

Aus dem Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach
(Direktor: Prof. Dr. G. PREUSCHEN)

Entwicklung und zweijähriger Einsatz eines Pulszählers

Von

H. A. BROICHER und H. DUPUIS

Mit 10 Textabbildungen

(Eingegangen am 4. September 1961)

Bedeutung der Pulszählung

Unter den arbeitsphysiologischen Meßmethoden hat sich die fortlaufende Registrierung der Pulsfrequenz in den letzten 10 Jahren in steigendem Maße bewährt und bei arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen starke Anwendung gefunden. Die Ursache hierfür liegt einmal darin, daß die Erfassung des Kreislaufverhaltens des Menschen bei den meisten Arbeiten, vor allem wenn ein Anteil statischer Muskelarbeit vorhanden ist, mehr über die physiologische Beanspruchung aussagt als die Ermittlung des reinen Energieumsatzes mit der Respirationsmethode. Bei statischer Arbeit liegt die Pulsfrequenz zum Sauerstoffverbrauch relativ hoch, weil der Stoffaustausch im Muskel behindert ist und eine Steigerung der Durchblutung zur Folge hat^{18, 25}.

Weiterhin dient die Pulsfrequenz zur Beurteilung der Hitzebelastung, da eine größere Blutmenge benötigt wird, um Körperwärme an die kühlere Hautoberfläche zu transportieren^{1, 29}. Ebenfalls wurde die Pulsfrequenz als Maß der Aufmerksamkeitsanspannung¹³ verwendet und kann auch zur Erfassung des Risikoerlebnisses dienen (Autofahren).

Besonders wichtig ist das Verhalten der Pulsfrequenz vor und nach der Arbeit, bezogen auf die verrichtete Leistung¹⁶. Es wird deshalb der bei einem bestimmten Arbeitsanstieg ermittelte Leistungspulsindex (LPI) als Maß der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Größe der physiologisch zumutbaren Dauerbelastung angesehen¹⁵.

In unserem Institut wurden in den Jahren 1957 und 1958 Pulszählgeräte entwickelt, die eine fortlaufende Registrierung der Pulsfrequenz bei gleichzeitiger Durchführung von Zeitstudien ermöglichen. Diese Entwicklungsarbeit wurde durch Anregungen und Vorschläge unterstützt, die von Physiologen, Medizинern, Arbeitswissenschaftlern und Technikern gegeben wurden. Nur dem Zusammenwirken der verschiedenen Spezialisten ist der Erfolg der Arbeit zu danken. Nachdem die Entwicklung abgeschlossen ist und die Geräte in 2½jährigem Einsatz erprobt

sind, soll jetzt über die Erfahrungen bei Arbeitsversuchen berichtet werden. Im einzelnen wurden die bisher vorhandenen Geräte in zahlreichen arbeitsphysiologischen Untersuchungen von DUPUIS u. GLASOW^{3, 4, 6-8}, RADKE²¹, HAMMER¹⁰, SINKWITZ²³ und RÜPRICH²⁶ verwendet. Ein weiteres Gerät wurde nach unseren Angaben vom Institut für Schlepperforschung in der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (Direktor: Prof. H. MEYER), Braunschweig-Völkenrode, gebaut und eingesetzt. Auf Grund des Interesses für unseren Pulszähler haben wir einer Bad Kreuznacher Firma Erlaubnis erteilt, weitere Geräte nach unserem Bauplan herzustellen.

Wie und wo Pulszählen?

Es ergibt sich die Frage, an welchen Körperstellen und mit welchen Meßverfahren sich die Pulsfrequenz beim arbeitenden Menschen am zweckmäßigsten ermitteln läßt. Die einfachste Methode ist die manuelle Pulszählung, wie sie vom Arzt angewendet wird. Nachteilig bei Handmessung im Arbeitsversuch ist jedoch die oft notwendige Arbeitsunterbrechung, die den Arbeitsrhythmus stört, als Erholungspause wirken kann und bei größerer körperlicher Beanspruchung zu einer geringeren Pulsfrequenz, also zu einem falschen Ergebnis führt¹². Außerdem kann damit gerechnet werden, daß sensible Versuchspersonen bei einer Handpulsmessung sich „untersucht“ fühlen und mit erhöhter Pulsfrequenz reagieren. Das kann sich insbesondere bei der Ruhepulsbestimmung nachteilig auswirken.

Eine elektromechanische Abtastung des Pulswellendruckes an Arterien oder Venen ist mit Hilfe von Pulsabnehmern, sog. Receptoren, möglich²⁴. Solche Untersuchungsmethoden lassen sich jedoch nur bei völliger Entspannung und Ruhe der Versuchsperson, nicht aber am arbeitenden Menschen zuverlässig durchführen. Ebenso macht die Bestimmung der Pulsfrequenz mittels Phonokardiographie^{11, 23} erhebliche meßtechnische Schwierigkeiten bei Arbeitsversuchen, da die durch Bewegungen der Versuchsperson ausgelösten Erschütterungen teilweise größere Amplituden verursachen als die Herztöne¹⁹.

Die Verwendung des Elektrokardiogrammes zur Registrierung des Pulsverlaufes ist grundsätzlich möglich und wird teilweise auch beim arbeitenden Menschen angewandt^{19, 20, 27}. Obgleich EKG-Ableitungen gewählt werden können, die bei der Arbeit nicht hinderlich wirken, gibt es bei diesem Verfahren doch folgende Schwierigkeiten:

1. Herzaktionsspannungen können durch Muskelaktionsspannungen überlagert sein.
2. Eine herznahe Anordnung der Ableitungsstellen muß wegen des dort relativ geringen Einflusses der Muskelaktionsspannungen gewählt werden. Diese Anordnung ist jedoch besonders empfindlich gegen Lageveränderungen der Abnahmeelektroden, die bei körperlicher Arbeit leicht auftreten können.

3. Eine weitere Störkomponente kann durch elektromagnetische Wechselfelder (Kabel, elektrische Maschinen) entstehen. Der arbeitende Mensch müßte dann durch einen Faradayschen Käfig abgeschirmt werden.

4. Schwierigkeiten können sich bei der Anwendung des Kontaktmittels zur Verminderung des Übergangswiderstandes ergeben.

5. Bei verschiedenen Versuchspersonen können u. U. andere Ableitungsstellen erforderlich sein.

6. Das sachgemäße Anlegen der Elektroden an der Versuchsperson erfordert besonders geschultes Personal.

Aus diesen Gründen erschien uns die Beibehaltung des vom Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie, Dortmund, gewählten photoelektrischen Meßprinzips zweckmäßig¹⁷. Das von MATTHES¹⁴ zuerst angewandte Verfahren der Durchleuchtung des Ohrläppchens wurde von MÜLLER u. REEH¹⁸ aufgenommen und durch eine elektronische Verstärkung verbessert. Es ist das große Verdienst von MÜLLER, dieses Meßverfahren so entwickelt und umfangreiche Grundlagenuntersuchungen durchgeführt zu haben, daß die fortlaufende Registrierung der Pulsfrequenz heute als eine Standardmethode zur Erfassung körperlicher Beanspruchung gilt.

Tragbarer photoelektrischer Pulszähler

Anordnung. Für Arbeitsversuche in der Landwirtschaft schien eine Trennung von Meßwertaufnehmer und Gerät in der Weise notwendig, daß nur der Aufnehmer sich an der Versuchsperson befindet, das komplette Gerät jedoch vom Beobachter getragen wird. Hierfür waren folgende Gründe maßgebend:

1. Die Versuchsperson sollte weitgehend von unnötigem Ballast und Einengung durch Tragegurte befreit sein. Das ist erforderlich, weil bei manchen Arbeiten Lasten (Motor-Sprühgeräte, Tragebehälter) auf dem Rücken getragen werden. Auch sollte u. U. die Möglichkeit bestehen, an der Versuchsperson andere Meßgeräte (z. B. Respirationsgasuhr) gleichzeitig anzubringen.

2. Der Versuchsbeobachter sollte das Zählwerk jederzeit leicht und genau ablesen können, um sich der Arbeitsbeobachtung intensiv widmen zu können. Deshalb muß sich das Zählwerk nicht bei der Versuchsperson, sondern beim Beobachter befinden.

Die Länge des Verbindungskabels zwischen Aufnehmer und Gerät wird durch die Entfernung zwischen Versuchsperson und Beobachter bestimmt. Da sich über das Verbindungskabel, welches bei uns eine Länge von 7 m hat und nicht abgeschirmt ist, elektrische Störfelder negativ auswirken können, wurde in unserem Verstärker durch den Einbau eines Kondensators für die Beseitigung einer etwaigen bei 50 Hz liegenden Störfrequenz gesorgt.

Bereits bei Untersuchungen von GLASOW u. ZIMMER-VORHAUS⁹ und DUPUIS, PREUSCHEN u. SCHULTE⁵ wurde das Pulszählgerät aus den oben

genannten arbeitstechnischen Gründen vom Versuchsbeobachter getragen, während an der Versuchsperson lediglich der Meßwertaufnehmer befestigt war.

Meßwertaufnehmer*. Zunächst wurde untersucht, welche Art von *Photozellen* für die Erfassung der Lichtdurchlässigkeitsänderungen des Ohrläppchens am geeignetsten ist. Der photoelektrische Effekt des Lichtes auf die Materie kann sich nach DAVIS u. WEED² in verschiedener Art auswirken: Widerstandsänderung und Spannungserzeugung als innere photoelektrische Effekte und Photoemission als äußerer photoelektrischer Effekt. Die letztere Art, die zwar die empfindlichste ist, kann



Abb. 1. Abnahme des Pulses an der Fingerkuppe des Zeigefingers mit einem Cadmium-Selenid-Photowiderstand

in unserem Falle keine Verwendung finden, weil als Photozelle eine evakuierte oder gasgefüllte Röhre benutzt werden müßte, die sich am Ohrläppchen nicht anbringen läßt. Es konnten daher nur Photozellen mit innerem photoelektrischen Effekt, wie er bei gewissen Halbleitern auftritt, verwendet werden. Versuche wurden mit Selen- und Silicium-Photoelementen durchgeführt. Hierbei zeigte sich, daß ein Selenphotoelement am empfindlichsten reagiert, wenn es als Widerstandswandler geschaltet wurde. Daher war es naheliegend, direkt auf einen Photowiderstand überzugehen.

Es werden heute bereits sehr kleine Cadmium-Selenid-Photowiderstände, sog. Mikroflachzellen, mit einer aktiven Fläche von 10 mm^2 von der Industrie angeboten, die in dem kleinen und leichten Ohrklipp untergebracht werden konnten. Wie empfindlich ein solcher Photowiderstand ist, zeigt Abb. 1, bei der der Meßwertaufnehmer an die Fingerkuppe des nur durch Tageslicht beleuchteten Fingers gehalten wurde. Die spektrale Empfindlichkeit dieser Zellen reicht von $400\text{--}1000 \text{ nm}$, wobei das Maximum im nahen Infrarot bei 750 nm liegt. Der Dunkelwiderstand beträgt etwa $10^9 \Omega$, bei direkter Beleuchtung mit dem Cystoskoplämpchen (3 V , $0,45 \text{ W}$) beträgt der Widerstand etwa $2 \cdot 10^4 \Omega$, bei Durchleuchtung des Ohrläppchens etwa $8 \cdot 10^4 \Omega$. Dabei ruft die Änderung der Lichtdurchlässigkeit des Ohrläppchens durch das ein- und ausströmende Blut

* Die Entwicklung des Meßwertaufnehmers erfolgte in Zusammenarbeit mit der Firma Gravius, Bad Kreuznach, und wurde zum Teil von der DGB-Bundesschule, Bad Kreuznach, in dankenswerter Weise finanziell gefördert.

Widerstandsänderungen in der Größenordnung von etwa 0,2% hervor. Um einen Eintritt von Seitenlicht auf die Photozelle weitgehend auszuschließen, wurde diese in dem Kunststoffgehäuse versenkt angeordnet. Dem gleichen Zweck dient der konkave und gerillte Teller des Gehäuses,

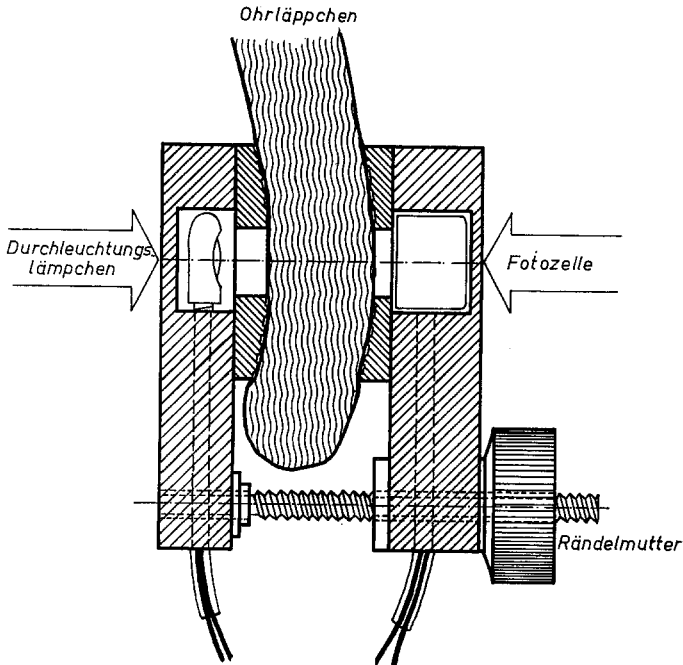


Abb. 2. Schnittzeichnung des Meßwertempfängers für die Änderung der Lichtdurchlässigkeit am Ohrläppchen

der am Ohrläppchen anliegt, das Verrutschen des Meßwertempfängers verhindert und gleichzeitig das Pulsieren des Blutes an der Meßstelle zuläßt (Abb. 2).

Zur Vermeidung höherer Temperaturen, die zu Verbrennungen der Haut des Ohrläppchens führen können, wurde die *Durchleuchtungslampe* in eine Metallhülse gefaßt, die für eine bessere Wärmeableitung sorgt. Der Glühfaden in der Cystoskoplampe wurde zur Gewährleistung eines zuverlässigen Kontaktes nicht mehr — wie sonst üblich — an die Elektroden angedrückt, sondern angeschweißt, womit Helligkeitsschwankungen sicher vermieden werden. Die Helligkeitseinstellung des Durchleuchtungslämpchens — übrigens das einzige Einstellglied am Pulszähler — soll so vorgenommen werden, daß eine ungefähre mittlere Leuchtstärke erreicht wird. Ein schwaches Glimmen des Glühfadens genügt zur Durchleuchtung nicht, jedoch ist auch ein weißliches Glühen zu vermeiden, da die Lampe sonst vorzeitig unbrauchbar wird. Auf eine besonders genaue Helligkeitseinstellung kommt es allerdings nicht an.

Der zuverlässigen *Befestigung* des Ohrklips mußte größtes Augenmerk zugewendet werden, da ein Verrutschen zu zusätzlichen Pulsen („Wackelpulsen“), also Fehlmessungen, führt. Das Gewicht der gesamten Ohrklammer wurde deshalb mit knapp 6 g so niedrig wie möglich gehalten. Außerdem sind die beiden Teile, Lampengehäuse und Photozellegehäuse, parallel geführt und können durch eine Spindel mittels



Abb. 3. Meßwertaufnehmer an einer Versuchsperson (Ohrkappe ist abgenommen)

Rändelmutter in ihrem Abstand zueinander verstellt werden. Diese Verstellung dient zur individuellen Anpassung an die jeweilige Versuchsperson und ermöglicht die Einstellung des richtigen Anpreßdruckes (Abb. 3). Der Anpreßdruck muß einerseits so groß sein, daß ein Verrutschen des Aufnehmers nicht möglich ist, darf aber auch auf der anderen Seite nicht so stark sein, daß die Blutzirkulation unterbunden wird. Man verfährt deshalb zweckmäßigerweise so, daß das Ohrläppchen voll zwischen den beiden Gehäusen liegt, und zunächst durch Andrehen der Rändelmutter die Blutzufuhr abgesperrt wird (Pulsanzeige fällt aus!). Dann wird die Mutter langsam soweit gelöst, bis eine regelmäßige Anzeige der Pulsschläge erfolgt.

Störungen durch Sonnenlicht oder starkes Lampenlicht im Raum werden — ebenso wie von MÜLLER¹⁸ vorgeschlagen — durch Tragen einer leichten Ohrkappe vermieden, wobei diese den Ohrclip nicht berühren und auf keinen Fall verschieben soll.

Das Verbindungskabel zwischen Versuchsperson und Beobachtungsperson wird zweckmäßigerweise am Rockaufschlag oder an einer in der Nähe des Halses befindlichen Kleidungsstelle mittels einer Hosenträger-

klammer befestigt. Dabei ist darauf zu achten, daß einerseits die Kopfbewegungen durch das Kabel nicht behindert werden und andererseits die Kabelschleife nicht zu groß wird, damit ihr Gewicht den Meßwertempfänger nicht in Schwingungen bringen kann.

Verstärker. Für die Entwicklung des Spezialverstärkers sind die Vorgänge der Lichtdurchlässigkeitsänderungen im Ohrläppchen maß-

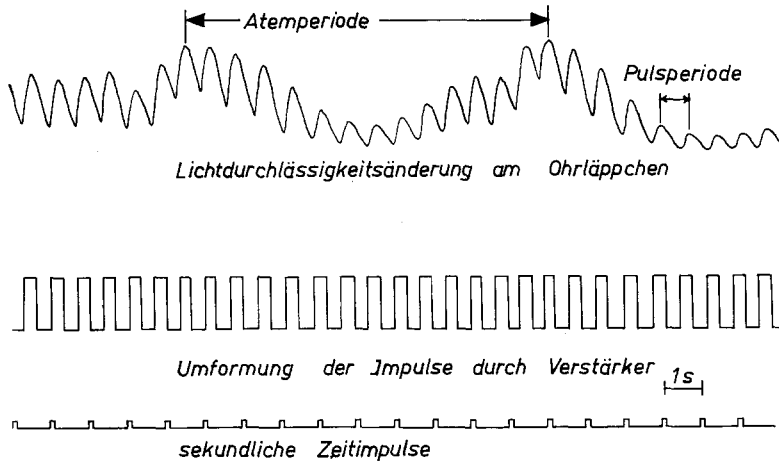


Abb. 4. Registrierung und Umformung einer mit dem Pulszähler aufgenommenen Pulskurve

gebend. Im Ohrläppchen, als einem herzfernen Körperteil, sind die kräftigen Blutstromstöße des Herzens durch die dämpfende Wirkung der Capillaren bereits stark ausgeglichen. Daher findet man keine steilen Impulsflanken, sondern einen etwa sinusförmigen Verlauf der Änderung der Lichtdurchlässigkeit (Abb. 4, obere Kurve).

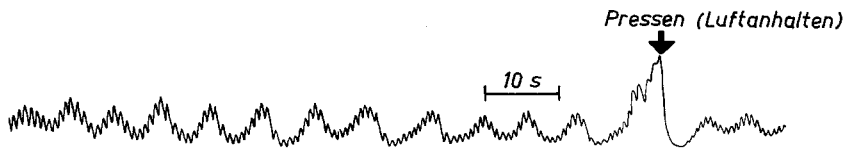


Abb. 5. Einfluß von tiefem Atmen und starkem Pressen auf den Verlauf der Pulskurve

Wie diese Kurve außerdem zeigt, wird die Pulsfrequenz von einer wesentlich langsameren Atemfrequenz überlagert. Vermutlich wird diese Erscheinung durch eine gewisse Blutstauung beim Einatmen verursacht, was vor allem beim tiefen Atmen und Pressen (Atem anhalten) erkennbar ist (Abb. 5).

Da nur die Pulsfrequenz interessiert, mußten die für diese Frequenz passenden Zeitkonstanten der R-C-Koppelungsglieder zwischen den Verstärkerstufen sorgfältig gewählt werden. Das ist auch deshalb notwendig,

weil die vorkommenden sehr niedrigen Frequenzen (zwischen 1 und 3 Hz) an der unteren Leistungsgrenze eines Wechselspannungsverstärkers liegen.

Um die Zählwerke zum Ansprechen zu bringen, waren vier Verstärkerstufen erforderlich. Dazu wurden zwei Doppelröhren benutzt, die weniger Heizleistung als vier Einzelröhren benötigen und einen einfacheren Aufbau der Schaltung ergeben. Die Verwendung von Röhren — im Gegensatz zu Transistoren — schien in diesem Falle naheliegend, weil das Gerät für die Durchleuchtungslampe bereits mit einer Heizbatterie versehen sein mußte, die auch gleichzeitig für die Heizung der Röhren benutzt werden konnte. Da außerdem die Lichtdurchlässigkeitsänderungen am Ohr läppchen eine möglichst große Spannungsänderung an der Photozelle bewirken sollen, ist es zweckmäßig, die Stromstärke im Photowiderstand möglichst groß zu wählen. Dieses kann aber nur durch Verwendung einer hohen Batteriespannung geschehen, die in unserem Falle aus der für die Röhren bereits benötigten Anodenbatterie von 75 V geliefert werden kann. Die Röhren sind ferner nicht temperaturempfindlich, was bei Messungen in der Kälte oder bei Hitze arbeitsplätzen eine größere Zuverlässigkeit bedeutet.

Die relativ hohe Stromstärke, die für das Endstufenrelais benötigt wird, bedeutet eine erhebliche Belastung der Anodenbatterie. Da die Halteerregung für das Relais jedoch gegenüber der Anzugs erregung wesentlich geringer sein kann, wurde ein Relaisumschaltkontakt durch Zwischenschalten eines Widerstandes zur Verringerung des Anodenstromes ausgenutzt. Dadurch konnte der Gesamt-Anodenstromverbrauch des Verstärkers auf 2,5 mA verringert werden. Beim Aufbau der Schaltung wurden Rückkopplungen zwischen den Verstärkerstufen vor allem über den Innenwiderstand der gemeinsamen Anodenbatterie vermieden, um eine Eigenschwingung des Verstärkers auszuschließen.

An den Verstärker gelangt vom Meßwert aufnehmer im Rhythmus der Pulsschläge eine Wechselspannung von etwa 20 mV. Eine etwa 1500fache Verstärkung dieser Wechselspannung reicht dann aus, um das in der Anodenleitung der letzten Verstärkerstufe liegende Relais zum Ansprechen zu bringen. Durch eine negative Vorspannung der Endröhre wird dieselbe nach jedem Impuls wieder gesperrt und bewirkt hierdurch den Abfall des Relais. Das Relais tastet nun über eine 6 V-Batterie die Impulse auf elektromagnetische Zählwerke. Diese Impulse haben die in Abb. 4 (untere Kurve) gezeigte Form, bei der Impulsdauer und Impulspause etwa gleich groß sind, was für ein sicheres Ansprechen der Zählwerke Voraussetzung ist.

Anzeigeteil. Für den Versuchsbeobachter ist das Ablesen eines laufenden Zählwerkes schwierig, selbst wenn es für ihn gut sichtbar ist, zumal der genaue Ablesezeitpunkt an einer Stoppuhr beobachtet werden

muß. Deshalb sollten grundsätzlich alle Zählwerke für das Ablesen zum Stillstand gebracht werden. Das bedingt die Verwendung mindestens zweier Zählwerke, damit bei Stillstand des einen Zählwerkes die Pulszählung ohne Unterbrechung weiterlaufen kann.

Gerät mit automatischer Anzeige der minütlichen Pulszahl (Typ 1)

Es ist in der Medizin und in der Arbeitsphysiologie üblich, die Pulsfrequenz in Anzahl Pulse pro Minute anzugeben. Daher war es nahelegend, die Minute als Maß der automatischen Bezugszeit zu wählen. Bei größeren Integrationszeiten läßt sich oft der Verlauf der Pulsfrequenz



Abb. 6. Periodische Pulsfrequenzänderung durch sehr tiefes Atmen

nicht genügend genau erkennen, da die Differenzierung im Verhältnis zur Änderung der Kreislaufbelastung zu gering ist. Eine geringere Integrationszeit als 1 min läßt dagegen folgende Ungenauigkeiten zu:

1. Mögliche Störgrößen wirken sich bei kleinen Integrationszeiten stärker aus. Solche kurzzeitigen Störgrößen können z. B. hydrodynamisch bedingt sein (Blutstromänderung durch Beschleunigungen über $3 g^{22}$ oder durch Pressen) und sind vermeidbar.

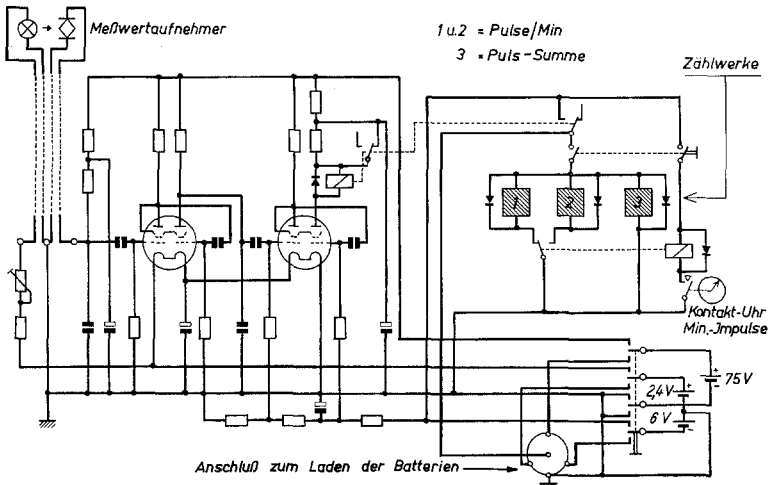


Abb. 7. Schaltschema des Gerätes mit automatischer Anzeige der minütlichen Pulszahl (Typ 1)

2. Tiefes Atmen ändert bei manchen Menschen die Pulsfrequenz im Rhythmus des Atmens (Abb. 6), so daß sehr kleine Integrationszeiten die nicht interessierenden Pulsfrequenzschwankungen erfassen würden. Dagegen wird bei einer Bezugszeit von 1 min diese Erscheinung in jedem Falle ausgeglichen.

3. Die für die Zählwerke erforderliche Impulsdauer von etwa 50% der Pulsperiode kann — in 50% der Fälle — bewirken, daß beim Umschalten der Zählwerke ein Puls sowohl von dem einen als auch von dem anderen Zählwerk erfaßt wird. Dieser Fehler ist um so größer, je geringer die Integrationszeit ist.

Die automatische Anzeige der minütlichen Pulszahl wurde mittels einer mechanischen Präzisionsuhr erreicht, die nach Ablauf jeder Minute kurzzeitig einen elektrischen Kontakt schließt, der zur Betätigung eines Stromstoßrelais benutzt wird. Das Stromstoßrelais dient als Weiche, indem es die Impulse 1 min lang auf das eine und in der nächsten Minute auf das andere Zählwerk leitet. Ein drittes Zählwerk wird als Summenzählwerk verwendet, da es sämtliche Pulsschläge während des Versuches erfaßt. Aus dem unter 3. Gesagten ist verständlich, daß die Werte des Summenzählwerkes nicht genau mit der Summe der beiden anderen Zählwerke übereinstimmen, da deren Summe durch die teilweise Doppelzählung der Pulse beim Umschalten etwas größer sein muß (Schalt-schema des Gerätes s. Abb. 7).

Gerät zur gleichzeitigen Puls- und Teilzeitzählung (Typ 2)

Wenn eine genauere Differenzierung des Verlaufes der Pulsfrequenz über längere Zeit nicht erforderlich ist, kann die minütliche Erfassung der Pulsfrequenz entfallen. Statt dessen kann es bei Arbeitsstudien manchmal zweckmäßig sein, die Pulszahl synchron mit den Teilzeiten der Arbeit zu bestimmen, so daß in diesem Falle die Teilzeit die Integrationszeit zur Bestimmung der Pulsfrequenz ist. Zur Erfüllung dieser Meßaufgabe wurde ein zweiter Gerätetyp entwickelt. Während beide Gerätetypen den gleichen obenbeschriebenen Verstärkerteil besitzen, ist der zweite Gerätetyp mit dem folgenden Anzeigeteil ausgerüstet: Von

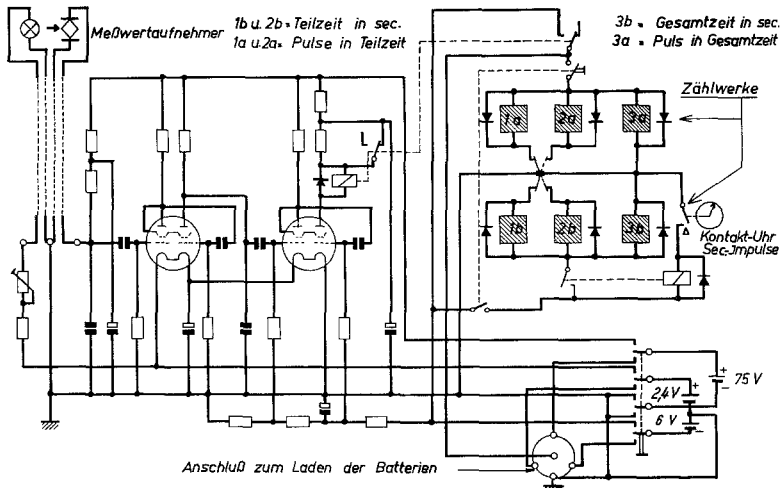


Abb. 8. Schaltschema des Gerätes zur gleichzeitigen Puls- und Teilzeitzählung (Typ 2)

den drei Pulszählwerken dient eines wieder der Erfassung der gesamten Pulssumme, läuft also von Anfang bis Ende des Versuches mit. Die beiden anderen Pulszählwerke laufen abwechselnd, werden jedoch nicht nach einer konstanten Zeit automatisch, sondern nach einer gewählten Zeit von Hand gesteuert.

Gleichzeitig erfaßt dieser Gerätetyp in drei weiteren Zählwerken die Zeit in Sekunden. Die Sekundenimpulse für die Zählwerke werden dabei von einer mechanischen Präzisionsuhr gegeben. Zur Schonung der Kontakte der Uhr werden die Impulse über ein empfindliches Relais an die Zählwerke weitergeleitet. Eines dieser Zählwerke dient — entsprechend dem Summenpulszählwerk — der Erfassung der Summe aller Zeitimpulse und gibt daher die gesamte Versuchsdauer an. Die beiden anderen Zeitzählwerke laufen abwechselnd und werden gleichzeitig mit den Pulszählwerken durch denselben Schalter von Hand gesteuert (Schaltschema des Gerätes s. Abb. 8).

Alle umschaltbaren Zählwerke lassen sich bei beiden Gerätetypen nach dem Ablesen durch einen Schaltknopf löschen, d. h. auf Null zurückstellen.

Batterieteil und Ladegerät. Für die gesamte Stromversorgung der beiden netzunabhängigen Gerätetypen werden verwendet:

- 1 Trockenbatterie (75 V; bei intermittierender Entnahme von 2,5 mA für etwa 150 Betriebsstunden; 300 g Gewicht) als Anodenbatterie und für Photowiderstand,
- 1 nichtgasender Nickel-Cadmium-Akkumulator (2,4 V, 3,5 Ah, 550 g Gewicht) für Röhrenheizung und Durchleuchtungslämpchen,
- 1 nichtgasender Nickel-Cadmium-Akkumulator (6 V, 0,9 Ah bzw. 1,3 Ah, 220 g bzw. 525 g Gewicht) für Zählwerke und Gittervorspannung.

Es wurden bewußt die nichtgasenden Akkumulatoren benutzt, da diese — im Gegensatz zu den Bleiakkumulatoren — neben der üblichen Aufladung keinerlei Wartung bedürfen und für die empfindliche Schaltung keine Gefährdung durch Korrosion bedeuten. Mit den Akkumulatoren ist eine 10stündige Meßdauer ohne Aufladung möglich. Für eine gleichzeitige Aufladung der beiden Akkumulatoren wurde ein besonderes Ladegerät gebaut, mit dessen Hilfe die Batterien nach 10stündigem Betrieb in etwa 14 Std wieder betriebsfertig gemacht werden können.

Über die Anwendung der beiden Gerätetypen

Beide Gerätetypen sind in pultförmigen Gehäusen untergebracht. Diese Gehäuse sind so ausgespart (Abb. 9), daß sie bequem vor dem Bauch der Beobachtungsperson getragen werden können. Zur Bequemlichkeit trägt ein Polsterkissen bei. Das Gerät wiegt komplett 5,9 kg* und wird mit zwei breiten Schultergurten so getragen, daß Hände und

* Es handelt sich um die ersten beiden Versuchsmodelle. In der Serienherstellung kann mit einem geringeren Gewicht gerechnet werden.

Arme der Beobachtungsperson frei beweglich bleiben. In dieser Trageweise können die Zählwerke und die Uhr gut beobachtet und abgelesen werden. In der Mitte des Schreibpultes lassen sich Protokollblätter bis zur Größe von DIN A 4 mit zwei Klemmen so einspannen, daß diese auch bei Wind unbehindert beschrieben werden können (Abb. 10). Beide Geräte haben einen Anschluß, von dem die Pulsschläge als Impulse mit

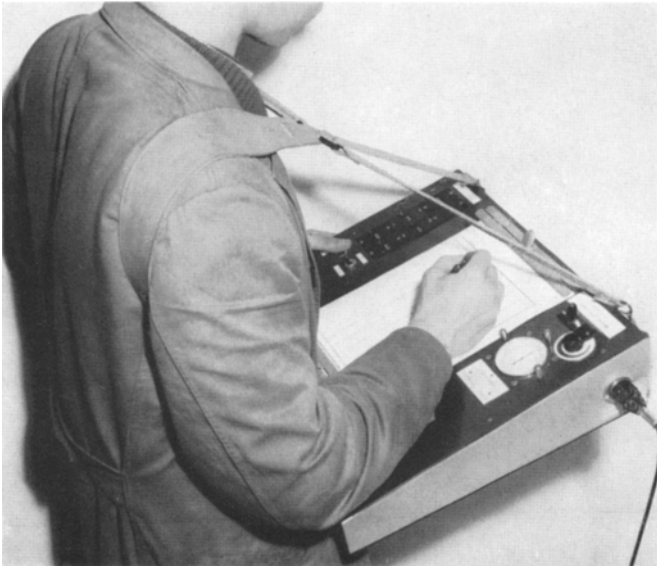


Abb. 9. Versuchsbeobachter mit dem kompletten elektronischen Puls- und Teilzeitzähler (Typ 2), der gleichzeitig als Schreibpult dient

6 V Spannung abgenommen werden können. Hier lassen sich optische oder akustische (z. B. Kopfhörer) Signalanlagen, Direktschreiber oder Druckzählwerke anschließen.

Das Gerät mit automatischer Anzeige der minütlichen Pulszahl (Typ 1) wird immer dann angebracht sein, wenn in erster Linie die laufende Kreislaufbelastung erfaßt werden soll. Eine Verwendung bietet sich einmal im klinischen Bereich und zum anderen bei Arbeitsbelastungsmessungen an. So könnten z. B. bei einer Operation die Pulsschläge des Patienten entweder von einer Beobachtungsperson minütlich abgelesen und protokolliert oder akustisch oder optisch angezeigt oder schließlich sogar fortlaufend von einem Direktschreiber aufgezeichnet werden.

Bei den weitaus meisten Arbeitsstudien, bei denen eine Messung der Kreislaufbelastung erfolgen soll, ist der Gerätetyp 1 vorteilhaft anzuwenden. Da die *minütliche* Pulsfrequenz abgelesen wird, vermittelt sie dem Beobachter sofort einen Aussagewert. Wegen der stets gleich-

bleibenden Integrationszeit sind die abgelesenen Werte direkt miteinander vergleichbar. Die Bedienung des Meßgerätes erlaubt der Beobachtungsperson durchaus eine gleichzeitige Zeitstudie. Denn nach einer Umschaltung des Zählwerkes bleibt die angezeigte Zahl 1 min lang stehen, so daß ein günstiger Zeitpunkt zum Protokollieren und Löschen des

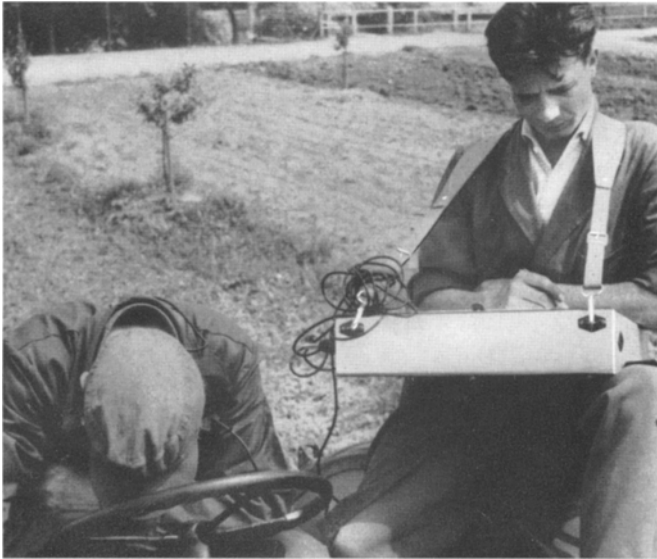


Abb. 10. Aufnahme des Ruhepulses in entspannter Sitzhaltung bei einem Schlepperfahrer

Zählwerkes gewählt werden kann. Aufmerksamkeitsbelastung und Risikoerlebnis, wie diese z. B. beim Autofahren auftreten, lassen sich mit dem Gerätetyp 1 gut erfassen. Zweckmäßigerweise trägt man zu der erfaßten Pulszahl der betreffenden Minute das auslösende Ereignis in das Protokoll ein.

In Sonderfällen kann es bei einer Arbeitszeit- und -pulsstudie wünschenswert sein, die gemessene Teilzeit eines Arbeitsabschnittes in genaue Übereinstimmung mit der Integrationszeit für die Pulszählung zu bringen. Für diese *Synchronisation von Arbeitszeit und Arbeitspuls* dient der Typ 2, das Gerät zur gleichzeitigen Puls- und Teilzeitzählung. Es sollte vor allem Verwendung finden, wenn es sich um Ganz- oder Halbtagsversuche oder überhaupt Arbeitsstudien bei länger gleichbleibenden Arbeitsabschnitten (Teilarbeiten) wie etwa Fließbandarbeit oder gleichmäßige Maschinenbedienung handelt. Es muß jedoch davon abgeraten werden, das Gerät bei Arbeiten einzusetzen, bei denen Teilarbeiten von sehr kurzer Dauer aufeinander folgen. Werden hierbei Zeiten und Pulse für kürzere Arbeitsabschnitte als 1 min ermittelt, so muß einmal mit den

oben genannten Ungenauigkeiten bei geringen Bezugszeiten gerechnet werden. Vor allem ist es nicht möglich, bei Teilarbeiten von so kurzer Zeitdauer die zu der Arbeit gehörende Kreislaufbelastung gleichzeitig zu erfassen, da diese sich phasenverschoben in einer veränderten Pulsfrequenz äußert.

Ein Beispiel mag das erläutern:

Es sollten Arbeitsstudien bei Fahrern von Selbstfahr-Mähdreschern durchgeführt werden. Hierfür wurden beide Gerätetypen eingesetzt, d. h. einmal die Arbeitspulse minütlich und zum anderen diese für alle Teilzeiten ermittelt. Bei dem Mähdreschversuch kamen vor allem folgende Teilarbeiten vor:

1. Mähdrusch bei Vorwärtsfahrt (Hauptzeit H),
2. Drehen an den Feldecken (Nebenzeit/Wendezeit NW),
3. Kurze Betriebsstörung, z. B. Beseitigung einer Verstopfung (Verlustzeit/Unfallzeit VU).

Während der Fahrer in der Hauptzeit, dem Mähdrusch, relativ gering beansprucht wurde, wird er bei den Neben- und Verlustzeiten durch häufigeres Schalten und große Lenkkräfte stärker belastet. Die Neben- und Verlustzeiten waren jedoch mit 25/100—50/100 min von sehr kurzer Dauer. Die hierbei mit dem Gerätetyp 2 ermittelte Kreislaufbelastung ließ daher kaum eine wesentliche Erhöhung der Pulsfrequenz erkennen. Vielmehr äußerte sich die beim Umdrehen oder bei Beseitigung von Betriebsstörungen erhöhte körperliche Belastung erst phasenverschoben wieder in der Hauptzeit. Mit dem Gerätetyp 2 wurde die Pulszahl dann für die gesamte Hauptzeit (etwa 4—5 min) gemessen, so daß bei der relativ langen Integrationszeit die aus der Neben- oder Verlustzeit mit übernommenen Pulse nur wenig in Erscheinung traten. Dagegen wurde bei Verwendung des Gerätetypen 1 in der Ableseminute während oder unmittelbar nach der Neben- oder Verlustzeit die stärkere Belastung des Fahrers während dieser Teilzeiten deutlich aufgezeigt.

Es kann Bedingungen geben, unter denen die Kabelverbindung zwischen Versuchs- und Beobachtungsperson störend wirkt. Das kann z. B. bei Hitze Arbeitsplätzen, bei laufenden Arbeitsplatzänderungen zwischen anderen Personen, bei Stallarbeiten zwischen Vieh und bei gefährlichen Arbeitsplätzen der Fall sein. Für diese Fälle besteht die Möglichkeit, die Pulse drahtlos zu übermitteln²⁷. Zu diesem Zweck müßte allerdings eine Trennung zwischen Verstärker- und Registrierteil erfolgen. Die Versuchsperson hätte dann neben dem Meßwertaufnehmer noch den Verstärker und einen kleinen transistorisierten Sender, wie er heute für Modellsteuerungen gebaut wird, zu tragen. Der Registrierteil müßte mit einem Empfänger gekoppelt werden. Die *Fernübertragung* hätte dann zusätzlich noch den Vorteil, daß auf der Empfängerseite wegen der Möglichkeit des Netzanschlusses automatisch arbeitende Druckzählwerke verwendet werden könnten. Es darf jedoch nicht übersehen werden, daß im allgemeinen jede Arbeitsstudie eine genaue Beobachtung der Versuchsperson einschließt und deshalb der Beobachter sowieso in der Nähe des Arbeitenden sein muß.

Zusammenfassung

Es wurde die Entwicklung von zwei tragbaren, netzunabhängigen Gerätetypen zur fortlaufenden Registrierung der Pulsfrequenz beschrieben. Dabei wurde das von MATTHES und MÜLLER angewandte Verfahren der photoelektrischen Pulsabnahme am Ohrkläppchen aus im einzelnen erläuterten Gründen übernommen, jedoch neue Konstruktionen gewählt. Von der Versuchsperson wird nur noch der Ohrklipp getragen, während der gesamte Meßverstärker, Anzeige- und Batterieteil vom Beobachter getragen werden und gleichzeitig als Schreibpult dienen. Der Meßwert-aufnehmer arbeitet mit einem stark lichtempfindlichen Cadmium-Selenid-Photowiderstand. Bei dem temperaturunempfindlichen Röhrenverstärker sind Eigenschwingungen ausgeschlossen. Die Ablesung der Pulse erfolgt bei Stillstand der in das Schreibpult eingebauten Zählwerke.

Der eine Bautyp bietet über zwei Wechselzähler eine automatische Anzeige der minütlichen Pulszahl, so daß der Verlauf der Pulsfrequenz leicht erkannt werden kann. Ein dritter Zähler dient als Pulssummenzählwerk für die gesamte Versuchsdauer. Bei dem zweiten Gerätetyp werden Pulse und Teilzeiten synchron erfaßt, so daß ohne zusätzliche Stoppuhr gleichzeitig eine Zeitstudie durchgeführt werden kann. Voraussetzung ist allerdings, daß keine Teilarbeiten von kürzerer Dauer als 1 min vorkommen. Die beiden Geräte wurden in zahlreichen arbeitsphysiologischen Untersuchungen eingesetzt und erprobt. Auch im klinischen Bereich bietet sich ihre Verwendung an.

Literatur

- ¹ BROUHA, L. A.: Annual Management Engineering Conference New York 1956.
- ² DAVIS, W. L., u. H. R. WEED: Grundlagen der industriellen Elektrotechnik. Berliner Union Stuttgart 177 (1955).
- ³ DUPUIS, H.: Untersuchungen an mechanischen Lenkungen und Hilfskraftlenkungen bei einem 35 PS-Schlepper. Landtechn. Forsch. **11**, 1—9 (1961).
- ⁴ — u. W. GLASOW: Arbeitsschwere bei der Hangarbeit im Weinbau. Dtsch. landtechn. Z. **10**, 156—158 (1959).
- ⁵ — R. PREUSCHEN u. B. SCHULTE: Zweckmäßige Gestaltung des Schlepperführerstandes. Schriftenreihe Landarbeit und Technik **20**, 16 (1955).
- ⁶ GLASOW, W., u. H. DUPUIS: Physiologischer Aufwand bei Hangarbeiten. Landtechn. Forsch. **9**, 17—20 (1959).
- ⁷ — — Physiologischer Aufwand bei Einachsschleppern. Landtechn. Forsch. **9**, 120—123 (1959).
- ⁸ — — Wird der Mähdescherfahrer überfordert? Mittlg. DLG **75**, 1451—1454 (1960).
- ⁹ — u. E. ZIMMER-VORHAUS: Physiologischer Aufwand und Schlepperbedienung: Landtechn. Forsch. **6**, 43—46 (1956).
- ¹⁰ HAMMER, W., P. CZEPLUCH, W. HUTTER u. W. RÜPRICH: Messungen der Pulsfrequenz bei Arbeiten in Anbinde- und Laufställen. Unveröffentlichtes Manuskript 1961.

- ¹¹ HOLLDAK, V.: Graphische Untersuchungsmethoden. Nauheimer Fortbildungslehrgänge Bd. 22, S. 81—85, Darmstadt: Steinkopff 1927.
- ¹² KAMINSKY, G.: Tagespulscurven im Fichtenhauungsbetrieb am Steilhang und in der Ebene. Zbl. Arbeitswiss. **13**, 81—82 (1959).
- ¹³ LUFF, K., u. G. BOHNE: Ärztl. Wschr. **1954**, 42.
- ¹⁴ MATTHES, K.: Klin. Wschr. **1941**, 295.
- ¹⁵ MÜLLER, E. A.: Ein Leistungspulsindex als Maß der Leistungsfähigkeit. Arbeitsphysiologie **14**, 271—284 (1950).
- ¹⁶ — Wirkungsgrad und Leistungsfähigkeit bei Arbeit mit den Wadenmuskeln. Int. Z. angew. Physiol. **16**, 25—34 (1955).
- ¹⁷ — u. W. HIMMELMANN: Geräte zur kontinuierlichen photoelektrischen Pulszählung. Int. Z. angew. Physiol. **16**, 400—408 (1957).
- ¹⁸ — u. J. J. REEH: Die fortlaufende Registrierung der Pulsfrequenz bei beruflicher Arbeit. Arbeitsphysiologie **14**, 137—146 (1950).
- ¹⁹ NICOLAI, W.: Zur Frage der elektronischen Messungen und Registrierung physiologischer Vorgänge bei körperlicher Belastung von Versuchspersonen. Elektronik **9**, 5—11 (1960).
- ²⁰ Purdue Farm Cardiac Seminar Sept. 10 (1958).
- ²¹ RADTKE, R.: Untersuchungen an Arbeitskleidung für die Landarbeit. Dissertation Hohenheim 1961.
- ²² REDEFARN, I. W. T.: J. Physiol. (Lond.) **7**, 109 (1954).
- ²³ REITZIG, K.: Kurzer Lehrgang der Elektrokardiographie, Teil VII: Phonokardiographie. Röntgen- u. Lab.-Prax. **6**, 10—17 (1953).
- ²⁴ RITZMANN, I.: Kurzer Lehrgang der Elektrokardiographie, Teil IV: Der Venen- und Arterienpuls. Röntgen- u. Lab.-Prax. **5**, 310 (1952).
- ²⁵ ROHMERT, W.: Statische Haltearbeit des Menschen. Sonderheft der REFA-Nachrichten 1960.
- ²⁶ RÜPRICH, W.: Über den Einfluß des Stallklimas und der Stallarbeiten auf den Menschen. Vortrag auf dem 1. Internationalen Kongreß für Landwirtschaftsmedizin, Tour (Frankreich) Juli 1961.
- ²⁷ SCHOLL, H.: Mikrosender und Empfangsgerät zur fortlaufenden Pulszählung. Int. Z. angew. Physiol. **17**, 485—489 (1959).
- ²⁸ SINKWITZ, P. K.: Scherengriffe, ein Beitrag zur Anpassung von zweiarmigen Griffen an die Arbeitshand, dargestellt an Handgriffen von Reb- und Gartenscheren. Dissertation Hohenheim 1961.
- ²⁹ WENZEL, H. G.: Messung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Hitzearbeit. Zbl. Arbeitswiss. **15**, 17—21 (1961).

Ing. HANS ADOLF BROTCHEr und Dr. HEINRICH DUPUIS,
Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach