bindematerialien und Bindegeräte zum Biegen und Gerten. 1999. 6 S., 3 € (Best.-Nr. 42079)

Ziegler, B.; Maul, D.: Technik der Weinbergsbegrünung. 1998, 9 S., 3 € (Best.-Nr. 42076)

Maul, D.: Mechanisierung der Laubarbeiten. 1998, 4 S., 3 € (Best.-Nr. 42074)

Porto- und Verpackungskosten werden gesondert in Rechnung gestellt.
Preisänderungen vorbehalten.

Bestelladresse

KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH ■ 48084 Münster
Tel.: 02501/801-300 ■ Fax: 02501/801-351 ■ E-Mail: service@lv-h.de

Ein Gesamtverzeichnis erhalten Sie kostenlos beim Verlag und

KTBL ■ Bartningstraße 49 ■ 64289 Darmstadt
Tel.: 06151/7001-189 Fax: 06151/7001-123 ■
E-Mail: vertrieb@ktbl.de ■ <http://www.ktbl.de>

ATW-Forschungsberichte	Best.-Nr.
<i>Schygulla, M., Degünther, B.</i> : Selbstklebe-Etikettiertechnik. 2003 (im Druck)	41132
<i>Weik, B.</i> : Abbeermaschinen und Maischebeförderung. 2003, 52 S., 9 €	41125
<i>Eichler, S.</i> : Untersuchungen an Flaschen-Außenwaschmaschinen für Winzerbetriebe. 2003 (im Druck)	41124
<i>Bäcker, G.; Struck, W.</i> : Sprühgebläse der neuen Generation. 2002, 36 S., 8 €	41122
<i>Prior, B.</i> : Schutzhüllen für Jungreben. 2002, 65 S., 9 €	41120
<i>Jung, R.; Seckler, J.; Zürn, F.</i> : Beeinflussung des Verschleißdrucks. 2001, 28 S., 7 €	41119
<i>Müller, D.H. et al.</i> : Direktkühlung bei der Weinproduktion. 2002, 74 S., 10 €	41118
<i>Rühling, W.</i> : Seilgezogene Mechanisierungssysteme. 2002, 24 S., 7 €	41117
<i>Uhl, W.</i> : Minimierung des Herbizidaufwandes. 2001, 46 S., 9 €	41115
<i>Walg, O.</i> : Mechanisierung des Rebschnitts. 2002 (im Druck)	41114
<i>Binder, G.</i> : Rotweinbereitung in Erzeugerbetrieben. 2000, 118 S., 9 €	41113
<i>Kohl, E.; Walg, O.</i> : AHL-Düngetechnik in begrünter Anlagen. 2002 (im Druck)	41112
<i>Schwingenschlögl, P.</i> : Schlagkarteien für den Weinbau. 2002, 30 S., 7 €	41111
<i>Bäcker, G.</i> : Mehrreihige Pflanzenschutzverfahren. 2000, 61 S., 9 €	41110
<i>Schultz, H. R.</i> : Minimalschnittsysteme. 2002, 71 S., 10 €	41109
<i>Seckler, J. et al.</i> : Transport und Förderung von Trauben und Maische. 2001, 55 S., 9 €	41108
<i>Back, W.; Weiland, J.</i> : Kooperationsformen im Weinbau. 1998, 52 S., 9 €	41107
<i>Maul, D.; Rebholz, F.</i> : Standardschlepper im Direktzug-Weinbau. 2000, 27 S., 7 €	41106
<i>Rühling, W.</i> : Maschinelle Entblätterung. 1999, 36 S., 9 €	41105
<i>Uhl, W.</i> : Befahrbarkeit begrünter Rebassen. 1999, 23 S., 7 €	41104
<i>Zürn, F.; Jung, R.</i> : Alternative Verschlüsse für Weinflaschen. 2000, 33 S., 9 €	41103
<i>Seckler, J.; Jung, R.; Freund, M.</i> : Alternative Klärverfahren bei Most. 2000, 95 S., 9 €	41102
<i>Fischer, U. et al.</i> : Intensivierung des Weinaromas. 2001, 106 S., 11 €	41101
<i>Köhler, H. J.</i> : Überschichtung von Anbruchgebinden. 1999, 50 S., 9 €	41100
<i>Wohlfarth, P.; Schorr, T.</i> : Dauerbegrünung in Trockenjahren. 1999, 36 S., 9 €	41099
<i>Fischer, U.</i> : Gärunterbrechungen und Behebung von Gärstörungen. 2000, 92 S., 9 €	41097
<i>Müller, D. H.; Platzer, B.; Frech, B.</i> : Aktive Kühlung bei der Gärung. 1998, 105 S., 12 €	41096
<i>Köhler, H. J.</i> : Dampferzeugung. 1997, 40 S., 7 €	41094
<i>Fehlow, C.; Jung, R.; Pfeifer, W.</i> : Fassweinbereitung im Kleingebinde. 1997, 25 S., 7 €	41093
<i>Uhl, W.</i> : Lockerung begrünter Ertragsreblflächen. 1998, 37 S., 9 €	41092
<i>Rühling, W.</i> : Maschinelle Ausdünnung. 1999, 31 S., 7 €	41091
<i>Rebholz, F.</i> : Entsorgung verbrauchter Weinbergsanlagen. 1997, 52 S., 9 €	41090
<i>Degünther, B.</i> : Selbstklebeetiketten. 1997, 55 S., 9 €	41089
<i>Seckler, J.</i> : Ganztraubenpressung. 1997, 70 S., 9 €	41088
<i>Weik, B.</i> : Traditionelle Sektbereitung in Winzerbetrieben. 1996, 96 S., 12 €	41087
<i>Bäcker, G.</i> : Einfluss der Erziehungssysteme auf die Applikationsqualität. 1998, 48 S., 9 €	41086
<i>Maul, D.</i> : Mechanisierung der Laubarbeiten. 1997, 60 S., 9 €	41085
<i>Fox, R.; Rupp, D.; Walg, O.</i> : Umweltschonende Bodenvorbereitung zur Wiederanpflanzung. 1998, 36 S., 9 €	41083
<i>Simonis, A.; Kohl, E.</i> : Ausgewählte Extensivierungsmöglichkeiten. 1998, 44 S., 9 €	41082
<i>Maul, D.; Weik, B.</i> : Arbeitssicherheit und Arbeitsplatzgestaltung. 2001, 77 S., 9 €	41081
<i>Oberhofer, J.</i> : Rentabilität des Ab-Hof-Verkaufs von Wein. 1997, 48 S., 9 €	41078
<i>Steinberg, B.</i> : Minimierung der Bodenpflege. 1997, 68 S., 9 €	41077
<i>Jung, R.; Seckler, J.</i> : Flaschensterilisation. 1997, 68 S., 9 €	41076
<i>Zürn, F.; Jung, R.</i> : Testmethoden zur Bestimmung der Korkqualität. 1996, 53 S., 9 €	41074
<i>Uhl, W.</i> : Mineraldüngung in Direkt- und Seilzuglagen. 1996, 28 S., 7 €	41073
<i>Jung, R.</i> : Einfluss des Flaschenverschlusses auf den Wein. 1993, 35 S., 7 €	41072
<i>Rebholz, F.</i> : Ausbringung organischer Reststoffe i Weinbau. 1996, 68 S., 9 €	41071
<i>Back, W.; Maul, D.</i> : Kfz-Vertrieb für Direktvermarkter. 1996, 43 S., 9 €	41069
<i>Weik, B.</i> : Schraubverschlüsse und Schraubverschleißer für Erzeugerbetrieb. 1995, 83 S., 11 €	41068
<i>Bourquin, H.-D.; Kohl, E.</i> : Pflanzen von Propfreben. 1996, 45 S., 9 €	41067
<i>Walg, O.</i> : Abflammtchnik im Weinbau, 1996, 39 S., 9 €	41066

Weitere ATW-Veröffentlichungen

Best.-Nr.

34. ATW-Tagung für Weinbau-Fachberater 2002 in Geisenheim. 30 S., 5 €	4034BT
33. ATW-Tagung für Weinbau-Fachberater 2000 in Bad Kreuznach. 30 S., 5 €	4033BT
32. ATW-Tagung für Weinbau-Fachberater 1999 in Geisenheim. 28 S., 5 €	4032BT
31. ATW-Tagung für Weinbau-Fachberater 1997 in Geisenheim. 22 S., 5 €	4031BT
30. ATW-Tagung für Weinbau-Fachberater 1996 in Bad Münster am Stein. 39 S., 5 €	4030BT
50 Jahre Ausschuss für Technik im Weinbau, Jubiläumsband 2002, 62 S., 10 €	40J50

Ein Gesamtverzeichnis der ATW-Forschungsberichte und -Veröffentlichungen ist kostenlos erhältlich beim KTBL ■ Bartningstraße 49 ■ 64289 Darmstadt
Tel.: 06151/7001-189 Fax: 06151/7001-123 ■
E-Mail: vertrieb@ktbl.de ■ <http://www.ktbl.de>