ENET
9619490-1

PSEL PROJEKT- UND STUDIENFONDS DER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

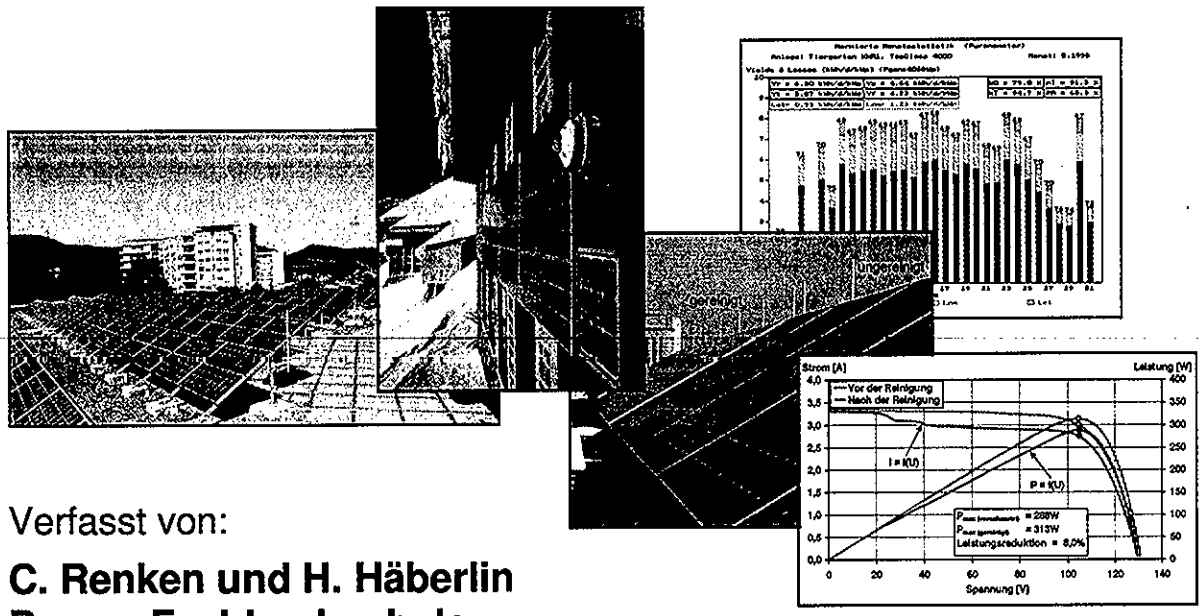
Bundesamt für Energie
Office fédéral de l'énergie
Ufficio federale dell'energia
Swiss Federal Office of Energy

IBB
INDUSTRIELLE BETRIEBE BURGDORF

Forschungsprogramm Photovoltaik

Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen

Schlussbericht



Verfasst von:

C. Renken und H. Häberlin
Berner Fachhochschule
Hochschule für Technik und Architektur (HTA) Burgdorf
Labor für Photovoltaik
Jlcoweg 1
3400 Burgdorf

Ausgearbeitet im Auftrag folgender Institutionen und Firmen:

Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL)
Bundesamt für Energie (BFE)
Industrielle Betriebe Burgdorf (IBB)

November 1999

Schlussbericht:
PSEL-Projekt Nr. 113
BFE-Projekt Nr. DIS 19490 / 59074

Zusammenfassung

Die Analyse des Langzeitverhaltens von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen dient zur Erkennung des Alterungsverhaltens der verschiedenen PV-Komponenten in der praktischen Anwendung und weiteren Langzeitproblemen, die beim Betrieb solcher Anlagen auftreten können.

Die HTA Burgdorf führt seit mehreren Jahren an einer statistisch relevanten Anzahl von PV-Anlagen (bis zu 36 Anlagen) Langzeitmessungen durch. Der Grossteil der Anlagen befindet sich in Burgdorf, zwei im Berner Oberland und eine in Liestal. Bei jeder dieser Anlagen wird die effektive Energieproduktion und die eingestrahlte Sonnenenergie auf den Solargenerator erfasst. Von diesen Anlagen sind 7 mit einer aufwendigen Messtechnik ausgestattet, um ein sehr genaues Monitoring sämtlicher relevanter Parameter durchführen zu können. Die Auswertung der erfassten Messdaten und die Durchführung diverser anderer Messungen (z.B. I-U-Kennlinienmessungen, Netzqualitätsmessungen) an diesen Anlagen haben in den letzten Jahren wichtige Informationen über das Langzeitverhalten geliefert, die in diesem Schlussbericht ausführlich beschrieben werden:

Die Zuverlässigkeit der PV-Anlagen konnte in den letzten Jahren deutlich gesteigert werden, besonders auf Grund der immer ausgereifteren Wechselrichtertechnologien. Im Vergleich zu den ersten Betriebsjahren sind die Wechselrichter heute um ca. Faktor 10 zuverlässiger.

Ein immer häufiger auftretendes Problem ist jedoch die allmähliche Energieertragsreduktion bei PV-Anlagen durch Entwicklung einer permanenten Verschmutzung auf dem Solargenerator. Verschiedene Messungen ergaben, dass die Reduktion der auf STC umgerechneten Leistung infolge von Verschmutzung bis zu 10% betragen kann.

Vermehrt treten Delaminationen und andere Veränderungen an älteren Solarmodulen auf. Auch bei den übrigen DC-seitigen Komponenten (z.B. Feldanschlusskasten, DC-Verkabelung) wurden alterungsbedingte Mängel festgestellt, die das Betriebsverhalten von PV-Anlagen deutlich verschlechtern können.

Durch die Langzeitanalyse des Betriebsverhaltens konnten Optimierungsvorschläge zur Energieertragssteigerung bei mehreren Anlagen gemacht und in die Praxis umgesetzt werden (z.B. Austausch von zu klein gewählten oder unzuverlässigen Wechselrichtern, Austausch defekter Sicherungsautomaten).

Die mit Abstand höchsten Energieerträge wurden von der hochalpinen PV-Anlage Jungfraujoch erzielt. In der bisherigen Rekordperiode, in der Zeit von März 1997 bis Februar 1998, erreichte die jährliche Energieproduktion bezogen auf die effektive Generatorleistung von 1,13 kWp einen Wert von 1541 kWh/kWp. Die Jahres-Performanz PR betrug in diesen 12 Monaten über 85% und der Winterenergieanteil über 46%.

Die mittlere Energieproduktion der Burgdorfer Anlagen lag in den letzten Jahren immer deutlich über dem schweizerischen Mittelwert. Im bisherigen Rekordjahr 1997 betrug die mittlere Energieproduktion 1011kWh/kWp. Die beste Anlage erreichte in dieser Zeit 1152kWh/kWp.

Die verschiedenen Anlagenkonzepte wurden anhand der jährlich ermittelten effektiven Energieerträge verglichen. Zudem wurden die Energieertragsprofile von einer Auswahl der überwachten PV-Anlagen diskutiert.

Die durch das PSEL-Projekt „Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen" gewonnenen Erfahrungen wurden in diversen Publikationen an das interessierte Fachpublikum weitergegeben.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 2

2 Überwachte PV-Anlagen im PSEL-Projekt 3

3 Zuverlässigkeit der PV-Anlagen-Komponenten 4

3.1 Wechselrichter 4

3.2 Solarmodule 6

3.2.1 Allmähliche Ertragsreduktion durch Entwicklung einer permanenten Verschmutzung 6

3.2.2 Untersuchung der permanenten Verschmutzung an verschiedenen PV-Anlagen 9

3.2.3 Delaminationen von Solarmodulen 13

3.3 Untersuchung weiterer DC-seitiger Komponenten von PV-Anlagen 14

3.3.1 DC-Verkabelung 14

3.3.2 Strangsicherungen 14

3.3.3 Feldanschlusskasten 15

3.3.4 Montagestruktur 16

3.3.5 Regelmässige Installationskontrollen auf der DC-Seite 16

4 Betriebsverhalten der PV-Anlagen mit Feinmessung 17

4.1 Gfeller, Burgdorf 18

4.2 Birg, Mürren 20

4.3 Jungfraujoch 22

4.4 Schlossmatt 8, Burgdorf 27

4.5 Elektra Baselland (EBL), Liestal 29

4.6 IBB Gsteighof, Burgdorf 31

4.7 Testanlage HTA Burgdorf 32

5 Energieertrag und Ertragsprofile netzgekoppelter PV-Anlagen 33

5.1 Energieertrag der Burgdorfer Anlagen 33

5.2 Energieertragsprofile einiger PV-Anlagen in der Schweiz 36

6 Strahlungsmessung 39

7 Schlussbemerkung 39

8 Verdankungen 40

9 Publikationen und Literatur 40

1 Einleitung

Bei vielen Photovoltaikanlagen werden in der ersten Zeit (meist 1-2 Jahre) Messungen der Einstrahlung und des Energieertrags durchgeführt. Dadurch können die meist anfänglich auftretenden „Kinderkrankheiten" (z.B. Wechselrichterprobleme), ihre Behebung und der Übergang in den Normalbetrieb dokumentiert werden.

Die HTA Burgdorf (vormals ISB) führt seit 1992 Dauermessungen an netzgekoppelten PV-Anlagen durch. Im Rahmen des **PSEL-Projekts** wurde **das Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen** bezüglich Degradationen und Alterserscheinungen weiter untersucht. Die von der HTA Burgdorf mit Messapparaturen ausgerüsteten Anlagen befinden sich in Burgdorf (33 überwachte Anlagen, davon mehrere Anlagen in Schulhäusern am gleichen Netzpunkt) und an weiteren besonderen Standorten im Kanton Bern (2 Anlagen) und Baselland (1 Anlage). Die durchgeführten Untersuchungen sind auch für die Elektizitätswirtschaft zur Abschätzung des Potentials der Photovoltaik von Interesse.

Insgesamt führt die HTA Burgdorf ***Fein- und Grobmessungen an 36 netzgekoppelten PV-Anlagen*** mit Modulen von 4 verschiedenen Herstellern (Siemens, Kyocera, Solarex und BP) und sämtlichen Wechselrichtertypen, die in der Schweiz eine gewisse Bedeutung haben (ältere und neuere Solcon-, TopClass,- Ecopower,- SolarMax-, PVWR-Geräte) durch. Die detaillierte Datenauswertung der Anlagen (normierte Jahresstatistiken aller Anlagen und normierte Monatsstatistiken der Anlagen mit Fein-Messtechnik) befindet sich im Anhang 1+2 des Schlussberichts.
Im Rahmen des PSEL-Projekts wurden zwei PV-Anlagen in das Feinmessprogramm aufgenommen. Die entsprechende Messtechnik wurde im Januar 1997 bei der mit neuster Technologie ausgestatteten PV-Anlage Schlossmatt 8 (trafoloser Wechselrichter SolarMaxS) und im Dezember 1996 bei der PV-Anlage EBL Liestal in Betrieb genommen. Seither werden ***an insgesamt 7 Anlagen*** **Feinmessungen** durchgeführt. Bei 3 der 7 Anlagen wurde die notwendige Messtechnik im Rahmen des Vorgängerprojekts [16] installiert und auch bei der PV-Testanlage der HTA Burgdorf (mit diversen Wechselrichtern) und der Anlage der IBB werden die Daten erfasst und ausgewertet.

Mit der Feinmesstechnik werden genaue Langzeitmessungen von Einstrahlung (Pyranometer) und Energieertrag durchgeführt. Die zuverlässige und langzeitig stabile Kalibrierung von Silizium-Referenzzellen zur Strahlungsmessung ist jedoch ein Problem.

Bei den Anlagen Jungfraujoch, Gfeller und EBL Liestal wurden aufgrund der Feinmessungen gezielte Massnahmen zur Ertragssteigerung vorgenommen (Austausch von zu klein gewählten oder unzuverlässigen Wechselrichtern, Austausch defekter Strangdioden und -sicherungen, Überbrückung von Strangdioden, Beseitigung schattenwerfender Strukturen).

Ein mittlerweile öfters auftretendes Problem ist die allmähliche Ertragsreduktion durch Entwicklung einer permanenten Verschmutzung auf dem Solargenerator und ab und zu wurden Delaminationen an PV-Modulen beobachtet.

Die Langzeitzuverlässigkeit der PV-Wechselrichter wurde deutlich gesteigert. Der Betrieb mehrerer Wechselrichter am gleichen Netzpunkt ist mit neueren Geräten unproblematisch.

Die verfeinerte normierte Darstellung von Leistung und Energieertrag von PV-Anlagen hat sich im Langzeittest bestens bewährt. Die Aufteilung der Feldverluste in temperaturbedingte und nicht temperaturbedingte Feldverluste ermöglicht eine noch detailliertere Analyse.

Auf die automatische Erzeugung der IEA-Energieertagsdaten wurde bisher verzichtet, da aufgrund eines anstehenden Betriebssystemwechsels eine umfangreiche Anpassung der Messdatenauswertungs-Software der HTA Burgdorf in nächster Zeit unumgänglich sein wird.

Durch das PSEL-Projekt „Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen" wurde der Weiterausbau der vorhandenen Datenbasis der überwachten PV-Anlagen gesichert. Das in den letzten Jahren erworbene und auch international anerkannte Know-How der HTA Burgdorf auf dem Gebiet der PV-Systemtechnik konnte somit weiter vertieft werden. An internationalen Fachtagungen und durch Publikationen wurden die gewonnenen Erkenntnisse einem breiten Publikum zugänglich gemacht.

2 Überwachte PV-Anlagen im PSEL-Projekt

Die Grundlage für die Analyse des Langzeitverhaltens von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen sind die Durchführung von Dauermessungen an einer ausreichenden Anzahl von Anlagen. Die HTA Burgdorf führt z.Z. an **36 netzgekoppelten PV-Anlagen mit bis zu 44 Wechselrichtern** Dauermessungen durch. Die ersten Anlagen wurden im Jahre 1992 und die bisher letzten im Jahre 1997 in das Messprogramm aufgenommen. Die Anlagen sind auf Schräg-, Flachdächern und an Fassaden realisiert, dabei wurden verschiedenste marktgängige Technologien und Komponenten eingesetzt. Die Anlagen befinden sich an verschiedenen Orten der Schweiz (siehe Tabelle 2-1).
Sieben Anlagen sind mit einer aufwendigen „Fein-Messtechnik" ausgerüstet. Hierbei werden Sonneneinstrahlung, Modul- und Umgebungstemperatur, DC-Spannung, DC-Strom und eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung in kurzen Messintervallen (2s-Messwerte werden zu 5-Minuten-Werte gemittelt) genau erfasst. Alle übrigen Anlagen in Burgdorf sind mit einer „Grob-Messtechnik" ausgestattet. Hierbei wird die produzierte Energie durch die Impulse des AC-seitigen Stromzählers mit Hilfe eines opto-elektronischen Sensors erfasst und im Datenerfassungsgerät gespeichert (15-Minuten-Mittelwerte). Die Referenz-Strahlungsmessung für diese Anlagen wird mit der zentralen Meteomessstelle an der HTA Burgdorf durchgeführt.

Anlage	Ort	Höhe m.ü.M.	Solargenerator						Wechselrichter	*	Start der Messung
			Module	γ [°]	β [°]	P_{Gen} [kWp]	A_{Gen} [m²]	Montage			
Gfeller	Burgdorf	540	Siemens M55	10 E	28	3,18	25,6	Dach	TC 4000/6 III	F	24.06.92
Birg	Schilthorn	2677	Siemens M55	5 W	90	4,13	33,3	Fassade	Solcon 3400HE	F	21.12.92
Jungfraujoch	HFS	3454	Siemens M75	12/27 W	90	1,13	9,56	Fassade	TC 2500/4 III	F+G	27.10.93
Schlossmatt 8	Burgdorf	530	Siemens M55	7 E	30	3,18	25,6	Dach	Solarmax S	F+G	09.01.96
EBL/Liestal	Liestal	330	Kyocera H51	0 (S)	30	18,56	159,1	Flachdach	Solarmax 20	F	13.12.96
IBB/Gsteighof	Burgdorf	540	Solarex MSX120	20 E	30	16,32	151,1	Flachdach	Solarmax 15	F	13.07.95
HTA Tiergarten	Burgdorf	530	Siemens M55HO	29 W	30	59,66	450,6	Sheddach	Diverse	F+G	12.01.94
Meteo HTA	Burgdorf	560	-	0 (S)	0	-	-	Mast	-	F	25.10.91
Firma 2	Burgdorf	530	Siemens M55	20 W	60	3,18	25,6	Fassade	Solcon 3300	G	01.07.92
Firma 3	Burgdorf	530	Siemens M55	5 W	35	3,93	32,9	Flachdach	TopClass 3000	G	15.07.93
Firma 4	Burgdorf	540	Kyocera K51	0 (S)	30	3,06	26,3	Flachdach	Solcon 3400HE	G	09.01.96
Firma 5	Burgdorf	530	Siemens M55	0 (S)	30	3,30	25,6	Flachdach	TC 4000/6 III	G	06.02.97
GIBBU	Burgdorf	540	Solarex MSX64	0 (S)	30/60	3,07	26,7	Flachdach	Solcon 3400HE	G	01.01.96
Gsteighof 1	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	08.08.96
Gsteighof 2	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	08.08.96
Gsteighof 3	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	08.08.96
Gsteighof 4	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	08.08.96
Gsteighof 5	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	08.08.96
Gsteighof 6	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	08.08.96
Gymnasium	Burgdorf	560	Kyocera K51	0 (S)	30	3,06	26,3	Flachdach	TC 2500/6 II	G	12.08.94
Lindenfeld 1	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	09.01.96
Lindenfeld 2	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	09.01.96
Lindenfeld 3	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	09.01.96
Lindenfeld 4	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	09.01.96
Lindenfeld 5	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	09.01.96
Lindenfeld 6	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	09.01.96
Privathaus 2	Burgdorf	570	Siemens M55	45 W	45	3,18	25,6	Dach	Solcon 3300	G	10.01.96
Privathaus 3	Burgdorf	540	Solarex MSX60	30 E	38	1,44	13,4	Dachkante	PVWR 1500	G	01.08.92
Schlossmatt 1	Burgdorf	540	Siemens M55	7 E	30	3,18	25,6	Dach	TC 4000/6 II	G	01.07.94
Schlossmatt 2	Burgdorf	540	Siemens M55	7 E	30	3,18	25,6	Dach	TC 4000/6 II	G	01.07.94
Schlossmatt 3	Burgdorf	540	Kyocera G102	7 E	30	3,06	25,6	Dach	TC 2500/6 II	G	01.07.94
Schlossmatt 4	Burgdorf	540	Kyocera G102	7 E	30	3,06	25,6	Dach	Solcon 3400HE	G	01.07.94
Schlossmatt 5	Burgdorf	540	Siemens M55	7 E	30	3,18	25,6	Dach	TC 4000/6 II	G	09.01.96
Schlossmatt 6	Burgdorf	540	Siemens M55	7 E	30	3,18	25,6	Dach	Solarmax S	G	04.04.95
Schlossmatt 7	Burgdorf	540	Siemens M55	7 E	30	3,18	25,6	Dach	Solarmax S	G	07.04.95
Schlossmatt 9	Burgdorf	540	Kyocera G108	7 E	30	3,24	25,6	Dach	Solarmax S	G	09.01.96
Schlossmatt 10	Burgdorf	540	BP 585	7 E	30	4,08	30,2	Dach	TC 4000/6 III	G	01.05.97

Tabelle 2-1: Überwachte Anlagen (* Art der Messung: F = Feinmessung, G = Grobmessung)

3 Zuverlässigkeit der PV-Anlagen-Komponenten

3.1 Wechselrichter

Die Zuverlässigkeit der von der HTA Burgdorf überwachten Wechselrichter von netzgekoppelten PV-Anlagen konnte erfreulicherweise in den letzten Betriebsjahren noch weiter gesteigert werden.

In den Jahren 1988 bis 1991 wurden von der HTA Burgdorf erste netzgekoppelte Wechselrichter messtechnisch überwacht. Seit 1992 werden im Rahmen langfristiger Monitoring-Projekte eine bis 1997 steigende Anzahl von Geräten untersucht. Im Jahre 1998 waren insgesamt 44 Wechselrichter unterschiedlicher Grösse (Nennleistungsbereich von 200W bis 20kW) von verschiedenen Herstellern im Test. Durch die hohe Anzahl konnten detaillierte Zuverlässigkeitsdaten gewonnen werden. Im Hinblick auf ein eventuelles Nachfolgeprojekt werden die Messungen zunächst im vollen Umfang fortgeführt.

In den Jahren 1988 bis 1991 traten bei den ersten über längere Zeit getesteten Wechselrichtern (SI-3000 und Solcon 3000) im Mittel etwa drei Wechselrichterausfälle mit Hardwaredefekten pro Betriebsjahr auf.
Von 1992 bis 1994 war die Ausfallrate bedingt durch die mangelnde Qualität vieler Wechselrichter und teilweise aufgrund der schlechten Netzverhältnisse immer noch deutlich zu hoch. Im Jahre 1992 betrug die Anzahl der Wechselrichter-Defekte pro Betriebsjahr 0,71 und 1994 sogar 0,95.
Aufgrund der zunehmenden Erfahrung der Hersteller wurden zwischen 1995 und 1997 viele neuere und ausgereiftere Wechselrichter in Betrieb genommen. Bereits 1995 sank die Anzahl der jährlich beobachteten Wechselrichter-Defekte deutlich ab. Im Jahre 1997 wurden bei im Mittel 43,6 überwachten Wechselrichtern nur 4 Defekte festgestellt, also 0,09 Defekte pro Wechselrichter-Betriebsjahr. Der Wiederanstieg der Wechselrichterausfälle im Jahre 1998 ist im Wesentlichen auf zwei erneute Ausfälle des schon seit Jahren sehr unzuverlässigen EcoPower20 an der HTA Burgdorf zurückzuführen, der Mitte Dezember 1998 durch einen SolarMax30DC+ ersetzt wurde. Die Zuverlässigkeit der Wechselrichter im Betriebsjahr 1998 ist immer noch mit der von normalen Haushalts-Grossgeräten vergleichbar (Tabelle 3-1 und Bild 3-1).

Wechselrichter	Bau-jahr	Betriebs-monate	Anzahl Hardwaredefekte								Hardware-Defekte pro WR-Betriebsjahr							
			92	93	94	95	96	97	98	Total	92	93	94	95	96	97	98	Total
PVWR 1500	1992	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PVWR 1800	1992	201	0	3	5	4	0			12	0,0	0,8	1,3	1,0	0,0			0,7
Solcon 3300	1991	115	0	0	0	0	1	0	0	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,1
Solcon 3400HE	1992	258	1	1	4	0	1	0	0	7	33,2	1,0	1,6	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3
Solarmax S	1995	579				0	5	0	4	9				0,0	0,4	0,0	0,3	0,2
TopClass 1800	1993	62		0	0	0	0	0	0	0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TopClass 2500/4 Grid III	1996	30					0	0	0	0					0,0	0,0	0,0	0,0
TopClass 2500/6 Grid II	1994	110			0	0	1	1	0	2			0,0	0,0	0,5	0,5	0,0	0,2
TopClass 2500/6 Grid III	1996	28					0	0	0	0					0,0	0,0	0,0	0,0
TopClass 3000	1992	124	1	2	1	1	1	0	0	6	1,9	1,3	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0	0,6
TopClass 4000/6 Grid II	1994	190			0	2	0	0	1	3			0,0	0,5	0,0	0,0	0,3	0,2
TopClass 4000/6 Grid III	1996	151					1	0	0	1					0,7	0,0	0,0	0,1
SolarMax15	1995	43				0	0	0	0	0				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SolarMax20	1994	84			1	0	0	0	0	1			1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
SolarMaxDC30+	1998	0,4							0	0							0,0	0,0
EcoPower20	1994	57			5	0	3	2	2	12			5,6	0,0	3,0	2,0	2,3	2,5
EdiSun 200	1996	26					0	1	0	1					0,0	1,0	0,0	0,5
Total		2136	2	6	16	7	13	4	7	55	0,71	0,69	0,95	0,29	0,34	0,09	0,16	0,31

Tabelle 3-1: Ausfallstatistik der Wechselrichter aller von der HTA Burgdorf untersuchten Anlagen (Stand Ende1998).

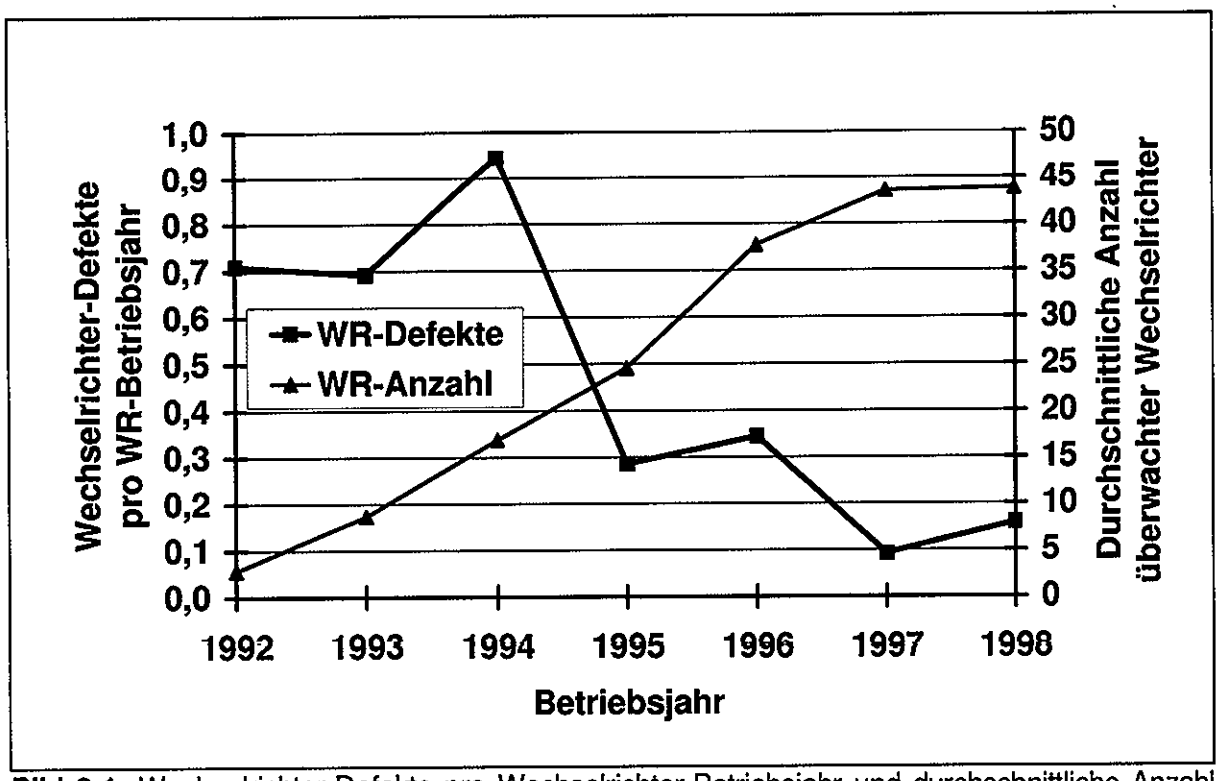


Bild 3-1: Wechselrichter-Defekte pro Wechselrichter-Betriebsjahr und durchschnittliche Anzahl überwachter Wechselrichter im PSEL-Projekt „Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen" der HTA Burgdorf. Im Vergleich zu den ersten Betriebsjahren ist die heutige Zuverlässigkeit der Wechselrichter um ca. Faktor 10 höher.

In den Jahren **1996, 1997** und **1998** ging bei den untersuchten Anlagen **nur noch zwischen 0,3% und 1% der produzierten Energie infolge von Wechselrichterausfällen verloren.** Andere Verlustquellen wie die sich entwickelnde permanente Verschmutzung und Delaminationen sind im Vergleich dazu inzwischen wesentlich bedeutsamer (siehe Kapitel 3.2).

Auch in anderen Beiträgen aus der Schweiz [18], [19], [20], [21] und aus Deutschland [28] wurde über vergleichbare Erfahrungen bezüglich der Wechselrichter-Zuverlässigkeit von netzgekoppelten PV-Anlagen in den letzten Jahren berichtet.

Im Jahre 1999 wurden bis Ende Mai zwei Wechselrichterausfälle bei Burgdorfer Anlagen festgestellt. Ein SolarMaxS wurde durch einen neuen ersetzt, da bei diesem Gerät bereits der 4. Defekt innerhalb von 32 Betriebsmonaten aufgetreten war. Ein weiteres Gerät (TopClass 4000/6 Grid III) musste aufgrund eines Defekts der AC-seitigen Endstufe repariert werden.
Ob die Wechselrichter-Defekte nun wieder ansteigen, aufgrund der mittlerweile hohen Betriebsdauer von einigen Geräten, sollte weiter beobachtet werden. Durch die starke Beanspruchung einzelner Komponenten in den Wechselrichtern wird davon ausgegangen, dass diese nicht dieselbe Lebensdauer erreichen, wie die übrigen Komponenten einer PV-Anlage.

3.2 Solarmodule

3.2.1 Allmähliche Ertragsreduktion durch Entwicklung einer permanenten Verschmutzung

Die HTA Burgdorf hat im Rahmen des PSEL-Projekts festgestellt, dass die Verschmutzung des Solargenerators durch Umwelteinflüsse und die damit verursachte Reduktion der Solargeneratorleistung ein gewisses Problem bei Photovoltaikanlagen darstellt. Die durch Reinigung weitgehend reversible Verschmutzung variiert jedoch sehr stark in Abhängigkeit des Anlagenstandorts, der Ausrichtung des Solargenerators und des Modulkonzepts.

Seit Frühling 1994 betreibt das Photovoltaiklabor der HTA Burgdorf ein Testzentrum für Photovoltaikanlagen mit einem Solargenerator (60kWp, Anstellwinkel 30°) auf dem Dach des Neubaus der Abteilung Elektrotechnik (Bild 3-2). Die Anlage liegt in unmittelbarer Nähe der Eisenbahn-Hauptstrecke Bern-Zürich. Im Laufe der Zeit wurde die Entwicklung eines **permanenten Verschmutzungsstreifens** am unteren Rand der verwendeten (gerahmten) Solarmodule beobachtet, welcher eine allmähliche Reduktion des Energieertrags der Anlage bewirkte (Bild 3-3).

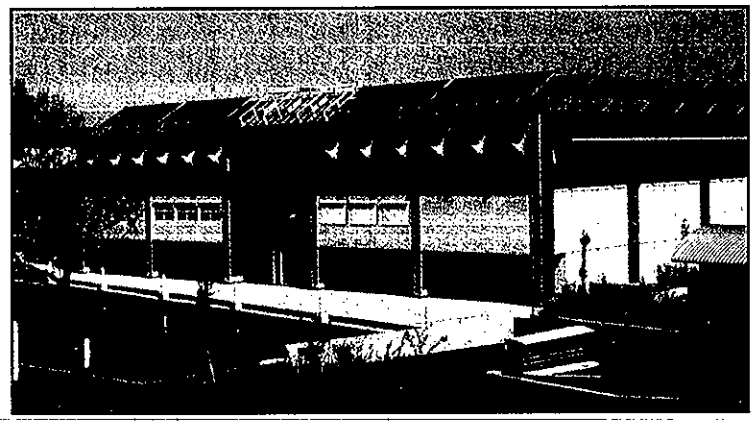


Bild 3-2:
Ansicht auf das Gebäude der Abteilung Elektrotechnik der HTA Burgdorf mit dem Solargenerator (60kWp) der PV-Testanlage. Die Eisenbahn-Hauptstrecke Bern-Zürich führt etwa 10m hinter dem Aufnahmestandort durch.

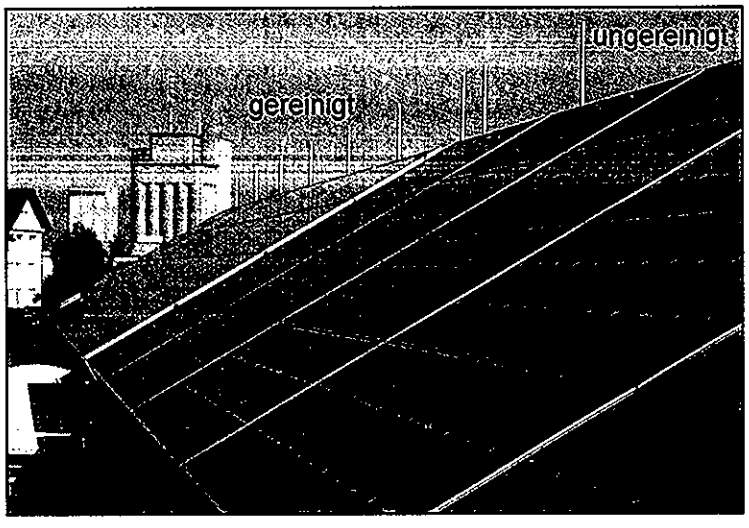


Bild 3-3:
Ansicht eines Teils des Solargenerators der 60kWp-PV-Testanlage der HTA Burgdorf: Die Module auf der linken Seite sind frisch gereinigt. Bei den Modulen auf der rechten Seite ist die Verschmutzung am unteren Modulrand sichtbar, welche sich in der Zeit von Juni 1993 bis Mai 1998 angesammelt hat.

Im Juni 1998, also etwa 5 Jahre nach der Montage der Module, wurde der Solargenerator der Anlage gereinigt und die I-U-Kennlinien der Arrays der Anlage vor und nach der Reinigung gemessen. Glücklicherweise zeigten die Messungen, dass der Leistungsverlust weitgehend reversibel ist. Die in den Publikationen [2] und [4] angegebenen Messergebnisse über den Verschmutzungsgrad des Solargenerators der Testanlage der HTA Burgdorf mussten noch etwas nachkorrigiert werden. Eine Nachprüfung ergab, dass einige Messergebnisse mit sehr hohem Verschmutzungsgrad fehlerhaft waren. Diese wurden deshalb nicht mehr in die Auswertung einbezogen. Auf Grund der überarbeiteten Messauswertung betrug die **durchschnittliche Reduktion** bezogen auf die gesamte PV-Anlage **6,9%**. Die Verschmutzung auf der westlichen Hälfte des Solargenerators war dabei deutlich ausgeprägter als die auf der östlichen Hälfte, bedingt durch die Abgase des Kamins

vom danebenstehenden Gebäude. Auf der westlichen Hälfte betrug die Reduktion der auf STC umgerechneten Leistung infolge dieser Verschmutzung zwischen 6,9% und 9,8% pro Array. **Die durchschnittliche Reduktion** bezogen auf diesen Teil der Anlage betrug **8,3%.** Auf der östlichen Hälfte betrug die Reduktion der auf STC umgerechneten Leistung infolge dieser Verschmutzung zwischen 3,1% und 6,8% pro Array. **Die durchschnittliche Reduktion** bezogen auf die östliche Hälfte betrug **4,9%.** Auf dem beobachteten Verschmutzungsstreifen etablierten sich teilweise bereits **Pionierpflanzen (Moose und Flechten),** welche die Entwicklung des Schmutzstreifens durch Zurückhaltung von organischem und anorganischem Staub weiter verstärkten (Bild 3-4 bis Bild 3-7).

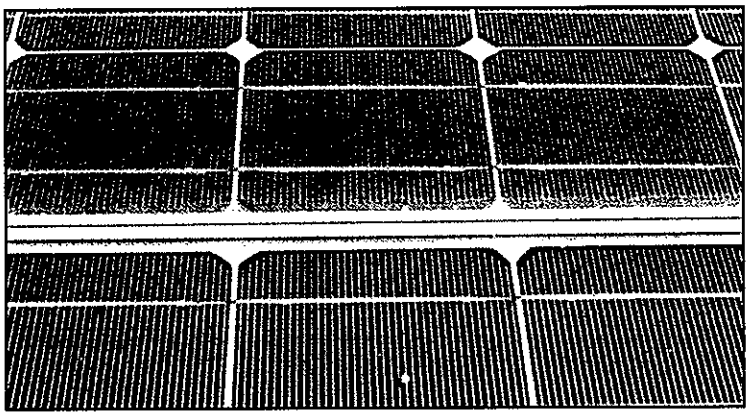


Bild 3-4:
Verschmutzungsstreifen an der Unterkante eines gerahmten Moduls Siemens M55 (längere Seite in horizontaler Position gemäss Bild 3-3).

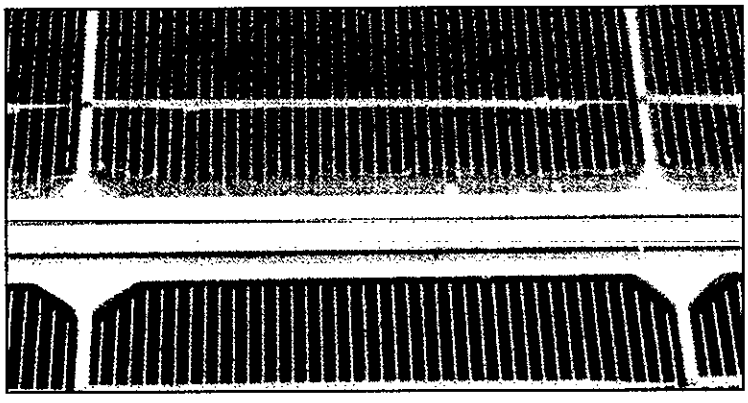


Bild 3-5:
Detailansicht des relativ kompakten, etwa 1 cm breiten Verschmutzungsstreifens an der Modul-Unterkante (Detail von Bild 3-4).

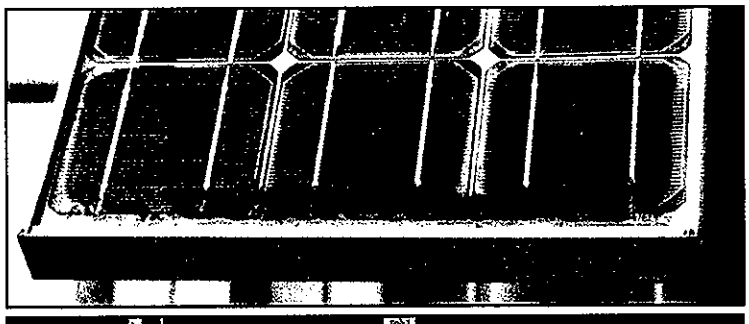


Bild 3-6:
Auch bei steiler angestellten, hochkant montierten Modulen können derartige Verschmutzungsstreifen auftreten. Beim gezeigten Modul ist der Anstellwinkel 65°.



Bild 3-7:
Detailansicht des Moduls von Bild 3-6 von einer Stelle, wo sich bereits Flechten entwickeln.

Da am Standort dieser Anlage für die Wechselrichtertests ein sehr detailliertes Monitoring durchgeführt wird, war es möglich, nicht nur die nach einer Betriebszeit von 5 Jahren resultierende Verschmutzung zu bestimmen (Bild 3-8 und Bild 3-9), sondern aus den vorhandenen Messdaten auch ihren zeitlichen Verlauf. Dabei zeigte es sich, dass die Entwicklung des Schmutzstreifens im Verlauf der Zeit nicht kontinuierlich erfolgt, sondern sich nach zunächst langsamem Beginn deutlich beschleunigt. In den ersten Jahren wurde auch noch keine biologische Aktivität beobachtet. Die Erklärung dazu ist naheliegend: Sobald Pionierpflanzen (Moose und Flechten) auftauchen, haben diese die Tendenz, durch den Wind und andere Einflüsse abgelagerte organische und anorganische Substanzen zurückzuhalten und daraus Humus für ihre weitere Entwicklung zu bilden. Bei ungünstigen Bedingungen (z.B. im Hochsommer oder im Winter) können diese Pflanzen temporär absterben, sie entwickeln sich aber aus den vorhandenen Sporen immer wieder neu, so dass eine einmal vorhandene Pflanzenbesiedelung und die daraus resultierenden Schmutzstreifen ohne künstliche Reinigung erhalten bleiben (Bild 3-10).

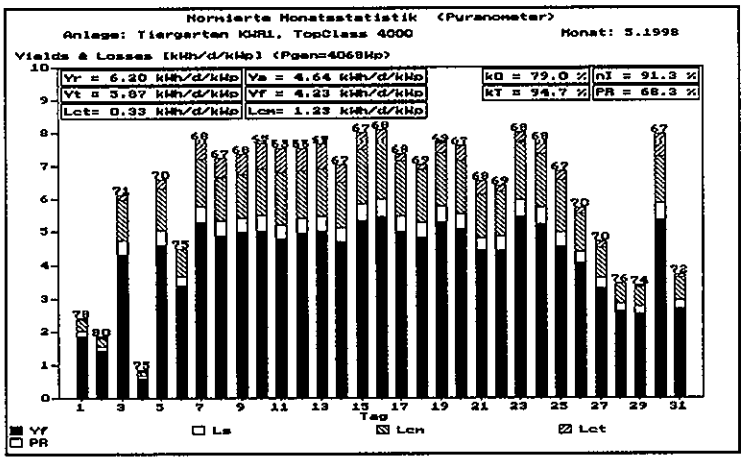


Bild 3-8:

Normierte Monatsstatistik eines Teils der westlichen Solargeneratorhälfte der 60kWp-Testanlage vor der Reinigung des Solargenerators im Mai 1998. Die nicht temperaturbedingten Feldverluste L_{cm} sind durch die Verschmutzung ungewöhnlich hoch. Dadurch sind der Generator-Korrekturfaktor k_G und das Performance Ratio PR relativ niedrig (weitere Erläuterungen in [15]).

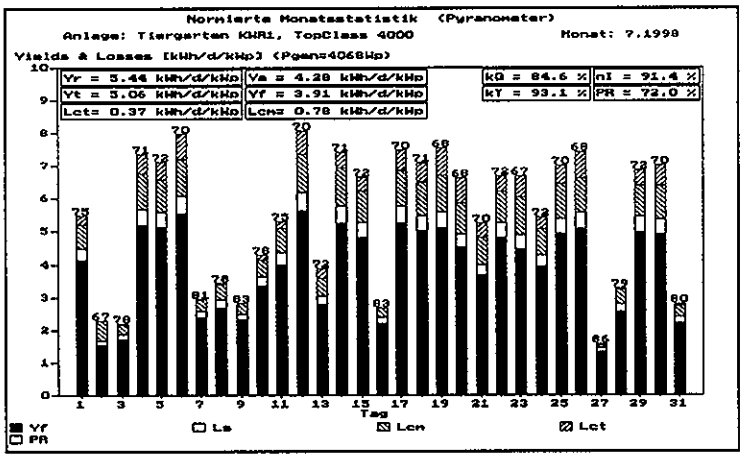


Bild 3-9:

Normierte Monatsstatistik für Juli 1998 nach der Reinigung (vergl. Bild 3-8). Die nicht temperaturbedingten Feldverluste L_{cm} sind nun erheblich geringer. Dadurch ist der Generator-Korrekturfaktor k_G und das Performance Ratio PR der Anlage deutlich gestiegen, trotz tieferem Temperatur-Korrekturfaktor k_T im Vergleich zum Mai 1998.

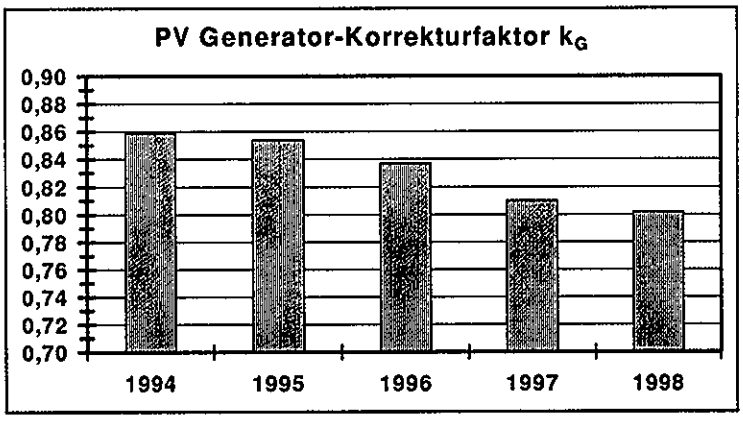


Bild 3-10:

Verlauf der Generatorleistung in Funktion der Zeit: Generator-Korrekturfaktor k_G in den drei Sommermonaten der Jahre 1994 bis 1997 und im Mai 1998. k_G sinkt zunächst langsam, dann nach Entwicklung biologischer Aktivität rascher ab ($k_G = Y_a/Y_T$, siehe [15]).

Da im deponierten Material auch Eisenstaub nachgewiesen wurde (Bild 3-11), lag zunächst die Vermutung nahe, dass dieser Eisenstaub für die Entwicklung dieser Verschmutzung mitverantwortlich ist und dass es sich primär um ein lokales Phänomen handelt, das durch die Eisenbahn-Hauptstrecke bei dieser Anlage bedingt ist. Im Bereich der Anlage, welche einige 100m vom Bahnhof Burgdorf entfernt in einer Distanz von etwa 50m von der Bahnlinie liegt, führen viele Züge Bremsmanöver durch. Untersuchungen bei anderen, weiter von der Bahnlinie entfernten Anlagen in Burgdorf zeigten aber ebenfalls permanente Verschmutzungen.

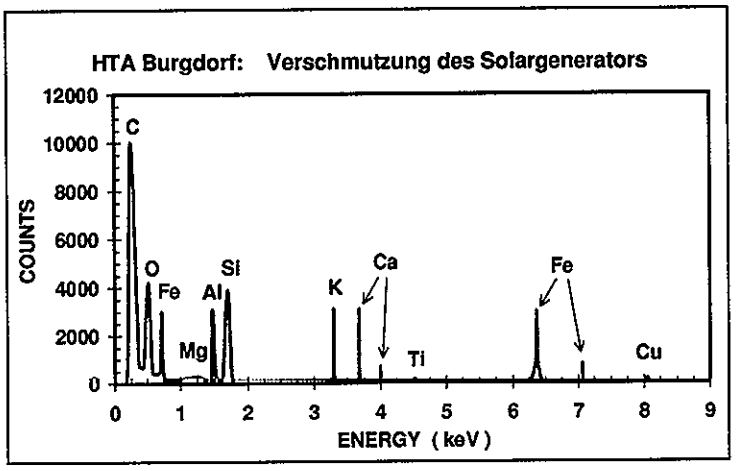


Bild 3-11:
Analyse der Zusammensetzung des verschmutzenden Materials: Eine dispersive Mikro-Röntgenaufnahme zeigt die wichtigsten chemischen Elemente, welche auf entsprechende organische und anorganische Komponenten deuten.

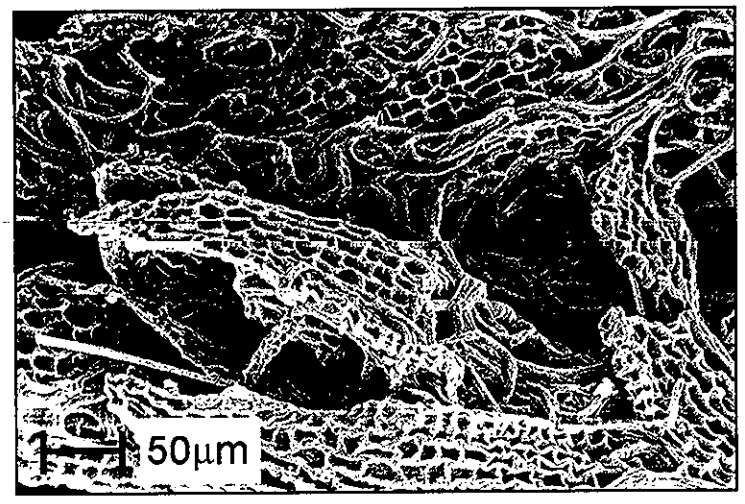


Bild 3-12:
Elektronenmikroskopische Aufnahme der in einem Verschmutzungsstreifen enthaltenen Flechten.

3.2.2 Untersuchung der permanenten Verschmutzung an verschiedenen PV-Anlagen

Die Verschmutzung von Solargeneratoren kann durch I-U-Kennlinienmessungen quantitativ genau bestimmt werden. Die Messungen vor und nach der Reinigung des Generator müssen bei wolkenlosem Schönwetter und möglichst gleicher Modultemperatur erfolgen, um bei der späteren Umrechnung der Messergebnisse auf **S**tandard **T**est **C**onditions (STC) den Umrechnungsfehler möglichst gering zu halten. Im Jahre 1998 wurden an drei Anlagen (HTA Burgdorf, Schlossmatt und EBL Liestal) solche Messungen durchgeführt. An drei weiteren Anlagen in Burgdorf wurden visuelle Begutachtungen des Solargenerators vorgenommen.

Testanlage HTA Burgdorf:
Im Juni 1998 wurden, wie schon erwähnt, Kennlinienmessungen an jedem ungereinigten / gereinigten Array der 5-jährigen Photovoltaikanlage der HTA Burgdorf vorgenommen. **Die durchschnittliche Reduktion der gesamten PV-Anlage betrug 6,9%** (Kapitel 3.2.2). Bild 3-13 zeigt die Messergebnisse eines stark verschmutzten 6er-Arrays vor und nach der Reinigung (Leistungsreduktion durch Verschmutzung 8,6%). Der Wendepunkt nahe dem Kurzschlussstrom ist typisch bei der Teilverschattung von Solarmodulen, in diesem Fall durch den Verschmutzungsstreifen am unteren Rand der Module hervorgerufen.

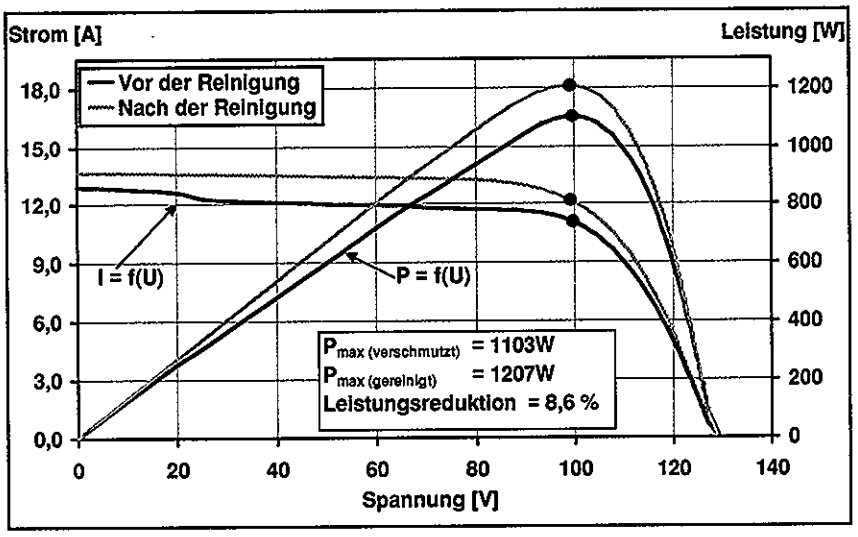


Bild 3-13:
Auf STC umgerechnete I-U- und P-U-Kennlinien sowie MPP-Leistungen des 6er-Arrays der Testanlage HTA Burgdorf vor und nach der Reinigung im Frühjahr 1998. Der Wendepunkt auf der I-U-Kennlinie weist auf eine erhebliche Teilverschattung durch Verschmutzung hin.

Anlage Schlossmatt:
Im Oktober 1998 wurden in Burgdorf weitere Messungen an einer PV-Anlage gleichen Baujahrs wie die der 60kWp-Testanlage der HTA Burgdorf mit gerahmten monokristallinen Modulen vom gleichen Typ (längere Seite der Module in horizontaler Position) durchgeführt. Diese Anlage befindet sich jedoch in weiter Entfernung von der Bahnlinie in einem Wohngebiet. Hier wurde die Messung eines Strangs (6 Module) vor und nach der Reinigung durchgeführt. Die Verschmutzung war deutlich sichtbar (Bild 3-14), sie haftete jedoch weniger stark und liess sich leichter entfernen als die auf dem Solargenerator der HTA Burgdorf. Bei der Messung wurde eine **Leistungsreduktion von 8%** infolge der Verschmutzung festgestellt (Bild 3-15).

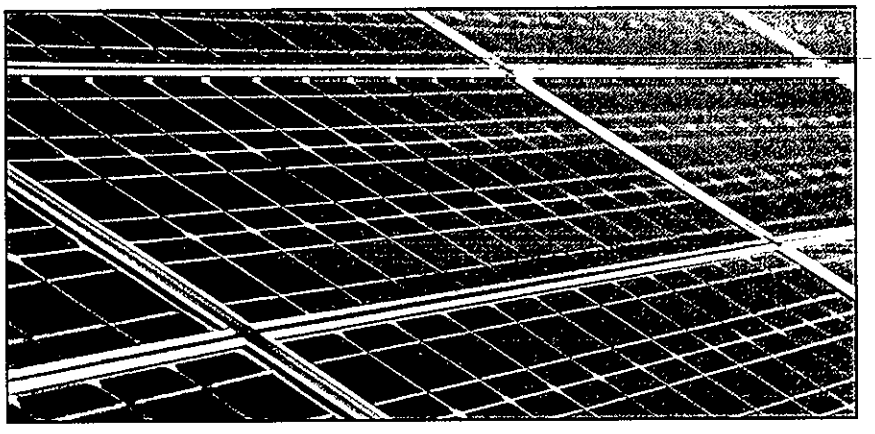


Bild 3-14:
Die deutlich sichtbare Verschmutzung reicht bei den Modulen bis in die Mitte der unteren Zellenreihe.

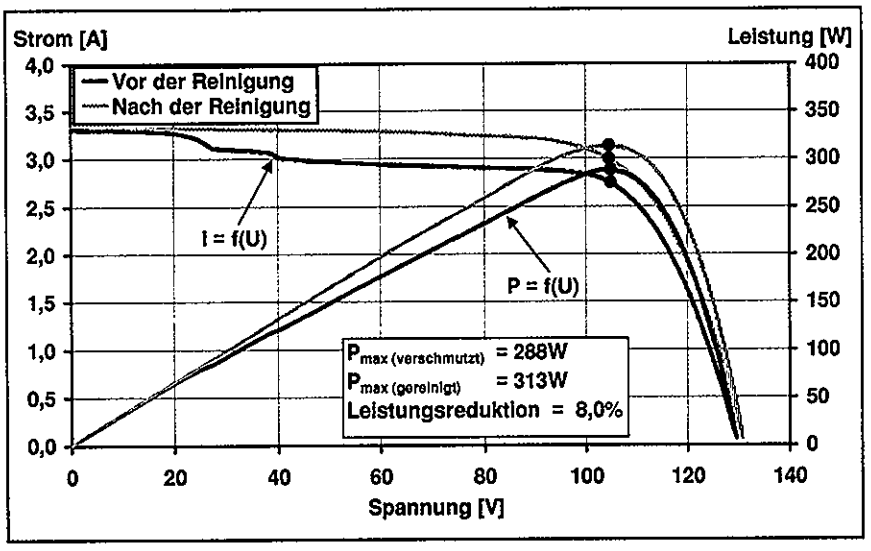


Bild 3-15:
Auf STC umgerechnete I-U- und P-U-Kennlinien sowie MPP-Leistungen des gemessenen Strangs der Anlage Schlossmatt vor und nach der Reinigung im Oktober 1998. Die zwei Wendepunkte auf der I-U-Kennlinie weisen auf eine erhebliche Teilverschattung durch Verschmutzung hin.

Weitere Anlagen in Burgdorf:
Bei einer weiteren Schlossmatt PV-Anlage gleichen Jahrgangs (Baujahr 1994) mit grossen polykristallinen Modulen (102Wp) konnte ebenfalls ein Schmutzstreifen an der unteren Modulkante festgestellt werden. Dieser Streifen war jedoch weniger ausgeprägt. Die zur Moduloberfläche hin abgeschrägte Modulkante erleichtert hier wahrscheinlich das Abfliessen von verschmutztem Regenwasser, somit wird die Ausbildung des Schmutzstreifens weniger begünstigt (Bild 3-16). Messungen an dieser Anlage zur Bestimmung der Leistungsreduktion infolge Verschmutzung sind geplant.

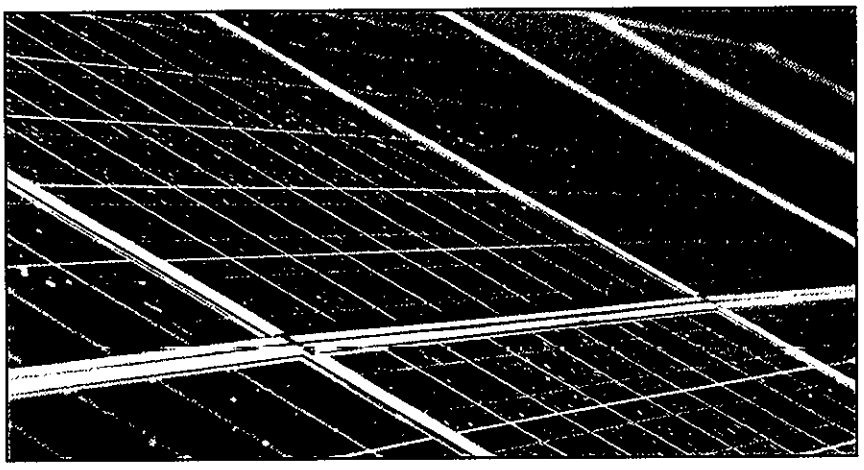


Bild 3-16:
Die PV-Anlage mit polykristallinen Modulen (102Wp) auf dem Schlossmatt-Gebäude. Die Modulgrösse und Form der Modulkanten haben offensichtlich einen entscheidenen Einfluss auf die Ausbildung von Verschmutzungsstreifen (Vergleiche Bild 3-14).

Im Winter 1998/99 wurden an zwei weiteren Anlagen in Burgdorf visuelle Begutachtungen vorgenommen. Die **Anlage Gfeller** (Baujahr 1992) befindet sich in einem Wohngebiet am Stadtrand umgeben von landwirtschaftlichen Anbauflächen (siehe auch Kapitel 4.1). Auf diesem Solargenerator hat sich ein ca. 3-4cm breiter Verschmutzungsstreifen an den unteren Modulrändern gebildet. Da diese Anlage mit einer Feinmesstechnik ausgerüstet ist, wäre hier die Durchführung von I-U-Kennlinienmessungen am ungereinigten / gereingten Solargenerator von grossem Interesse.

Bei der im Jahre 1994 erbauten **Anlage Gymnasium**, die sich auf eine Anhöhe weit entfernt von industrieller Besiedlung befindet, wurde eine nur sehr geringe Verschmutzung der Solarmodule beobachtet. Der Anlagenstandort hat nach bisherigen Erkenntnissen einen entscheidenen Einfluss auf die Ausprägung der Verschmutzung.

Anlage EBL Liestal:
Im August 1998 wurden Kennlinienmessungen an der **18,5-kWp-Anlage EBL Liestal** durchgeführt. Auf einem Teil des Solargenerators befand sich eine **gleichmässige Schmutzschicht**. Diese war durch die Abluft eines in der Nähe befindlichen Heizungsrohrs entstanden. Nach einer groben Reinigung im September 1996 wurde im August 1998 eine maschinelle Reinigung des Generators vorgenommen und durch die HTA Burgdorf Kennlinienmessungen am ungereinigten / gereinigten Generator durchgeführt. Die zwei am stärksten betroffenen Modulstränge wiesen eine Leistungsreduktion von **5,1%** bzw. **1,5%** infolge der Verschmutzung auf. Bild 3-17 zeigt die auf STC umgerechneten Kennlinienmessresultate des am stärksten verschmutzten Modulstrangs (33 Module à 51Wp in Serie). Der qualitativ ähnliche, aber deutlich flachere I-U-Kennlinienverlauf des Modulstrangs vor der Reinigung, weist auf eine gleichmässige Verschmutzung der Module hin. Die übrigen nur gering verschmutzten 9 Stränge wiesen Leistungsreduktion infolge von Verschmutzung von 0,2% bis 1,4% auf (siehe Bild 3-18). Da das Heizungsabluftrohr seit dem Winter 1998/99 nicht mehr in Betrieb ist, wird mit einer nachfolgenden hartnäckigen Verschmutzung nicht gerechnet. Die insgesamt geringe Verschmutzung des übrigen Generators lässt sich durch die schwache industrielle Besiedlung und dem relativ geringen Strassen- und Bahnverkehr in der Nähe des EBL-Gebäudes erklären. Ein weiterer Vorteil dürfte das hohe Gebäude sein, auf dem sich die Anlage befindet, da sich die Schmutzpartikel hauptsächlich weiter unten absetzen.

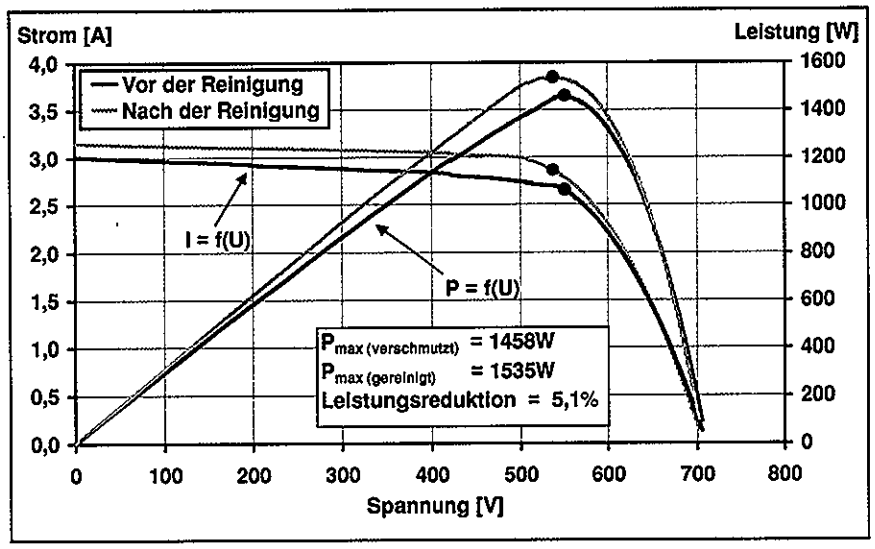


Bild 3-17:
Auf STC umgerechnete I-U- und P-U-Kennlinien sowie MPP-Leistungen des am stärksten verschmutzten Strangs der Anlage vor und nach der Reinigung. Der qualitativ ähnliche, aber flachere I-U-Kennlinienverlauf des Modulstrangs vor der Reinigung, weist auf eine **gleichmässige Verschmutzung** hin.

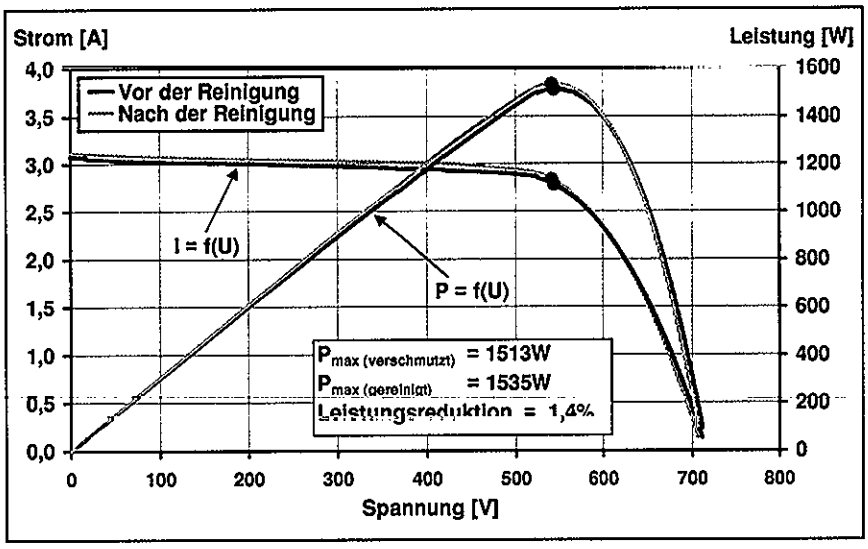


Bild 3-18:
Auf STC umgerechnete I-U- und P-U-Kennlinien sowie MPP-Leistungen eines schwach verschmutzten Strangs der Anlage EBL Liestal. Die Kennlinien vor und nach der Reinigung unterscheiden sich kaum.

Fazit:
Bisher wurde angenommen, dass in Mitteleuropa die natürliche Reinigung des Solargenerator durch Regen und Schnee ausreicht und dass keine künstliche Reinigung nötig ist. Nur in wenigen Beiträgen wurde auf das Problem der permanenten Verschmutzung hingewiesen [23]. Treten solche Verschmutzungen nicht nur lokal, sondern an vielen Orten auf, hat dies auch einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Photovoltaikanlagen.
Die aus permanenter Verschmutzung resultierende Energieproduktionseinbusse sollten insbesondere von Contracting-Firmen beachtet werden, die für Solarstrombörsen Offerten für die Produktion von Solarstrom über lange Zeiträume einreichen, sonst können böse Überraschungen und unvorhergesehene Verluste eintreten.

Bisher wurden durch die HTA Burgdorf ausschliesslich Solargeneratoren mit Modulen von zwei verschiedenen Herstellern untersucht. Es ist geplant weitere Anlagen mit Produkten anderer Hersteller in die Untersuchungen einzubeziehen, um das Problem genauer spezifizieren zu können. Es sollte geklärt werden, an welchen Anlagenstandorten besonders mit einer Verschmutzung zu rechnen ist und welche planerischen Massnahmen bei PV-Anlagen und Modulen die Entstehung der Verschmutzung mindern oder sogar verhindern könnten.

3.2.3 Delaminationen von Solarmodulen

Die HTA Burgdorf hat bereits 1988 eine erste 3kWp-Photovoltaikanlage in Betrieb genommen, die während einigen Jahren für Tests von Wechselrichtern für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen verwendet wurde. Die Module dieser Anlage wurden nach dem Umzug des Photovoltaiklabors auf dem Neubau im Jahre 1993 weiter verwendet. Ab etwa 1994 wurden bei einigen dieser in den Jahren 1987 bis 1989 hergestellten Module in der Nähe der Kontaktierungsstreifen (Abstand bis zu 1cm) unregelmässig geformte, weissliche Gebilde, welche vermutlich die Folge von Delaminationen sind, bemerkt. Diese Delaminationen haben sich seither an den betroffenen Modulen noch deutlich verstärkt. Bereits sind auch an ersten Modulen der neuen 60kWp-Testanlage, welche 1993 hergestellt wurden, erste Anzeichen beginnender Delaminationen festgestellt worden. Delaminationen sind nicht nur ein ästhetisches Problem, sondern bewirken **eine irreversible Degradation der Module**, welche einen **permanenten Leistungsverlust von bis zu 10%** zur Folge hat (Kennlinien analog geformt wie z. B. in Bild 3-13). Der betreffende Hersteller wurde bereits vor einiger Zeit informiert. Delaminationen treten erst nach etwa vier bis fünf Betriebsjahren als zunächst nur schwer zu bemerkende, nur beim näheren Hinsehen bemerkbare, kleine weisse Flecken in Erscheinung. In den folgenden Jahren breiten sich diese immer mehr aus, werden grösser und verschmelzen miteinander. Da sich diese Delaminationen nur in der Nähe der Kontaktierungsstreifen bilden, ist anzunehmen, dass nach einiger Zeit eine Stabilisierung eintreten wird.
Die Delamination bei PV-Modulen scheint nicht wie anfänglich angenommen ein einmaliges Problem zu sein. Bei der Untersuchung von etwa 100 Modulen (Baujahr 1993) des Solargenerators der 60kWp-Testanlage der HTA Burgdorf wurden an einigen Modulen Delaminationen festgestellt. Wie ein Vergleich von Bild 3-19 und Bild 3-20 zeigt, nehmen diese Delaminationen in ihrer Häufigkeit und Grösse im Laufe der Zeit zu.

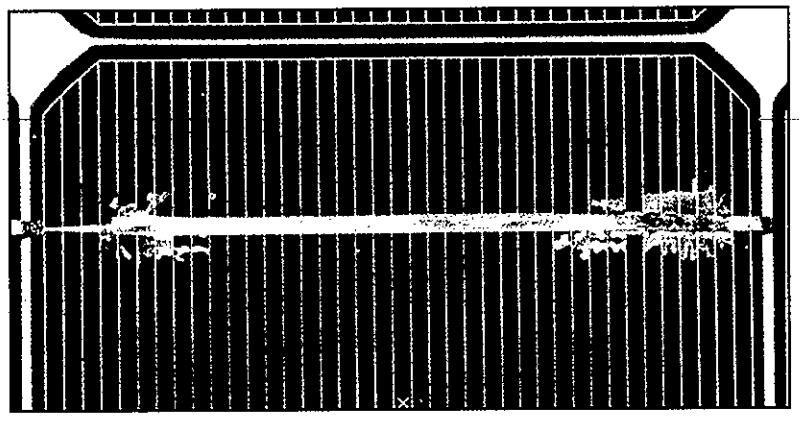


Bild 3-19:
Ende 1998 aufgenommene Delaminationen bei einem etwa neunjährigen monokristallinem Solarmodul (Produktionsjahr **1989**).

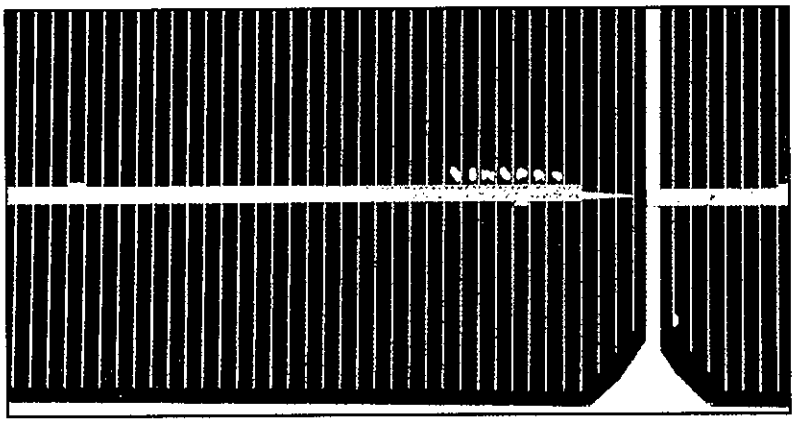


Bild 3-20:
Ende 1998 aufgenommene beginnende Delaminationen bei einem neueren monokristallinen Solarmodul (Produktionsjahr **1993**).

Wegen Eichproblemen der Referenzzellen war es bisher noch nicht möglich, den zeitlichen Verlauf der Degradation quantitativ genau zu erfassen (siehe Kapitel 6). Es ist vorgesehen dieses Problem in den kommenden Jahren weiter zu untersuchen. Insbesondere ist abzuklären, ob dieses Problem nur (wie bisher beobachtet) bei den Modulen eines bestimmten Herstellers oder auch bei anderen Herstellern auftritt.

3.3 Untersuchung weiterer DC-seitiger Komponenten von PV-Anlagen

3.3.1 DC-Verkabelung

Der Befestigung und dem Schutz der DC-Verkabelung muss aufgrund der Lichtbogengefahr besondere Beachtung geschenkt werden. Es fallen immer wieder Anlagen mit unzureichend sicherer DC-Verkabelung auf, wie das Beispiel einer 5-jährigen Burgdorfer PV-Anlage zeigte. Bei dieser Anlage wurde die DC-Verkabelung an der Metallmontagekonstruktion der Module bündelweise mit dünnen nicht **UV-beständigen** Kabelbindern befestigt. Im Oktober 1998 herrschte recht windiges Herbstwetter in der Region. Während dieser Zeit wurden fast sämtliche Kabelbinder, aufgrund der herrschenden Windlast zerrissen. Die Verkabelung hing danach ab den Modulanschlussdosen ohne Zugentlastung auf einer Länge von bis zu 10m frei durch (Bild 3-21). Die Anlagensicherheit war in einem hohen Masse gefährdet. Durch den Einsatz von robustem und alterungsbeständigem Befestigung-Material hätte das Problem vermieden werden können.

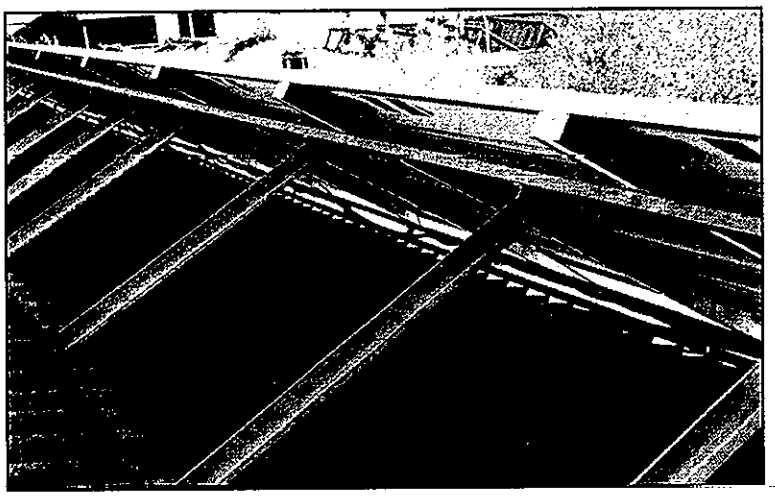


Bild 3-21:
Die nicht **UV-beständigen** Kabelbinder zur Befestigung der Gleichstromverkabelung wurden nach 5 Jahren durch einwirkende Windlast durchgerissen. Die Verkabelung hing ohne Zugentlastung über mehrere Meter durch.

3.3.2 Strangsicherungen

Ein weiteres Zuverlässigkeitsproblem sind die bei vielen PV-Anlagen vorhandenen Strangsicherungen. Oft sind diese infolge vorsichtiger Planung allzu knapp dimensioniert. Bei einem Strang-Nennstrom (6 Module) von 3,1A (typ. für monokristalline Zellen) ist z.B. eine flinke 4A-Sicherung fehl am Platz. Diese spricht u.U. bereits beim Auftreten eines starken "cloud enhancement" (erhöhte Sonneneinstrahlung durch Reflexion auf Schnee und an Wolken) an. Solche Ausfälle werden dann oft über längere Zeit nicht bemerkt, denn ohne geeignetes Messsystem ist das Fehlen eines Stranges (z.B. 1 Strang von 10) sehr schwierig zu erkennen.
Im Rahmen einer Diplomarbeit an der HTA Burgdorf wurde nachgewiesen, dass Solarzellen mit einem Mehrfachen ihres Nennstromes (rückwärts) betrieben werden können, ohne Schaden zu nehmen. Die Absicherung kann also durchaus mit Sicherungen erfolgen, die z.B. bei 6A ansprechen. Beim Parallelschalten von maximal 3 Strängen kann eventuell sogar auf Strangsicherungen verzichtet werden.

Bei der Anlage der EBL Liestal wurden bereits mehrmals Ausfälle von Strangsicherungen registriert. Schon bei der Inbetriebnahme der Feinmesstechnik im Dezember 1996 stellte sich heraus, dass 3 von 11 Strangsicherungen defekt waren. Wahrscheinlich waren diese Sicherungen seit mehreren Monaten defekt, ohne dass dies bemerkt wurde. Weitere Ausfälle traten dann Anfang Mai und Ende Juni 1997 auf. Diese Ausfälle wurden dank der Messungen und der regelmässigen Messdatenauswertung jeweils rasch entdeckt (siehe Bild 3-22). Am 7.7.1997 wurden die flinken 4A-Strangsicherungen durch flinke 5A-Strangsicherungen ausgetauscht, seither ist ein weiteres ungewolltes Auslösen der Sicherungen beim Auftreten eines starken „cloud enhancement" vermieden worden.

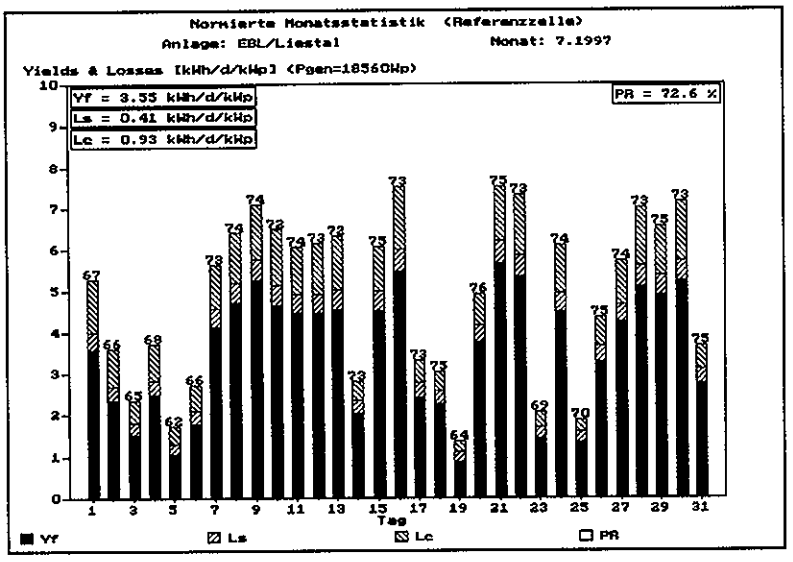


Bild 3-22:
Normierte Monatsstatistik der PV-Anlage EBL Liestal vom Juli 1997.
Vom 1. bis am 6. fallen die, im Vergleich mit anderen ähnlichen Tagen im Monat, deutlich höheren Feldverluste L_c sowie die tieferen Performance Ratios PR auf. Ursache dafür ist der Ausfall einer Strangsicherung am 30. Juni. Die Sicherungen wurden am 7.7.1997 ersetzt.

Auch bei Burgdorfer Anlagen wurden defekte Strangsicherungen detektiert. Die Grob-Messtechnik an diesen Anlagen erlaubt zwar keine schnelle Erkennung solcher Fehler, jedoch beim späteren Vergleich mit ähnlichen Betriebsmonaten können auch diese detektiert werden.
Bei einer Schlossmatt Anlage fiel im Jahre 1997 ein Strang von zehn aus. Auch hier handelte es sich um eine flinke 4A-Sicherung (6 Module in Serie mit einem Nennstrom von 3,1A). Und im Jahre 1998 gingen an der Anlage Gewerbeschule zwei Strangdioden in kurzen Abständen defekt.
Aufgrund der schwierigen Erkennung solcher Fehler bei nicht vorhandener Messtechnik (was bei den meisten Anlagen der Fall ist) geht jedesmal kostbare Energie verloren. Der Einsatz von Wechselrichtern mit höheren Betriebsspannungen und dadurch weniger Modulsträngen ermöglicht eine einfache Erkennung.

3.3.3 Feldanschlusskasten

Bei der Aussenmontage des Feldanschlusskastens von PV-Anlagen ist die Vermeidung von Feuchteeintritt in den Kasten sehr wichtig. Die Verwendung von Kästen mit geeigneter Schutzart reicht nicht in allen Fällen aus. An Standorten mit extremen Witterungsbedingungen (z. B. alpine Standorte) ist daher das zusätzliche Verkleben des Spaltes zwischen Deckel und Gehäuse z.B. mit einem Aluminium-Klebeband zu empfehlen. Bei der PV-Anlage Jungfraujoch hat sich dieser Schutz schon seit einigen Jahren sehr gut bewährt. Des Weiteren müssen die Kabeleinführungen genau abgedichtet werden. Ein ausreichender Abstand zwischen Feldanschlusskasten und Boden ist einzuhalten, damit dieser sich nicht plötzlich im Regen- oder Schmelzwasser befindet oder eingeschneit und somit übermässig durch Feuchte beansprucht wird.

Bei der 6-jährigen PV-Anlage Birg mussten im September 1998 alle 13 Sicherungsautomaten für die Modulstränge im Feldanschlusskasten aufgrund von Feuchteeintritt ersetzt werden. Schon 1996 wurde eine leichte Oxidation an den Sicherungsautomaten beobachtet. Mittlerweile war die Oxidation so weit vorangeschritten, dass nach Aus-/Einschalten der Sicherungsautomaten mehrere Stränge unterbrochen waren. Erst durch mehrmaliges Betätigen konnte der Kontakt wieder hergestellt werden. Der erste Feldanschlusskasten der Anlage war aus Kunststoff und für die extremen klimatischen Witterungsbedingungen auf Birg (über 2600 m.ü.M.) nicht geeignet. Zudem befanden sich bei diesem Kasten die Kabeleinführungen auf der Oberseite, wodurch das Eindringen von Feuchtigkeit unvermeidbar war. Im Februar 1993 wurde dieser Kasten durch ein Metallkasten (mit Kabeleinführung von unten) ersetzt, jedoch unter Verwendung der alten Sicherungsautomaten. Nach über 5 Jahren weist dieser Kasten auch die ersten Mängel auf. Die Gummidichtung am Deckel ist porös und brüchig geworden, somit ist auch dieser Kasten nicht

mehr vollständig abgedichtet. An diesem Beispiel zeigt sich, dass durch eine genaue Detailplanung langfistig Kosten eingespart werden und die Anlagenqualität steigt.

3.3.4 Montagestruktur

Bei der Begutachtung mehrerer Burgdorfer PV-Anlagen wurden bisher nur wenige Mängel an den Montagestrukturen beobachtet. Ein häufig auftretender Mangel ist die **Rostbildung an verzinkten Stahlmontagestrukturen**. Die optische Ästhetik der Anlage wird dadurch stark vermindert und die statische Tragfähigkeit wird langfristig sinken. Bei der Anlage Gymnasium wurden zudem beginnende Risse in einigen der Betonsockel der Montagestruktur festgestellt. Ob diese Risse sich zu einer Bruchstelle entwickeln bleibt abzuwarten.

3.3.5 Regelmässige Installationskontrollen auf der DC-Seite

Auf Grund der erwähnten Erfahrungen in Kapitel 3.3 und wegen des grossen Brandrisikos bei Lichtbögen auf der DC-Seite wäre eine regelmässige und eingehende Prüfung der übrigen PV-Anlagen in Burgdorf in Zusammenarbeit mit der IBB sinnvoll. Analog zu den regelmässigen, von den EW´s durchgeführten Installationskontrollen könnte ein **regelmässiger PV-Anlagen-Check** (z.B. alle 5 Jahre) durchgeführt werden, um die **Qualitätssicherung von PV-Anlagen** zu gewährleisten. Dabei wären besonders auch die Systemkomponenten auf der Gleichstromseite einer Anlage (DC-Verkabelung, Montagekonstruktion, Blitzschutz und sonstige Befestigungen) zu prüfen. Durch eine solche Prüfung könnte die Anlagensicherheit und somit auch die Akzeptanz dieser Technologie (z.B. bei der Versicherung von PV-Anlagen) weiter gesteigert werden.

4 Betriebsverhalten der PV-Anlagen mit Feinmessung

Die HTA Burgdorf führt an **7 PV-Anlagen** Feinmessungen zur Analyse des Langzeitverhaltens durch. Die Fein-Messtechnik der Anlagen Gfeller, Birg und Jungfraujoch wurde bereits im Rahmen des Vorgängerprojekts [16] in Betrieb genommen. Im Rahmen des PSEL-Projekts wurde an der Anlage Schlossmatt 8 und EBL Liestal die Fein-Messtechik installiert. Auch die Burgdorfer 16kWp-Anlage Schulgebäude Gsteighof der Industriellen Betriebe Burgdorf ist mit einer Fein-Messtechnik ausgestattet. Die HTA Burgdorf ist zwar nicht der Betreiber der Messeinrichtung, hat aber Zugang zu den Messdaten und kann somit diese erfassen und auswerten. An der 60kWp-Testanlage der HTA Burgdorf werden Feinmessungen an 5 Wechselrichtern und Grobmessungen an 4 Wechselrichtern durchgeführt. Für Labortests wurden hier temporäre Umverkabelungen am Solargenerator vorgenommen, was zu Unregelmässigkeiten bei den Messdaten führte. Aus diesem Grund werden hier nur 2 der insgesamt 9 Wechselrichter detailliert ausgewertet.

Die ausführliche Messdatenauswertung der 7 Anlagen befindet sich im Anhang 1 + 2. Es werden die normierten Monatsstatistiken und normierten Jahresstatistiken vom Januar 1995 bis Mai 1999 aufgeführt. Die normierten Jahresstatistiken der Anlagen werden nur für ganze Betriebsjahre berücksichtigt. Die wichtigsten Grössen der normierten Darstellung werden nachfolgend kurz erläutert, in [15] befindet sich die ausführliche Beschreibung:

Symbol	Bezeichnung	Bedeutung / Erklärung / Ursache	Einheit	
Y_r	Strahlungsertrag, Referenzertrag (Reference Yield)	**$Y_r = H_I / G_0$.** Y_r entspricht der Zeit, während der die Sonne mit G_0 = 1kW/m² scheinen müsste, um die Energie H_I auf den Solargenerator einzustrahlen.	$\frac{kWh/m^2}{d*1kW/m^2}$	[h/d]
L_C	Generatorverluste Feldverluste (Capture Losses)	**Temperaturbedingte Verluste L_{CT} :** Verluste, weil Zellentemperatur meist > 25°C. **Übrige, nicht temperaturbedingte Verluste L_{CM} :** - Verdrahtung, Strangdioden, kleine Einstrahlung. - Teilabschattung, Verschmutzung, Schneebedeckung, Strahlungsinhomogenitäten, Mismatch. - Maximum-Power-Tracking-Fehler, Nichtabnahme der verfügbaren Generatorleistung wegen Wechselrichter ausfällen oder bei vollem Akku (bei Inselanlagen). - Fehler bei Strahlungsmessung. - Bei Pyranometer-Strahlungsmessung: Spektrale Verluste, Glasreflexionsverluste.	$\frac{kWh}{d*kWp}$	[h/d]
Y_a	Generator-Ertrag (Array Yield)	**$Y_a = E_A / P_0$.** Y_a entspricht der Zeit, während der die Anlage mit Solargenerator-Nennleistung P_0 arbeiten müsste, um die Generator-DC-Energie E_A zu erzeugen	$\frac{kWh}{d*kWp}$	[h/d]
L_S	Systemverluste (System Losses)	Wechselrichter-Umwandlungsverluste DC-AC, Speicher-verluste des Akkus bei Inselanlagen.	$\frac{kWh}{d*kWp}$	[h/d]
Y_f	Endertrag (Final Yield)	**$Y_f = E_{nutz} / P_0$.** Y_f entspricht der Zeit, während der die Anlage mit Generator-Nennleistung P_0 arbeiten müsste, um die gleiche Nutzenergie E_{nutz} zu produzieren. Bei Netzverbundanlagen ist $E_{nutz} = E_{ac}$.	$\frac{kWh}{d*kWp}$	[h/d]
PR	Performanz, Nutzungsziffer, (Performance Ratio)	**$PR = Y_f / Y_r$.** PR ist das Verhältnis zwischen der effektiv genutzten Energie E_{nutz} zur Energie, die eine verlustlose, ideale PV-Anlage mit Solargeneratortemperatur 25°C bei gleicher Einstrahlung produziert.		[1]
$Y_r \xrightarrow{-L_C} Y_a \xrightarrow{-L_S} Y_f$		$Y_r \xrightarrow{-L_{CT}} Y_T \xrightarrow{-L_{CM}} Y_a \xrightarrow{-L_S} Y_f$		

Tabelle 4-1: Übersicht über Definition und Bedeutung der normierten Erträge und Verluste bei Photovoltaikanlagen. Bei der Angabe der Einheiten wurde angenommen, dass für längere Bezugsperioden *Tages-Durchschnittswerte* angegeben werden.

Ferner können noch weitere Verhältnisse definiert werden:

Temperatur-Korrekturfaktor $k_T = Y_T / Y_r$

Generator-Korrekturfaktor $k_G = Y_a / Y_T$

Wechselrichter-Nutzungsgrad $\eta_I = Y_f / Y_a$ (bei netzgekoppelten Anlagen)

4.1 Gfeller, Burgdorf

Ort:	Finkfeld 6, 3400 Burgdorf; 540 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	24.06.1992		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (60 Stück)		
Feldleistung:	3180 Wp (nominell)	Neigung:	28° (Schrägdach)
Bruttofläche:	25,6 m^2	Ausrichtung:	10° Ost
Wechselrichter:	ASP TopClass Grid III 4000/6	seit 14.04.97	
	ASP TopClass 3000	vom 24.06.92 bis 14.04.97	
Messgrössen:			
• Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer			
• Umgebungstemperatur und Modultemperatur			
• Gleichstrom und Gleichspannung			
• Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung			

Tabelle 4-2: Technische Angaben zur PV-Anlage Gfeller, Burgdorf.

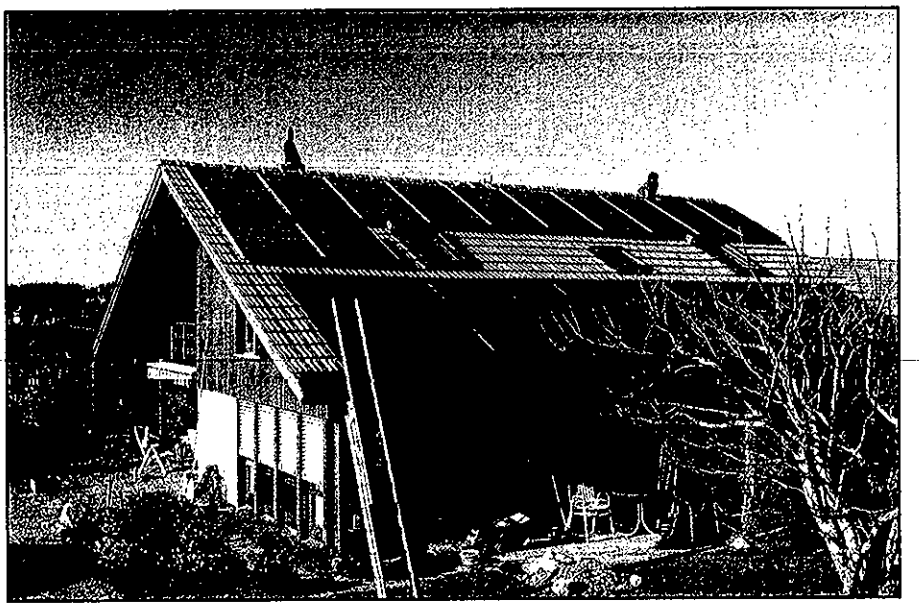


Bild 4-1:
Der Solargenerator der 3,18 kWp netzgekoppelten PV-Anlage Gfeller besteht aus dem oberen Feld unterhalb vom Dachgiebel. Darunter befindet sich noch der Generator einer autonomen PV-Anlage und die Kollektoren einer Warmwasseranlage.

Betriebsverhalten:

Die Anlage Gfeller ist seit dem 24.06.1992 in Betrieb und auch die Messdaten wurden seither lückenlos erfasst. Der erste Wechselrichter TopClass 3000 der Anlage hatte seit 1992 mehrere Hardwaredefekte und startete zudem sporadisch nicht selbst in den Betriebszustand. Dies hatte mehrmals einen deutlichen Energieproduktionsverlust zur Folge. Im Jahre 1996 konnte der Hersteller überzeugt werden, den alten Wechselrichter durch ein Gerät der neusten Generation (Grid III) auszutauschen. Der Austausch des Wechselrichters erfolgte im April 1997 und erforderte eine Umverkabelung des Solargenerators, sowie eine Anpassung der Messtechnik (DC-Spannungsmessung). Gleichzeitig wurden bei der Messtechnik die bereits stark gealterten 5-jährigen Signalkabel auf dem Dach gegen neue UV- und witterungsbeständige Kabel ersetzt. Die Sonneneinstrahlungsmessung erfolgt seit August 1997 nur noch durch ein Pyranometer in Generatorebene.
Seit der Umrüstung läuft die Anlage deutlich besser. Der neue Wechselrichter hat keine Aufstart-Probleme mehr und der Wirkungsgrad ist besonders im Teillastbereich besser. Zudem sind auf der DC-Seite die Verluste in der Verkabelung dank der höheren Betriebsspannung (6 Module in Serie statt 4) tendenziell tiefer (siehe Generator-Korrekturfaktor k_G in Tabelle 4-3).

Betriebsjahr	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**
Energieproduktion in kWh/kWp	**825**	**854**	**898**	**792**	**1004**	**982**
Temperatur-Korrekturfaktor k_T in %	95,9	95,1	95,8	95,5	94,6	95,1
Generator-Korrekturfaktor k_G in %	77,8	81,7	77,1	71,6	83,0	82,6
Wechselrichter-Nutzungsgrad n_I in %	90,0	90,7	90,6	90,2	92,1	92,1
Performance Ratio in %	**67,1**	**70,5**	**67,0**	**61,7**	**72,3**	**72,4**

Tabelle 4-3: Messdatenauswertung der Anlage Gfeller in den Betriebsjahren 1993 bis 1998 (Referenz-Strahlungsmessung: ***Pyranometer***).

Seit der Umrüstung erreicht die Anlage Gfeller bei der Energieproduktion fast den Mittelwert der Burgdorfer Anlagen mit elektronischem Wechselrichter (siehe Kapitel 5.1). Im Herbst 1998 wurde auch bei dieser Anlage das Langzeitproblem der Verschmutzung des Solargenerators festgestellt. Durch die geplante Reinigung des Solargenerators kann der Energieertrag der Anlage also wahrscheinlich noch weiter gesteigert werden. Auf Grund der vorhandenen Feinmesstechnik sind auch hier I-U-Kennliniemessungen vor und nach der Reinigung geplant um das Langzeitproblem genauer zu analysieren.
Das nachfolgende Bild 4-2 zeigt die normierte Monatsstatistik vom August 1994 (alte Anlagekonfiguration) und Bild 4-3 zeigt die normierte Monatsstatistik vom August 1997.

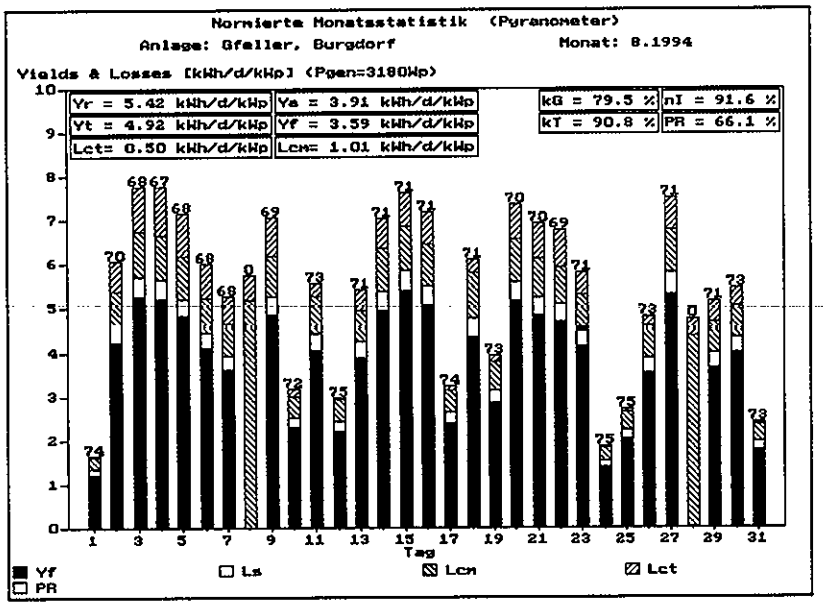


Bild 4-2:
Normierte Monatsstatistik der PV-Anlage Gfeller vom August 1994. Am 8.8 und 28.8.1994 startete der Wechselrichter überhaupt nicht. Dadurch erreichte der Monatswert für das Performance Ratio nur 66,1%.

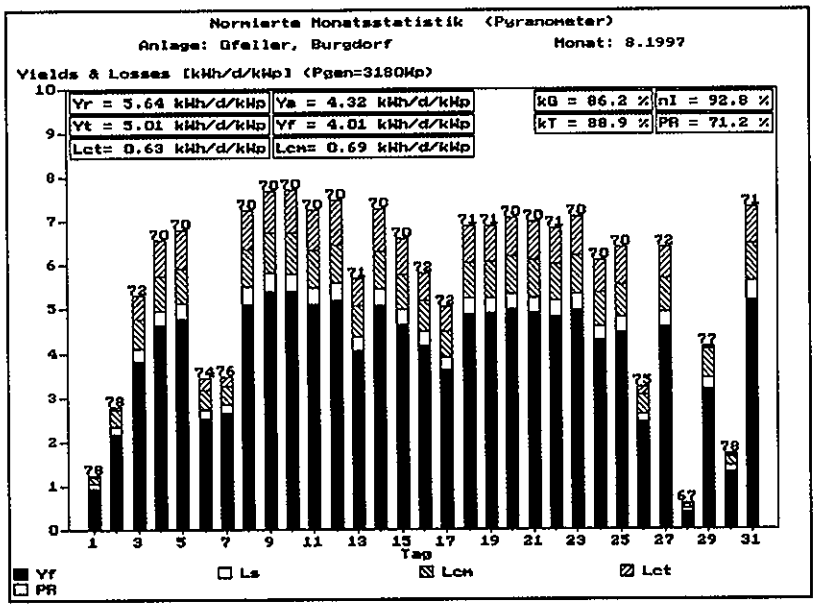


Bild 4-3:
Normierte Monatsstatistik der PV-Anlage Gfeller vom August 1997. Der Umwandlungswirkungsgrad des neuen Wechselrichters erreichte 92,8%. Das Performance Ratio konnte deutlich gesteigert werden. Es beträgt 71,2% und ist mit dem von anderen Mittelland-Anlagen vergleichbar.

4.2 Birg, Mürren

Ort:	Mittelstation Birg der Schilthornbahn, 3825 Mürren; 2677 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	21.12.1992		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (78 Stück)		
Feldleistung:	4134 Wp (nominell)	Neigung:	90° (Fassade)
Bruttofläche:	33,3 m^2	Ausrichtung:	5° West
Wechselrichter:	Solcon 3400HE		
Messgrössen:			

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichstrom und Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung
- Netzspannung

Tabelle 4-4: Technische Angaben zur PV-Anlage Birg, Mürren.

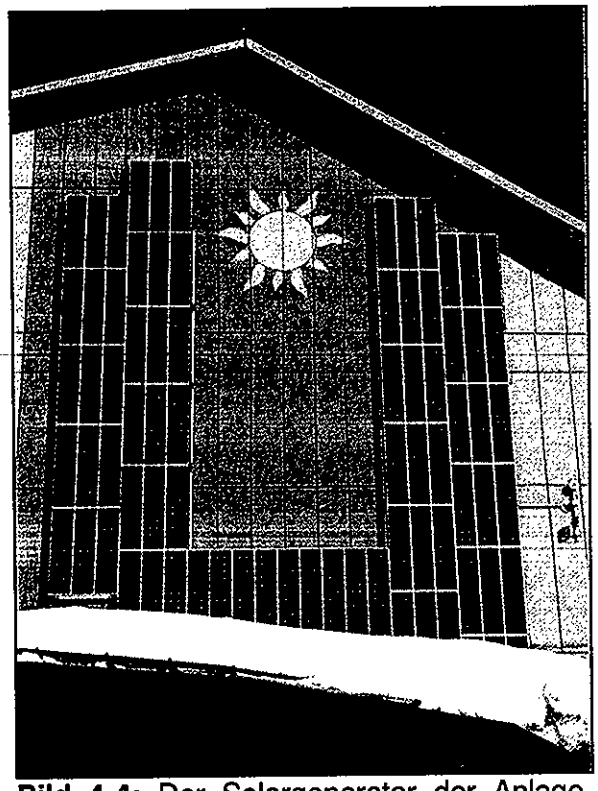


Bild 4-4: Der Solargenerator der Anlage Birg an der Mittelstation der Schilthorn-Luftseilbahn. Im Sommerhalbjahr wird der obere Teil des Generators vormittags durch das Dach verschattet.

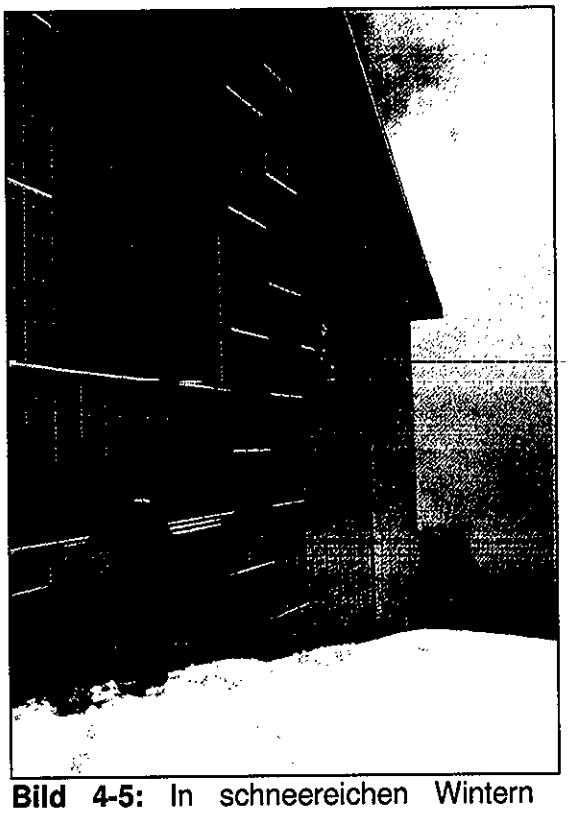


Bild 4-5: In schneereichen Wintern werden die unteren Module und der Feldanschlusskasten (weisser Kasten links im Bild) durch Schnee bedeckt, was Ertragsverluste zur Folge hat.

Betriebsverhalten:

Die Anlage Birg ist seit dem 21.12.1992 in Betrieb. Die anfänglichen betrieblichen Schwierigkeiten wurden bis Mitte 1994 behoben (Wechselrichterdefekte, Störung des Betriebsfunks der Schilthornbahn durch den Wechselrichter, längere Abschaltungen des Wechselrichters wegen schlechter Netzverhältnisse). Abgesehen von zeitweiligen Verschattungen des Solargenerators durch Schnee und überhängender Dachkante ist die Funktion der Anlage trotz extremer Witterungsbedingungen sehr gut. Kürzere Abschaltungen des Wechselrichters treten beim Anlauf der Luftseilbahn-Motoren immer noch auf, haben jedoch keinen nennenswerten Einfluss auf den Energieertrag der Anlage. Die jährliche

Energieproduktion der Anlage ist mit den der besten Anlagen im Mittelland vergleichbar (Tabelle 4-5). Das Ertragsprofil unterscheidet sich jedoch deutlich, da der Solargenerator auf Birg vertikal an der Fassade montiert ist, im Sommer oft diesiges Wetter herrscht und die Anlage nicht von Gletscherreflexionen profitieren kann wie z.B. die Anlage Jungfraujoch. Der Winterenergieanteil erreicht somit Rekordwerte von über 58% (siehe auch Kapitel 5.2).

Betriebsjahr	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**
Energieproduktion in kWh/kWp	**573**	**885**	**1090**	**1079**	**1111**	**1103**
Temperatur-Korrekturfaktor k_T in %	101,1	101,8	101,4	101,3	100,3	100,4
Generator-Korrekturfaktor k_G in %	49,3	78,5	84,6	86,3	84,3	84,6
Wechselrichter-Nutzungsgrad n_I in %	89,2	90,5	91,2	90,8	90,7	90,6
Performance Ratio in %	**44,5**	**72,3**	**78,2**	**79,3**	**76,7**	**77,0**

Tabelle 4-5: Messdatenauswertung der Anlage Birg in den Betriebsjahren 1993 bis 1998 (Referenz-Strahlungsmessung: ***Pyranometer***).

Durch folgende Änderungen wäre eine Steigerung des Energieertrags der Anlage möglich:

- Durch Umverkabelung einiger Module könnte die Verschattung von mehreren Modulsträngen meistens vermieden werden. Der Anlagenbetreiber erwägt eine solche Umverkabelung im Jahre 1999.
- Andere Plazierung der Module, damit die Verschattung durch Schnee und vorstehender Dachkante vermieden wird (Bild 4-4, Bild 4-5, Bild 4-6 und Bild 4-7).

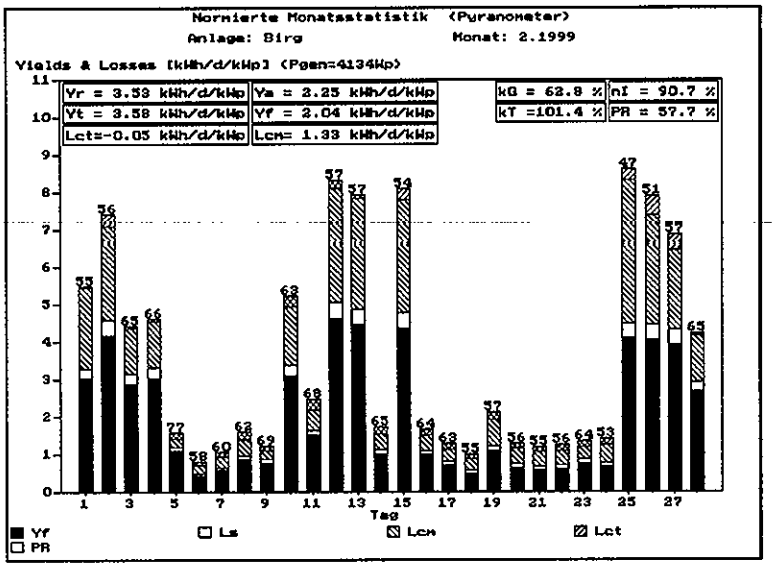


Bild 4-6:
Durch die starken Schneefälle im Januar und Februar 1999 wurde der Solargenerator der Anlage Birg erheblich verschattet. Der Generator-Korrekturfaktor k_G lag um ca. 25% unter dem üblichen Wert bei unverschattetem Solargenerator in dieser Jahreszeit.

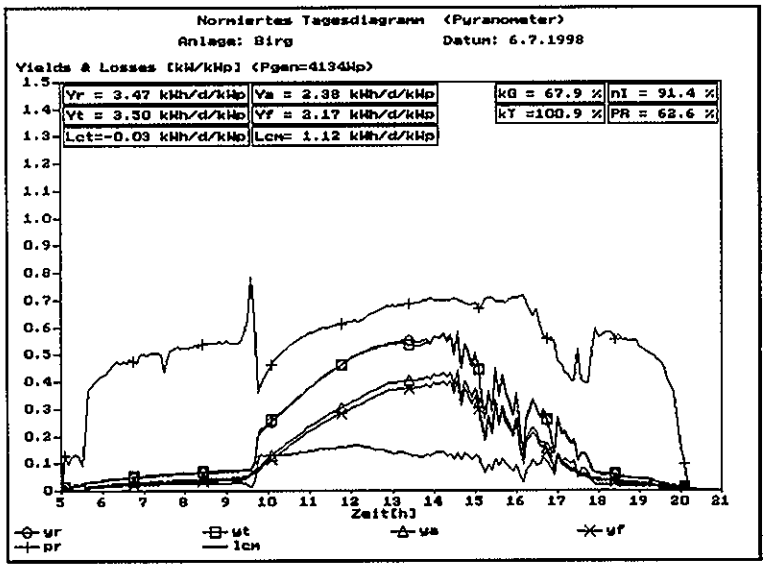


Bild 4-7:
In den Vormittagsstunden (ab ca. 9:50 Uhr) der Sommermonate werden 2 der 13 Modulstränge durch die überstehende Dachkante verschattet. Die nicht temperaturbedingten Verluste L_{cm} (unterste Linie ohne Markierungen) sind in dieser Zeit relativ hoch und sinken erst nachmittags langsam ab. Dadurch ergibt sich ein relativ niedriger Generator-Korrekturfaktor k_G.

4.3 Jungfraujoch

Ort:	Hochalpine Forschungsstation, 3801 Jungfraujoch; 3454 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	27.10.1993		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M75 (24 Stück)		
Feldleistung:	1152 Wp (nom.) / 1130Wp (eff.)	Neigung:	90° (Fassade)
Bruttofläche:	9,65 m^2	Ausrichtung:	12° / 27° West
Wechselrichter:	ASP TopClass 2500/4 Grid III	seit 16.07.96	
	ASP TopClass 1800	vom 29.10.93 bis 16.07.96	

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in beide Modulebenen (2 Pyranometer und 2 Referenzzellen)
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichströme (Ströme der beiden Arrays werden separat gemessen)
- Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung
- Netzspannung

Tabelle 4-6: Technische Angaben zur PV-Anlage Jungfraujoch.

Betriebsverhalten:

Die Anlage Jungfraujoch arbeitet seit ihrer Inbetriebnahme Ende Oktober 1993 störungsfrei mit einer Verfügbarkeit von Energieproduktion und Messdaten von 100%.
Der vom Solargenerator erzeugte Gleichstrom wurde zunächst von einem Wechselrichter Top Class 1800 Grid in netzkonformen Wechselstrom umgewandelt. Im Juli 1996 wurde der Wechselrichter zur Steigerung des Energieertrags durch ein verbessertes Modell Top Class 2500/4 Grid III ersetzt. Aus dem gleichen Grund wurden im Juli 1996 auch die Strangdioden überbrückt.
Die Anlage überstand erfolgreich viele Stürme mit Windgeschwindigkeiten bis über 250 km/h und heftige Gewitter mit Naheinschlägen, die in anderen Experimenten in der Forschungsstation Schäden verursachten. Die hohen thermischen und mechanischen Beanspruchungen durch starke und schnelle Temperaturänderungen (z.B. totale Temperaturdifferenz Tag-Nacht bis zu 70°C) konnten ihr ebenfalls nichts anhaben.
Auch der Wechselrichter hatte dank der relativ guten Netzverhältnisse (grosse Trafos in der Nähe) und dank dem aufwendigen Überspannungsschutz keine nennenswerten Probleme und funktionierte ausser ganz wenigen durch Spannungsschwankungen verursachten Kurzabschaltungen in den über 69 Monaten seit Inbetriebnahme der Anlage einwandfrei. Als einziges betriebliches Problem der Anlage treten ab und zu temporäre Reif- und Schneebedeckungen des Solargenerators auf.

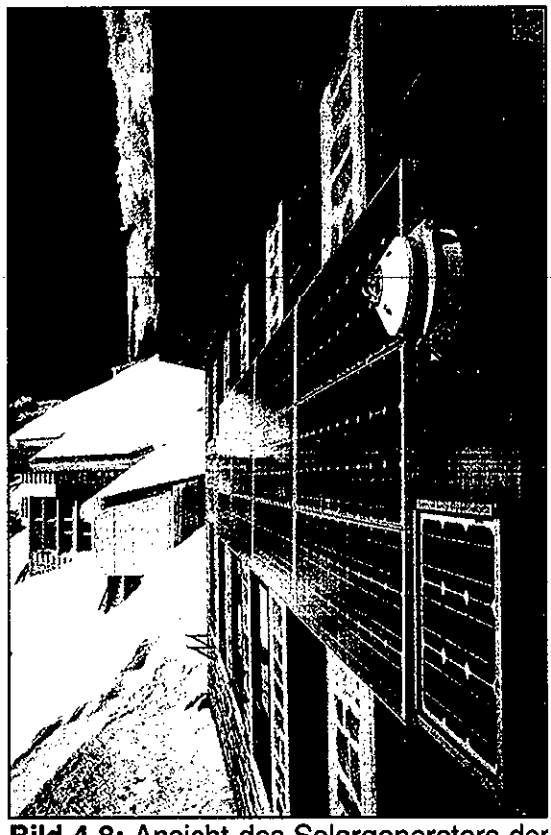


Bild 4-8: Ansicht des Solargenerators der Photovoltaikanlage der HTA Burgdorf an der Fassade der hochalpinen Forschungsstation Jungfraujoch (3454m) mit dem Restaurant Jungfraujoch im Hintergrund.

Für einen ersten Überblick über die Energieproduktion bezogen auf die effektive Generatorleistung von 1,13 kWp, die Korrekturfaktoren und dem Wirkungsgrad der Anlage Jungfraujoch eignen sich die Tabelle 4-7 und Tabelle 4-8.

Betriebsjahr	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**
Energieproduktion in kWh/kWp	**1272**	**1404**	**1454**	**1504**	**1452**
Temperatur-Korrekturfaktor k_T in %	102,2	101,2	101,0	100,5	101,4
Generator-Korrekturfaktor k_G in %	88,3	88,8	89,2	88,9	90,2
Wechselrichter-Nutzungsgrad n_I in %	89,6	89,9	90,6	91,8	91,8
Performance Ratio in %	**80,9**	**80,7**	**81,6**	**82,0**	**84,0**

Tabelle 4-7: Messdatenauswertung der Anlage Jungfraujoch in den Betriebsjahren 1994 bis 1998 (Referenz-Strahlungsmessung: ***Pyranometer***).

Betriebsjahr	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**
Energieproduktion in kWh/kWp	**1272**	**1404**	**1454**	**1504**	**1452**
Temperatur-Korrekturfaktor k_T in %	102,2	101,4	101,2	100,7	101,6
Generator-Korrekturfaktor k_G in %	89,3	92,3	92,3	92,3	93,3
Wechselrichter-Nutzungsgrad n_I in %	89,6	89,9	90,6	91,8	91,8
Performance Ratio in %	**81,8**	**84,1**	**84,7**	**85,3**	**87,0**

Tabelle 4-8: Messdatenauswertung der Anlage Jungfraujoch in den Betriebsjahren 1994 bis 1998 (Referenz-Strahlungsmessung: ***Referenzzelle***).

Im Nachfolgenden wird das genaue Betriebsverhalten der Anlage Jungfraujoch in den Jahren 1994 bis 1998 anhand der normierten Jahresstatistiken bezogen auf die Referenz-Strahlungsmessung mit Referenzzelle genauer erläutert.

Im Jahre **1994** erzielte die Anlage mit einem auf die nominelle Generatorleistung von 1,152 kWp bezogenen spezifischen Energieertrag von 1247 kWh/kWp (bezogen auf die effektive Generatorleistung von 1,13 kWp gar 1272 kWh/kWp) bereits einen Rekordwert für die Jahresproduktion, der von keiner anderen Anlage in der Schweiz übertroffen wurde. Der Energieertrag wurde in diesem Jahr durch teilweise Schneebedeckung des Generators im Frühling (April bis Juni) beeinträchtigt. Der Winterenergieanteil betrug in diesem Jahr 48,0% . Der Jahreswert der Performanz PR erreichte einen Wert von gegen 81,8% (siehe Bild 4-9).

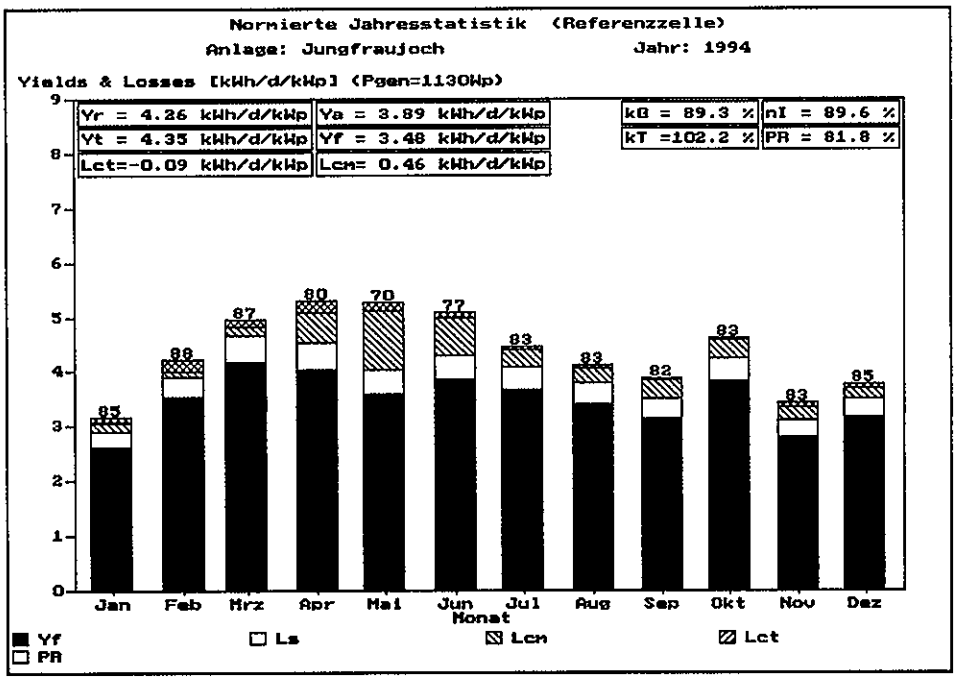


Bild 4-9:
Normierte Jahresstatistik für die Energieproduktion der netzgekoppelten Photovoltaikanlage Jungfraujoch für 1994.

Im Jahre **1995** stieg die Einstrahlung in die Generatorebene gegenüber dem Vorjahr deutlich an. Zudem war die Schneebedeckung im Frühling wesentlich geringer als 1994. Deshalb erhöhte sich 1995 die spezifische Energieproduktion auf 1377 kWh/kWp (bezogen auf die effektive Generatorleistung gar auf 1404 kWh/kWp). Trotz eines Anstiegs der Winterenergieproduktion in Vergleich zum Vorjahr sank der relative Winterenergieanteil wegen eines noch stärkeren Anstiegs der Sommerenergieproduktion auf 45,0%. Der Jahreswert der Performanz PR stieg auf 84,1% (siehe Bild 4-10).

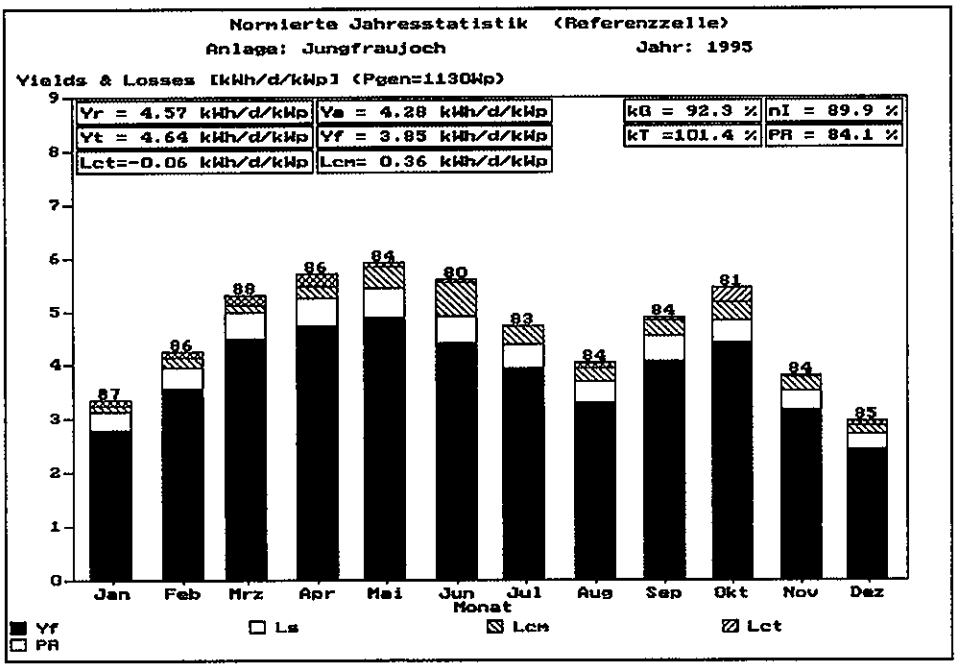


Bild 4-10:
Normierte Jahresstatistik für die Energieproduktion der netzgekoppelten Photovoltaikanlage Jungfraujoch für 1995.

Im Jahre **1996** erreichte die Anlage einen spezifischen Energieertrag von 1426 kWh/kWp (bezogen auf die effektive Generatorleistung gar 1454 kWh/kWp). Die in der Generatorebene gemessene Einstrahlung stieg gegenüber dem Vorjahr erneut leicht an. Die hohen Energieerträge sind sicher auch der in diesem Jahr sehr geringen Schneebedeckung im Frühling zu verdanken. Der Winterenergieanteil betrug in diesem Jahr 44,6 %. Die Wirkung der im Juli 1996 durchgeführten Massnahmen zur Leistungssteigerung ist deutlich zu erkennen, liegen doch die PR-Werte ab August 1996 meist etwa 2% bis 3% höher als in vergleichbaren Monaten der Jahre 1994 und 1995. Der Jahreswert der Performanz PR erreichte einen Wert von 84,7% (siehe Bild 4-11).

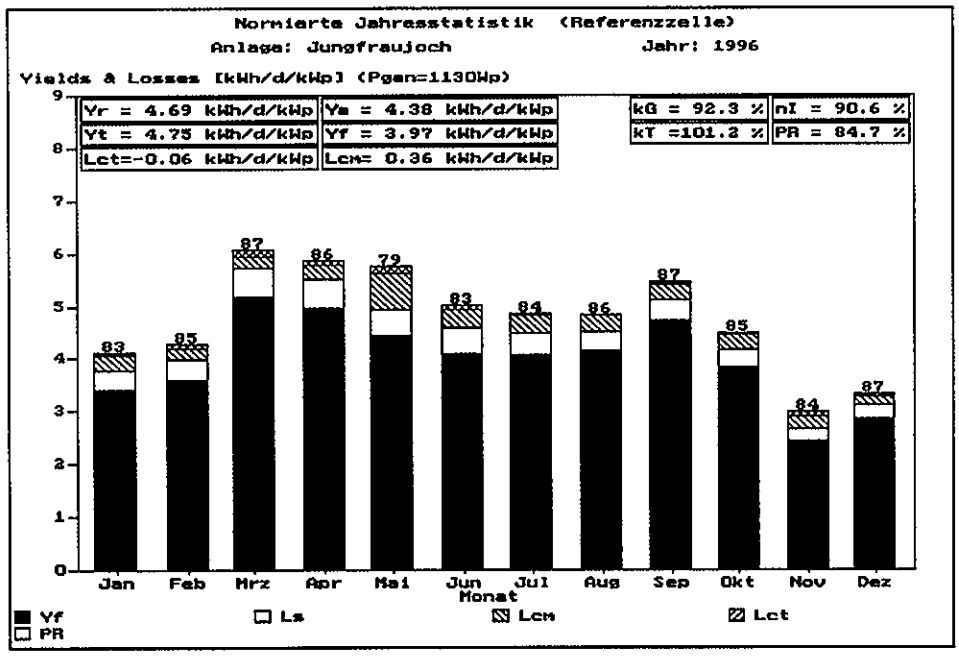


Bild 4-11:
Normierte Jahresstatistik für die Energieproduktion der netzgekoppelten Photovoltaikanlage Jungfraujoch für 1996.

Im Jahre **1997** erzielte die Anlage mit einem spezifischen Energieertrag von 1476 kWh/kWp (bezogen auf die effektive Generatorleistung gar 1504 kWh/kWp) den bisherigen Rekordwert für die Produktion in einem Kalenderjahr. Die in der Generatorebene gemessene Einstrahlung stieg gegenüber dem Vorjahr erneut leicht an. Der Winterenergieanteil betrug in diesem Jahr 44,9 %. Der Jahreswert der Performanz PR stieg auf 85,3% (siehe Bild 4-12).

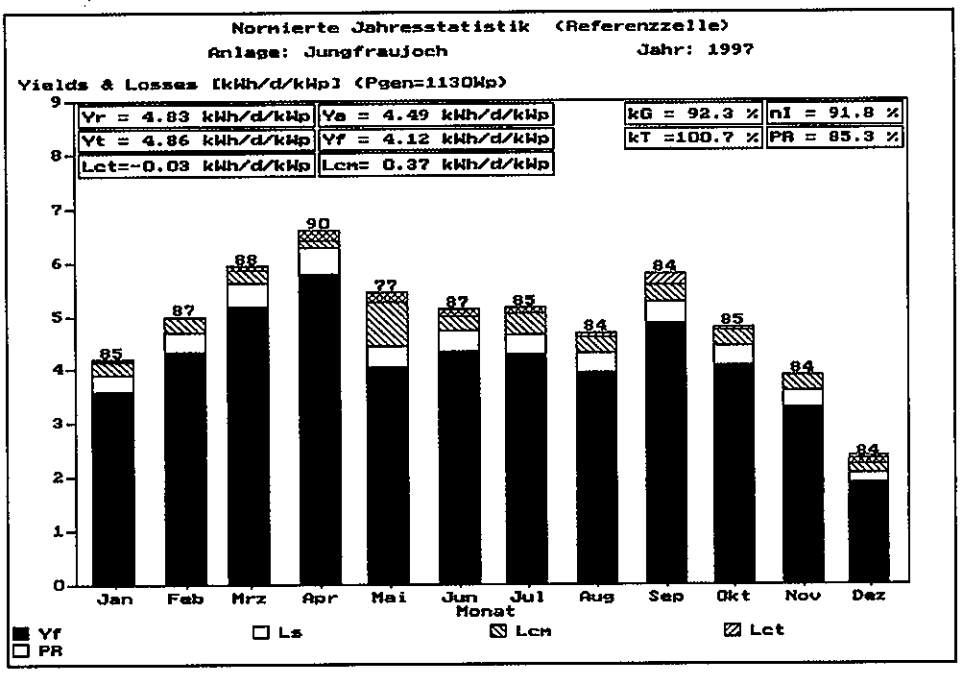


Bild 4-12:
Normierte Jahresstatistik für die Energieproduktion der netzgekoppelten Photovoltaikanlage Jungfraujoch für 1997.

Im Jahre **1998** war die Produktion der Anlage primär wegen geringerer Einstrahlung (gleich wie 1995!) wieder etwas geringer. Der Energieertrag betrug 1424 kWh/kWp (bezogen auf die effektive Generatorleistung gar 1452 kWh/kWp). In diesem Jahr war die Energieproduktion (vor allem in der zweiten Jahreshälfte) relativ gleichmässig. Es wurden sowohl beim Winterenergieanteil (48,5 %) als auch beim Jahreswert der Performanz PR (87%) neue Rekordwerte erreicht (siehe Bild 4-13).

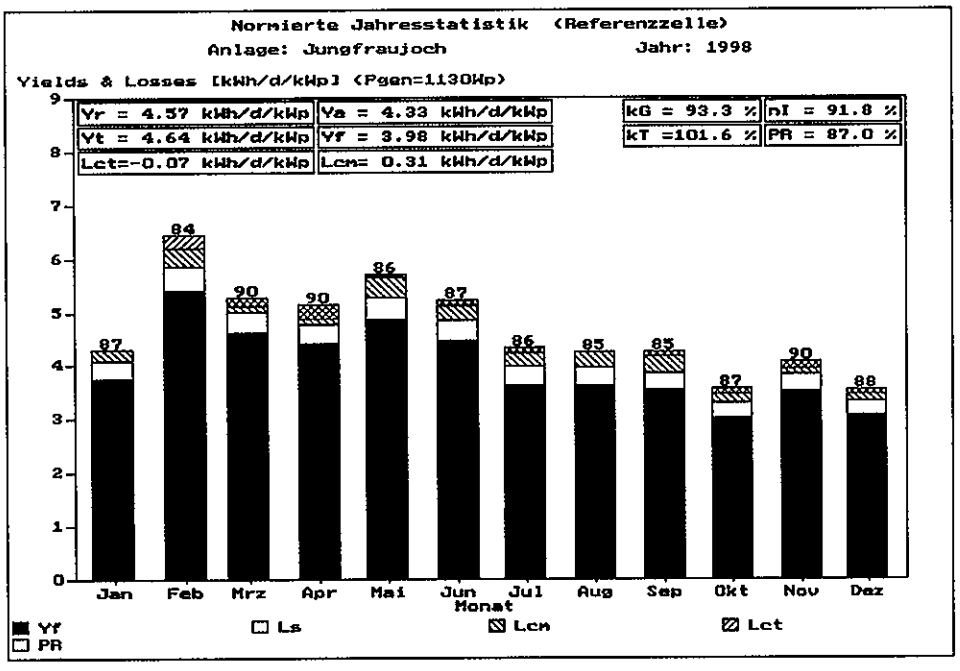


Bild 4-13:
Normierte Jahresstatistik für die Energieproduktion der netzgekoppelten Photovoltaikanlage Jungfraujoch für 1998.

Im **Mittel über diese fünf Jahre** betrug die **Energieproduktion** 1390 kWh/kWp (bezogen auf die effektive Generatorleistung gar 1417 kWh/kWp). In der bisherigen Rekordperiode, der Zeit von März 1997 bis Feb. 1998, erreichte die jährliche Energieproduktion mit 1512 kWh/kWp (bezogen auf die effektive Generatorleistung gar 1541 kWh/kWp) den bisher höchsten Wert. Die Jahres-Performanz PR betrug in diesen 12 Monaten 85,2% und der Winterenergieanteil 46,2 %.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die nun einige Jahre durchgeführten Messungen belegen, dass eine richtig dimensionierte hochalpine netzgekoppelte Photovoltaikanlage dank der heute stark verbesserten Wechselrichterqualität den erwarteten Jahres-Energieertrag (je nach Lage 1000 kWh/kWp bis über 1400 kWh/kWp) in der Praxis auch tatsächlich erreichen und unter günstigen Bedingungen sogar noch etwas übertreffen kann. Durch die im Juli 1996 durchgeführten Massnahmen zur Leistungssteigerung konnte die Jahres-Performanz der Anlage Jungfraujoch wie erwartet etwas gesteigert werden. Für hochalpine netzgekoppelte Photovoltaikanlagen eignen sich sonnenexponierte Fassaden von Gebäuden mit Netzanschluss besonders gut. Wenn die Unterkante des Solargenerators genügend hoch über dem Erdboden oder Dächern montiert wird (deutlich höher als die zu erwartende mittlere Schneehöhe), sind die Energieverluste infolge Schnee- und Reifbedeckung gering. Die von derartigen Anlagen produzierte Energie passt viel besser ins Lastprofil der Stromversorgung in der Schweiz als die Energie von PV-Anlagen im Mittelland. Dank der meist vor direkten Blitzeinschlägen geschützten Lage in der Fassade lassen sich die in den Alpen häufigen atmosphärischen Überspannungen mit geeigneten Schutzmassnahmen gut beherrschen.

4.4 Schlossmatt 8, Burgdorf

Ort:	Schlossmattschulhaus, Grunerstrasse 7, 3400 Burgdorf; 540 m.ü.M.	
Inbetriebnahme:	17.03.1995	
Solargenerator:		
Module:	Siemens M55 (60 Stück)	
Feldleistung:	3180 Wp (nominell)	Neigung: 30° (Schrägdachaufständerung)
Bruttofläche:	25,6 m^2	Ausrichtung: 7° Ost
Wechselrichter:	Sputnik SolarMaxS	

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer und Referenzzelle
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichstrom und Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung
- Netzspannung

Tabelle 4-9: Technische Angaben zur PV-Anlage Schlossmatt 8, Burgdorf.

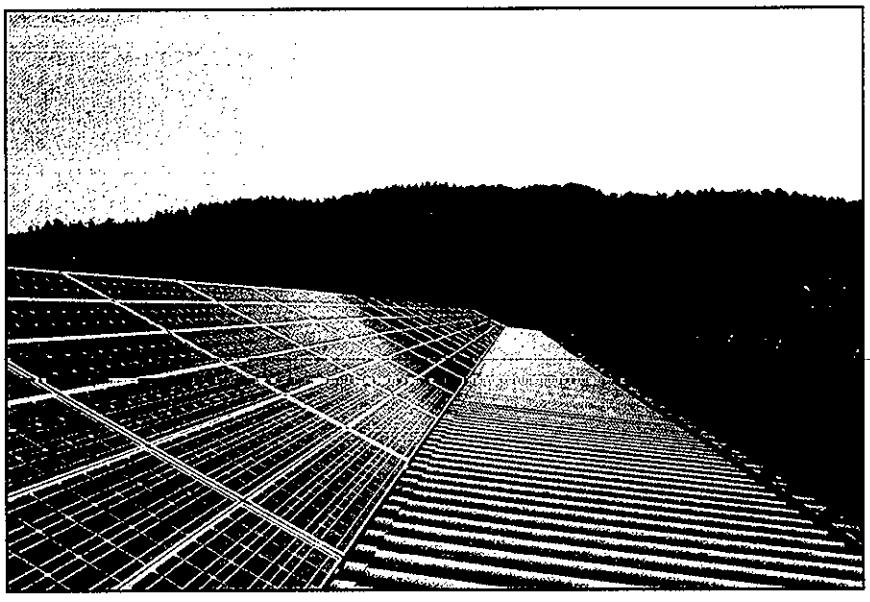


Bild 4-14:
Auf diesem Dach des Schlossmattschulhauses befinden sich zwei gleiche Aufständerungsreihen. Der Solargenerator ist in sechs Anlagen mit je einem Wechselrichter unterteilt. Der Solargenerator der Anlage Schlossmatt 8 befindet sich auf der vorderen Aufständerungsreihe (rechts im Bild noch erkennbar).

Betriebsverhalten:

Seit der Inbetriebnahme am 17.03.95 arbeitet die Anlage Schlossmatt 8 störungsfrei. Die ehemals an der Anlage IBI/Interlaken eingesetzte Fein-Messtechnik wurde am 01.01.97 an der Anlage Schlossmatt 8 in Betrieb genommen. Leider ergaben sich seither kurzzeitige Messdatenausfälle, die durch einen Defekt des mehrere Jahre alten Datalogger DT50 verursacht wurden. Im Betriebsjahr 1997 betrug somit die Verfügbarkeit der Messdaten 97,8% und im Betriebsjahr 1998 nur 94,0%. Seitdem das defekte Gerät ersetzt wurde, funktioniert die Messtechnik wieder einwandfrei.

Die PV-Anlagen mit hoher Betriebsspannung von bis zu 700V und ohne galvanische Trennung von AC- und DC-Seite im Wechselrichter liefern die höchsten spezifischen Energieerträge in Burgdorf (siehe auch Kapitel 5.1). Durch die hohe Betriebsspannung und dem kleinen Betriebsstrom (2 Stränge à 30 Module) werden die Verluste in der Gleichstromverkabelung tief gehalten. Zudem fallen die Verluste an den Strangdioden weg. Der Umwandlungs-Wirkungsgrad des Wechselrichters ist jedoch in etwa gleich gross wie der von den mit herkömmlicher niedriger Betriebsspannung und galvanischer Trennung (Vergleiche Anlage Gfeller Tabelle 4-3 und Anlage Schlossmatt 8 Tabelle 4-10). Ob aufgrund der neuen Technik frühzeitig Probleme auftreten (z.B. schnellere Alterung der Module), konnte bisher nicht beobachtet werden.

Wie in Kapitel 3.2.2 schon erwähnt sind auch diese Solargeneratoren mit einer permanenten Schmutzschicht überzogen, die eine deutliche Leistungsreduktion der Anlagen zur Folge hat. Der Anlagenstandort ist jedoch weit entfernt von Eisenbahnstrecken und grösseren Industriegebieten. Die Ermittlung der genauen Zusammensetzung des Schmutzes wäre aus diesem Grund von grossem Interesse.

Die Messdatenauswertung der letzten zwei Betriebsjahre der Anlage Schlossmatt 8 ist in Tabelle 4-10 und Tabelle 4-11 aufgeführt. Auf Grund des erwähnten Messdatenausfalls wurde in den Tabellen die effektive jährliche Energieproduktion gemäss der Stromzähler-Messung der IBB angegeben. Temperatur-Korrekturfaktor, Generator-Korrekturfaktor, Wechselrichter-Nutzungsgrad und Performance Ratio wurden durch die Feinmessung der HTA Burgdorf ermittelt, da der Einfluss des Messdatenausfalls auf diese Messergebnisse vernachlässigbar gering ist.

Betriebsjahr	**1997**	**1998**
Energieproduktion in kWh/kWp	**1131**	**1059**
Temperatur-Korrekturfaktor k_T in %	96,4	97,1
Generator-Korrekturfaktor k_G in %	91,2	89,3
Wechselrichter-Nutzungsgrad n_I in %	91,5	90,4
Performance Ratio in %	**80,5**	**78,4**

Tabelle 4-10: Messdatenauswertung der Anlage Schlossmatt 8 in den Betriebsjahren 1997 und 1998 (Referenz-Strahlungsmessung: ***Pyranometer***).

Betriebsjahr	**1997**	**1998**
Energieproduktion in kWh/kWp	**1131**	**1059**
Temperatur-Korrekturfaktor k_T in %	95,9	96,3
Generator-Korrekturfaktor k_G in %	94,9	93,3
Wechselrichter-Nutzungsgrad n_I in %	91,5	90,4
Performance Ratio in %	**83,3**	**81,3**

Tabelle 4-11: Messdatenauswertung der Anlage Schlossmatt 8 in den Betriebsjahren 1997 und 1998 (Referenz-Strahlungsmessung: ***Referenzzelle***).

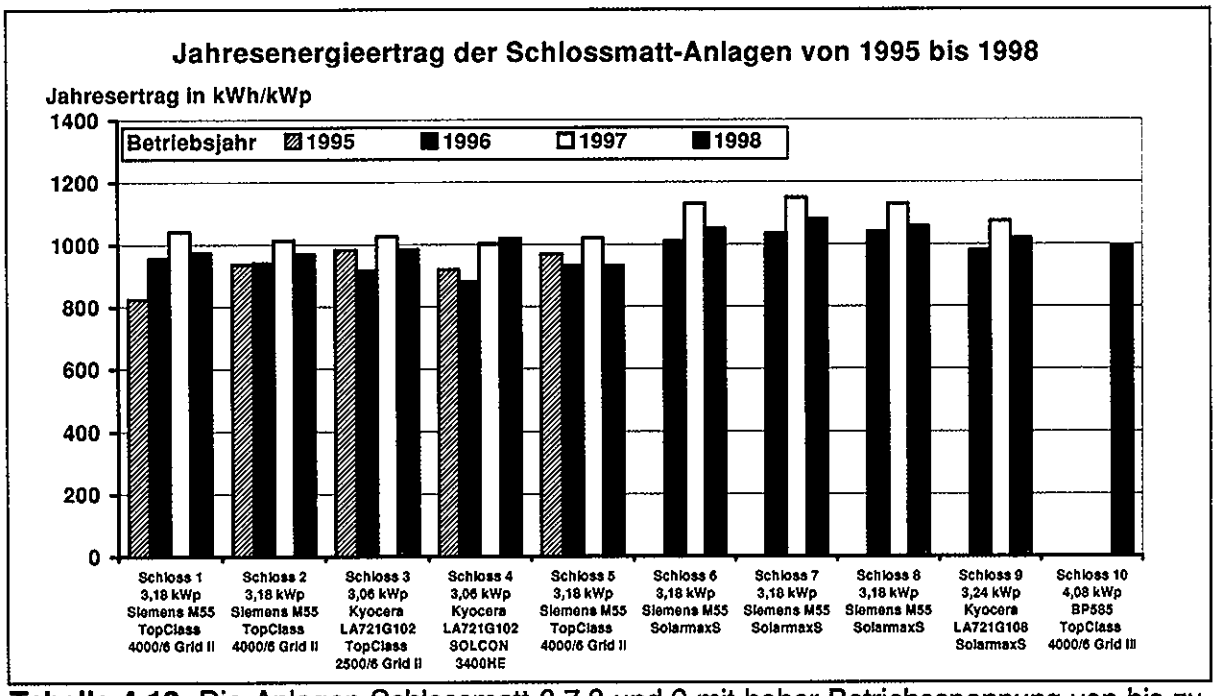


Tabelle 4-12: Die Anlagen Schlossmatt 6,7,8 und 9 mit hoher Betriebsspannung von bis zu 700V (SolarMaxS) liefern deutlich höhere Jahresenergieerträge im Gegensatz zu den Anlagen mit herkömmlich niedrigen Betriebsspannungen (ca. 120V).

4.5 Elektra Baselland (EBL), Liestal

Ort:	Mühlemattstrasse 6, Magazingebäude, 4410 Liestal; 327 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	1992		
Solargenerator:			
Module:	Kyocera LA361H51 (364 Stück)		
Feldleistung:	18560 Wp (nom.) / 17070 Wp (eff.)	Neigung:	30° (Flachdach)
Bruttofläche:	159,1 m^2	Ausrichtung:	0° Süd
Wechselrichter:	Sputnik SolarMax20		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer und Referenzzelle
- Sonneneinstrahlung in Horizontalebene mit Pyranometer
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichstrom und Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung (3-phasig)
- Netzspannung auf Phase 1

Tabelle 4-13: Technische Angaben zur PV-Anlage EBL Liestal.

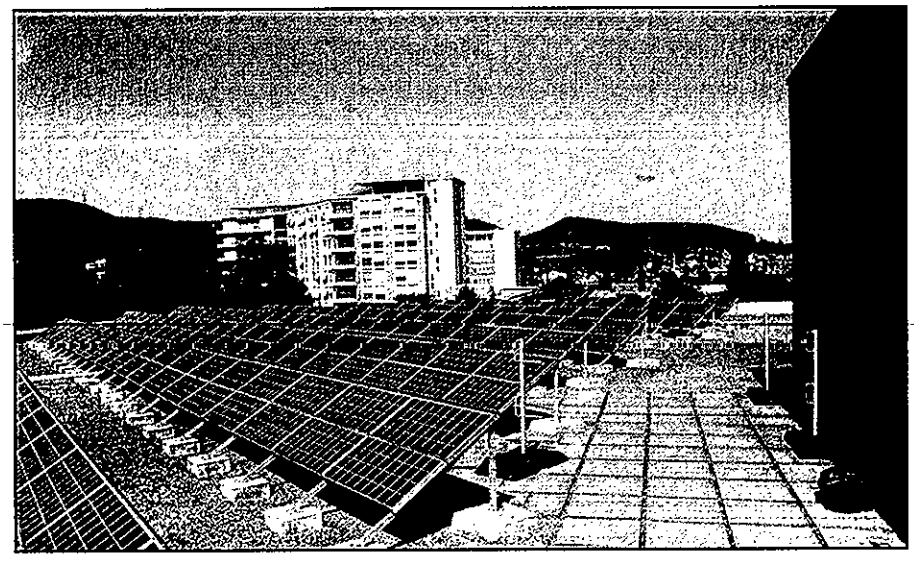


Bild 4-15:
Der Solargenerator der 18,6 kWp-Anlage EBL Liestal. Einige Meter hinter dem Aufnahmestandort befindet sich ein Heizungsabluftrohr, das bis 1998 in Betrieb war und den vorderen Teil des Generators mit einer gleichmässigen Schmutzschicht überzog.

Betriebsverhalten:

Die 18,56-kWp-Anlage EBL Liestal ist seit 1992 in Betrieb. Am 13.12.96 wurde die Anlage mit in das Feinmessprogramm der HTA Burgdorf aufgenommen. Die Anlage weist nach dem Ersatz der alten 4A-Strangsicherungen durch 5A-Strangsicherungen am 07.07.1997 ein sehr gutes Betriebsverhalten auf (siehe Kapitel 3.3.2). Da seither keine Ausfälle von Strangsicherungen mehr auftraten, liegt der Generator-Korrekturfaktor k_G und das Performance Ratio nun etwas höher (siehe Tabelle 4-14 und Tabelle 4-15). Ab und zu treten Wechselrichter-Kurzabschaltungen auf, die jedoch keine nennenswerte Beeinträchtigung der Energieproduktion zur Folge haben. Hervorgerufen werden diese Kurzabschaltungen vermutlich durch Rundsteuersignale. Am 04.06.97 wurde zur Steigerung des Energieertrags der Anlage ein Fahnenmast, der vor allem im Winterhalbjahr (Oktober bis März) den Solargenerator beschattete, versetzt. Im August 1998 wurde der Solargenerator geputzt und Kennlinienmessungen durchgeführt (siehe Kapitel 3.2.2).

Betriebsjahr	1997	1998
Energieproduktion in kWh/kWp	**990**	**948**
Temperatur-Korrekturfaktor k_T in %	96,6	96,9
Generator-Korrekturfaktor k_G in %	82,4	83,2
Wechselrichter-Nutzungsgrad n_i in %	89,6	89,5
Performance Ratio in %	**71,3**	**72,2**

Tabelle 4-14: Messdatenauswertung der Anlage EBL Liestal in den Betriebsjahren 1997 und 1998 (Referenz-Strahlungsmessung: ***Pyranometer***).

Betriebsjahr	1997	1998
Energieproduktion in kWh/kWp	**990**	**948**
Temperatur-Korrekturfaktor k_T in %	95,8	96,1
Generator-Korrekturfaktor k_G in %	86,7	87,9
Wechselrichter-Nutzungsgrad n_i in %	89,6	89,5
Performance Ratio in %	**74,5**	**75,7**

Tabelle 4-15: Messdatenauswertung der Anlage EBL Liestal in den Betriebsjahren 1997 und 1998 (Referenz-Strahlungsmessung: ***Referenzzelle***).

Hinsichtlich der Degradation von PV-Modulen wäre eine Fortführung der messtechnischen Überwachung der Anlage EBL Liestal von grossem Interesse. Bei den hier verwendeten Kyocera-Modulen tritt aus den meisten Modulen Dichtungsmasse aus dem Rahmen heraus, eine Leistungsminderung konnte bisher jedoch nicht festgestellt werden.
Zudem fällt die zum Teil starke Rostbildung an der verzinkten Montagestruktur auf. Dieses Problem wurde schon an mehreren Anlagen beobachtet. Aus ästhetischen und besonders statischen Gründen ist der Einsatz von verzinktem Stahl für die Aufständerung von Solargeneratoren nicht unproblematisch.

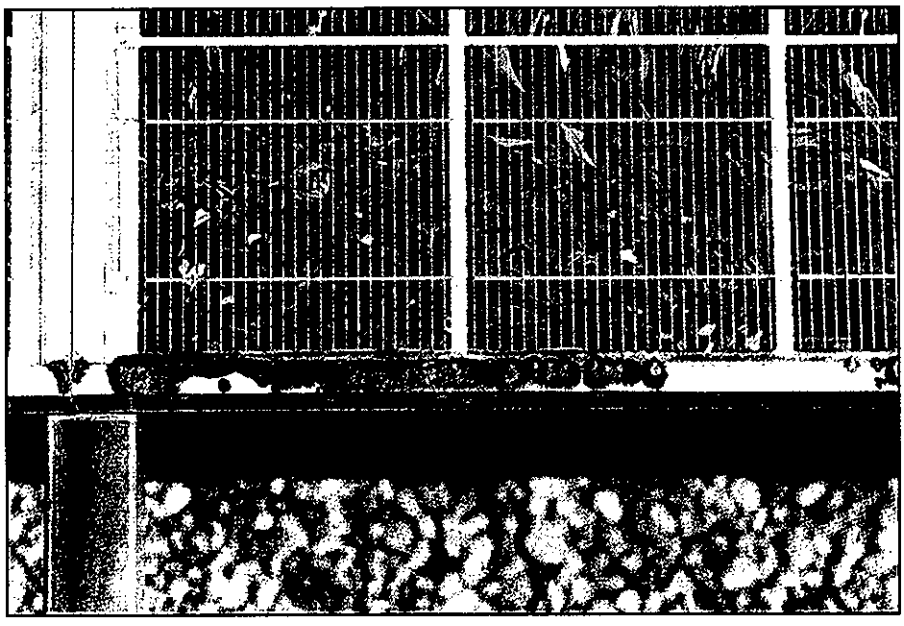


Bild 4-16:
Aus dem Grossteil der bei der Anlage EBL Liestal verwendeten Module tritt Dichungsmasse aus. Die aus verzinktem Stahl bestehende Montagestruktur rostet.

4.6 IBB Gsteighof, Burgdorf

Ort:	Pestalozzistrasse 73, Schulgebäude, 3400 Burgdorf; 540 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	18.05.1995		
Solargenerator:			
Module:	Solarex MSX120 (136 Stück)		
Feldleistung:	16320 kWp (nom.) / 15680 kWp (eff.)	Neigung:	30° (Flachdach)
Bruttofläche:	151,1 m^2	Ausrichtung:	20° Ost
Wechselrichter:	Sputnik SolarMax15		
Messgrössen:			
• Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Referenzzelle			
• Sonneneinstrahlung in Horizontalebene mit Silizium-Pyranometer			
• Umgebungstemperatur und Modultemperatur			
• DC- und AC-Leistung			

Tabelle 4-16: Technische Angaben zur PV-Anlage IBB Gsteighof.

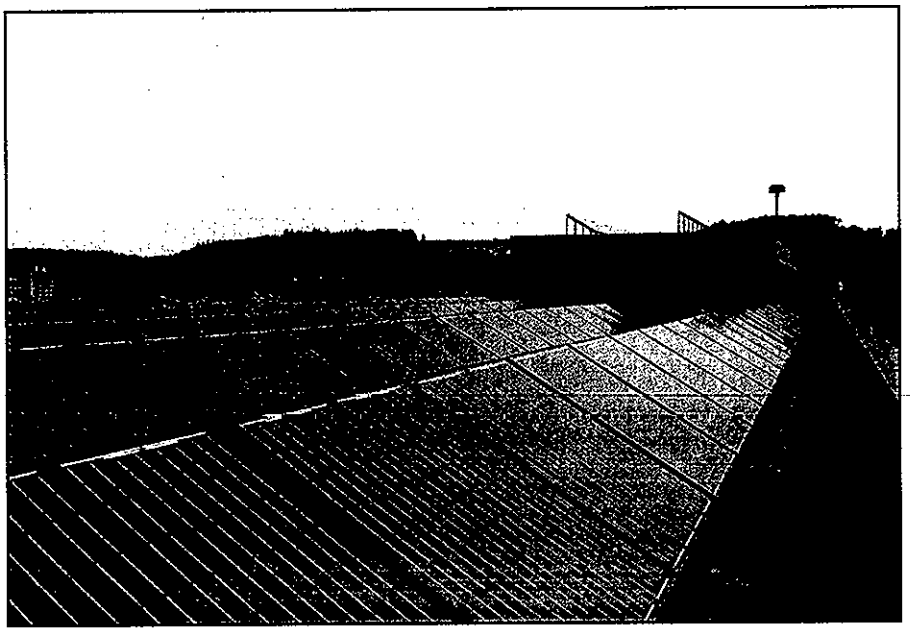


Bild 4-17:
Der Solargenerator der IBB Gsteighof ist über zwei Dachflächen verteilt. Ein Teil befindet sich noch auf dem kleinen Lift- und Schulraumgebäude.

Betriebsverhalten:

Die Anlage IBB Gsteighof und die dazugehörige Fein-Messtechnik ist seit Mai 1995 störungsfrei in Betrieb. Die Messeinrichtung wurde nicht durch die HTA Burgdorf installiert, jedoch der Zugang zu den Messdaten ist dank der IBB gewährleistet und somit können auch diese für das Langzeitmessprogramm mit erfasst und ausgewertet werden. Trotz der nicht ganz optimalen Ausrichtung der Anlage (20° Ost) liegt die jährliche Energieproduktion über dem Mittelwert der Anlagen mit elektronischem Wechselrichter in Burgdorf. Hier wirken sich die hohe Betriebsspannung des Wechselrichters und die nach 3 Betriebsjahren kaum verschmutzten 120Wp-Grossmodule positiv aus.

Betriebsjahr	**1996**	**1997**	**1998**
Energieproduktion in kWh/kWp	**913**	**1006**	**967**
Temperatur-Korrekturfaktor k_T in %	97,5	97,0	97,2
Generator-Korrekturfaktor k_G in %	84,5	85,2	85,0
Wechselrichter-Nutzungsgrad η_I in %	89,6	89,7	89,4
Performance Ratio in %	**73,8**	**74,1**	**73,9**

Tabelle 4-17: Messdatenauswertung der Anlage IBB Gsteighof in den Betriebsjahren 1996 und 1998 (Referenz-Strahlungsmessung: ***Referenzzelle***).

4.7 Testanlage HTA Burgdorf

Ort:	Jlcoweg 1, Abt. Elektrotechnik, 3400 Burgdorf; 530 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	12.01.1994		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55HO (1056 Stück)		
Feldleistung:	59,66 kWp	Neigung:	30° (Sheddach)
Bruttofläche:	450,6 m^2	Ausrichtung:	29° West
Wechselrichter:	siehe Tabelle 4-19		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer und Referenzzelle
- Sonneneinstrahlung in Horizontalebene mit Pyranometer
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichströme und Gleichspannungen
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistungen
- Netzspannung

Tabelle 4-18: Technische Angaben zur PV-Testanlage HTA Burgdorf.

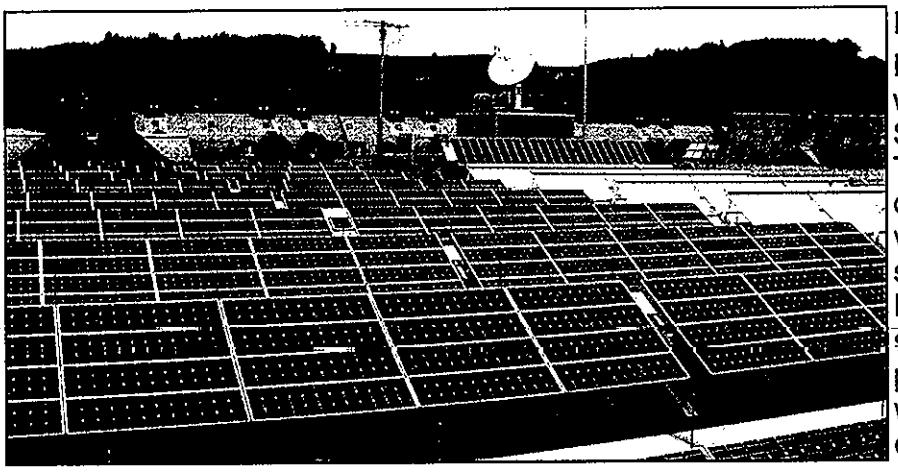


Bild 4-18:
Das Bild zeigt die westliche Hälfte des Solargenerators der Testanlage HTA Burgdorf. Die Durchführung von Langzeitmessungen, aber auch der Betrieb eines Laborprüfstandes für netzgekoppelte Wechselrichter wird durch die Anlage ermöglicht.

Betriebsverhalten:

Die 60kWp-Testanlage auf dem Gebäude der Abteilung Elektrotechnik ist seit dem 12.01.1994 in Betrieb. Sämtliche Wechselrichter der Anlage werden messtechnisch überwacht (siehe Tabelle 4-19). Da für den Wechselrichter-Laborprüfstand temporäre Umverkabelungen am Solargenerator vorgenommen werden, ist die zur Verfügung stehende Solargeneratorleistung für die meisten Wechselrichter nicht immer gleich gross. Aus diesem Grund werden nur die normierten Jahresstatistiken der unveränderten Teilanlagen (in Tabelle 4-19 markiert) im Anhang 1 dargestellt. In der Wechselrichterausfallstatistik in Kapitel 3.1 werden jedoch alle Geräte berücksichtigt.

Wechselrichter	Messzeitraum	Art der Messung
SolarMax 20	12.01.1994 –	Feinmessung*
EcoPower 20	09.02.1994 – 14.11.1998	Feinmessung
SolarMaxDC30+	18.12.1998 –	Feinmessung
Solcon 3400 HE	16.02.1994 –	Feinmessung
TopClass 4000/6 Grid III	03.06.1996 –	Feinmessung*
Edisun 200	01.11.1996 –	Feinmessung
TopClass 4000/6 Grid III	14.08.1996 –	Grobmessung
TopClass 4000/6 Grid III	14.08.1996 – 17.12.1998	Grobmessung
TopClass 1800	27.10.1993 –	Grobmessung
TopClass 2500/6 Grid III	14.08.1996 – 17.12.1998	Grobmessung

Tabelle 4-19:
Übersicht der Wechselrichter der 60kWp-Testanlage. Der defekte Ecopower 20 wurde durch den SolarMaxDC30+ ersetzt. Dazu mussten die Solargeneratoren des TopClass 4000/ Grid III und 2500/6 Grid III am grösseren SolarMaxDC30+ angeschlossen werden. Der TopClass 1800 wurde Anfangs an der Anlage Jungfraujoch eingesetzt.

5 Energieertrag und Ertragsprofile netzgekoppelter PV-Anlagen

5.1 Energieertrag der Burgdorfer PV-Anlagen

Im Rahmen des Burgdorfer Modells werden 34 PV-Anlagen betrieben. Alle Anlagen mit elektronischem Wechselrichter (ausgenommen ist hier die Anlage Firma 1 mit einer mechanischen Umformergruppe) sind mit einer Grob-Messtechnik der HTA Burgdorf ausgestattet. Bei der Betrachtung des Energieertrags der Burgdorfer Anlagen (Tabelle 5-1 und Tabelle 5-2) wurde die Anlage Firma 3 nicht berücksichtigt, da im Jahre 1997 die Anlage durch eine Erweiterung des Solargenerators verändert wurde. Im Anhang 1 befinden sich die normierten Jahresstatistiken aller Grobmessungen.

In den letzten drei Betriebsjahren lag die mittlere Energieproduktion der Burgdorfer Anlagen immer noch deutlich über dem schweizerischen Mittelwert der Jahre 1992 bis 1998 von 858 kWh/kWp (siehe [21]). Im bisherigen Rekordjahr 1997 betrug die mittlere Energieproduktion **969kWh/kWp**. Betrachtet man nur die mit elektronischen Wechselrichtern ausgerüsteten Anlagen, betrug der Energieertag sogar **1011kWh/kWp**. Neue Anlagen mit trafolosen Wechselrichtern erreichten an guten Lagen Produktionswerte, welche weit über 1000kWh/kWp lagen. Die beste Anlage erreichte in dieser Zeit gar **1152 kWh/kWp**.

Anlage	P_0 [kWp]	Wechselrichter	Module	β	γ	Ertrag [kWh/kWp]			
						1996	1997	1998	Mittel
Schlossmatt 7	3,18	Solarmax S	Siemens M55	30°	7°E	1035	1152	1082	1090
Gsteighof 6	3,30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S		1100	1058	1079
Gsteighof 1	3,30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S		1101	1053	1077
Gsteighof 3	3,30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S		1097	1056	1077
Schlossmatt 8	3,18	Solarmax S	Siemens M55	30°	7°E	1040	1131	1058	1077
Gsteighof 5	3,30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S		1095	1051	1073
Schlossmatt 6	3,18	Solarmax S	Siemens M55	30°	7°E	1010	1132	1053	1065
Gsteighof 4	3,30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S		1090	1023	1057
Lindenfeld 1	3,30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S	995	1099	1056	1050
Lindenfeld 3	3,30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S	995	1098	1051	1048
Lindenfeld 5	3,30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S	991	1093	1055	1046
Lindenfeld 2	3,30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S	988	1089	1041	1039
Lindenfeld 4	3,30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S	978	1075	1037	1030
Lindenfeld 6	3,30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S	998	1097	993	1030
Schlossmatt 9	3,24	Solarmax S	Kyocera G108	30°	7°E	981	1075	1019	1025
Gsteighof 2	3,30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S		1096	923	1009
Schlossmatt 10	4,08	TopClass 4000 III	BP 585	30°	7°E			992	992
Schlossmatt 1	3,18	TopClass 4000 II	Siemens M55	30°	7°E	956	1042	975	991
Schlossmatt 3	3,06	TopClass 2500 II	Kyocera G102	30°	7°E	918	1027	986	977
Firma 4	3,06	Solcon 3400HE	Kyocera K51	30°	0°S	974	1028	924	975
Schlossmatt 2	3,18	TopClass 4000 II	Siemens M55	30°	7°E	941	1015	969	975
Schlossmatt 4	3,06	Solcon 3400HE	Kyocera G102	30°	7°E	883	1003	1019	968
Schlossmatt 5	3,18	TopClass 4000 II	Siemens M55	30°	7°E	932	1022	934	963
IBB/Gsteighof	16,00	Solarmax 15	Solarex MSX120	30°	20°E	910	1002	966	959
Firma 5	3,30	TopClass 4000 III	Siemens M55	30°	0°S			955	955
GIBBU	3,07	Solcon 3400HE	Solarex MSX64	30°/60°	0°S	922	1021	899	947
HTA Tiergarten	59,66	Diverse	Siemens M55HO	30°	29°W	852	965	923	913
Gfeller	3,18	TopClass 4000 III	Siemens M55	28°	10°E	756	969	945	890
Privathaus 2	3,18	Solcon 3300HE	Siemens M55	45°	45°W	822	918	878	873
Gymnasium	3,06	TopClass 2500 II	Kyocera K51	30°	0°S	803	826	857	828
Privathaus 3	1,44	PVWR 1500	Solarex MSX60	38°	30°E	785	861	815	821
Firma 1	63,00	Rot. Masch.	Siemens M55	25°	30°E	766	860	820	816
Firma 2	3,18	Solcon 3300HE	Siemens M55	60°	20°W	630	734	701	688
Mittelwerte aller Anlagen:						**856**	**969**	**924**	**916**
Mittelwerte der Anlagen mit elektronischem Wechselrichter:						**894**	**1011**	**962**	**956**

Tabelle 5-1: Effektive und mittlere Energieproduktion der Burgdorfer Anlagen zwischen 1996 und 1998. Die Anlage Firma 3 wird nicht berücksichtigt.

In anderen vergleichbaren Messprogrammen, wie z.B. das 1000-Dächer Mess- und Auswerteprogramm in Deutschland [29] konnten nicht so hohe Anlagen-Energieerträge ermittelt werden wie in Burgdorf. Im klimatisch ähnlichen Baden-Württemberg betrug im Jahre 1997 die mittlere Energieproduktion 842 kWh/kWp. Die Vergütung von 1,- Fr. pro kWh elektrischer Solarenergie im Rahmen des Burgdorfer Modells wirkt sich hier positiv aus, da die Betreiber genauer auf die Funktion ihrer Anlage achten, um die Ausfallzeiten möglichst gering zu halten. Zudem werden durch die Grobmessungen der HTA Burgdorf Betriebsfehler der Anlagen schnell detektiert und dem Anlagenbetreiber gemeldet.

Für einen genaueren Vergleich der Anlagen ist eine Umrechnung der Energieerträge auf ein strahlungsmässiges Normaljahr zweckmässig.

Die mit der Messstelle der HTA Burgdorf in der Horizontalebene gemessene Strahlungssumme in Burgdorf erreichte von 1995 bis 1998 Werte zwischen 1165kWh/m^2 und 1251kWh/m^2. Für die Umrechnung der Anlagen-Energieerträge auf ein sogenanntes Normaljahr mit Sonneneinstrahlung entsprechend dem langjährigen Mittel wurden Daten aus drei verschiedenen Quellen hinzugezogen. Durch Mittelung der Werte aus Meteonorm 97 (Interpolation), Meteonorm 85 (Interpolation) und dem 5-Jahres-Durchschnittswert der HTA Burgdorf (1159 kWh/m^2) erhielt man bisher einen Wert von 1143 kWh/m^2. Nach den Messungen der letzten Jahre ist dieser Mittelwert offensichtlich zu niedrig. Aus diesem Grund wurde bei der Mittelung das Gewicht der mittlerweile 7-jährigen Strahlungsmessung der HTA Burgdorf um den Faktor 3 erhöht, somit ergab sich für das strahlungsmässige Normaljahr ein neuer Wert von **1163 kWh/m^2**. Für die Umrechnung der Anlagen-Energieerträge auf das Normaljahr wurden die Monatswerte mit dem jeweiligen Korrekturfaktor multipliziert:

$$Korrekturfaktor = \frac{langjähriger\ Mittelwert\ der\ horizontalen\ Strahlungssumme}{gemessene\ horizontale\ Strahlungssumme}$$

Bei der Strahlungsmessstation der HTA Burgdorf wird nicht nur die Einstrahlung in die Horizontalebene, sondern auch in eine um 45° gegen Süden geneigte Ebene gemessen. Im Vergleich zu 1996 hat der Jahres-Globalstrahlungsfaktor $R(\beta, \gamma)$, das heisst das Verhältnis zwischen der Einstrahlung in die geneigte Ebene im Vergleich zur Einstrahlung in die Horizontalebene, im Jahr 1997 um 3,4% zugenommen, weil bei überdurchschnittlicher Einstrahlung die Direktstrahlung überproportional ansteigt. Für eine korrekte Umrechnung auf ein strahlungsmässiges Normaljahr ist diese Tatsache ebenfalls zu berücksichtigen, eine Umrechnung nur mit Hilfe des Verhältnisses der horizontalen Strahlungssumme genügt nicht. Aus diesem Grund wurde für jedes Betriebsjahr ein Nachkorrekturfaktor bestimmt, mit dem die Monatswerte multipliziert wurden. Zur Ermittlung des Nachkorrekturfaktors wurde das Verhältnis der Jahresstrahlungssumme von 1996 in 45°-Neigung zu Horizontalebene als Referenz zur Hilfe genommen, da die Strahlung in Horizontalebene im Jahre 1996 dem strahlungsmässigen Normaljahr in Burgdorf am nächsten entspricht:

$$Nachkorrekturfaktor = \frac{\left(\frac{Jahresstrahlungssumme\ 1996\ in\ 45° - Neigung}{Jahresstrahlungssumme\ 1996\ in\ Horizontalebene}\right)}{\left(\frac{gemessene\ Jahresstrahlungssumme\ in\ 45° - Neigung}{gemessene\ Jahrersstrahlungssumme\ in\ Horizontalebene}\right)}$$

Die in der Tabelle 5-2 angegebenen Werte wurden mit Hilfe dieser doppelten Korrektur ermittelt (siehe auch Anhang 1: Meteomessung an der HTA Burgdorf). Eine noch exaktere Umrechnung auf ein Normaljahr wäre mit einer separaten Messung von direkter und diffuser Strahlung (wesentlich aufwendiger) und Verwendung des Dreikomponentenmodells möglich.

Der Energieproduktions-Mittelwert aller Anlagen mit elektronischen Wechselrichtern (die Firma 1 mit dem Einsatz einer mechanischen Umformergruppe wurde ausgenommen) bezogen auf ein Normaljahr betrug in den letzten drei Betriebsjahren **883 kWh/kWp (1996), 893 kWh/kWp (1997) und 869 kWh/kWp (1998)**. Die besten Anlagen erreichen auf ein Normaljahr bezogen Energieerträge von über **1000 kWh/kWp**. Der Winterenergieanteil lag zwischen **27% und 36%**.

Die besten 15 Anlagen sind alle mit dem trafolosen Wechselrichter SolarMaxS mit hoher Betriebsspannung ausgerüstet. Mit dieser Technologie sind deutlich höhere Energieerträge möglich als mit herkömmlichen Wechselrichtern mit niedriger Betriebsspannung (siehe auch Kapitel 4.4). Aber auch PV-Anlagen mit niedriger Betriebsspannung können bei optimaler Auslegung überdurchschnittliche Jahresenergieerträge (> 900 kWh/kWp) liefern. Die Wechselrichterzuverlässigkeit der Burgdorfer Anlagen konnte deutlich gesteigert werden und ist in den letzten 3 Betriebsjahren in etwa kontinuierlich hoch (siehe Kapitel 3.1). Die Ausfälle von Wechselrichtern und Strangdioden wurden durch die monatliche Auswertung der Grobmessung der HTA Burgdorf schnell detektiert und somit konnten grössere Ertragseinbussen vermieden werden. Bei immer mehr Anlagen wird dafür die allmähliche Ertragsreduktion durch Entwicklung einer permanenten Verschmutzung festgestellt. Der Jahresertrag der meisten Anlagen in Tabelle 5-2 weist dadurch eine sinkende Tendenz auf (siehe Kapitel 3.2). Bei mehreren Anlagen mit geringerem Energieertrag wird der Generator durch schattenwerfende Strukturen (Hausmauern, Bäume, Fahnenmasten usw.) beeinflusst. Die dadurch entstehenden Ertragseinbussen werden oftmals von den Betreibern unterschätzt. Des Weiteren sind noch einige ältere Wechselrichter mit einem niedrigen Teillastwirkungsgrad im Einsatz.

Anlage	P_0 [kWp]	Wechselrichter	Module	β	γ	Ertrag (Normal) [kWh/kWp]			
						1996	1997	1998	Mittel
Schlossmatt 7	3.18	Solarmax S	Siemens M55	30°	7°E	1020	1018	977	1005
Schlossmatt 8	3.18	Solarmax S	Siemens M55	30°	7°E	1027	1000	955	994
Schlossmatt 6	3.18	Solarmax S	Siemens M55	30°	7°E	1001	1000	951	984
Lindenfeld 1	3.30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S	982	970	953	968
Lindenfeld 3	3.30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S	981	969	949	966
Lindenfeld 5	3.30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S	978	966	952	965
Gsteighof 6	3.30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S		970	954	962
Gsteighof 1	3.30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S		970	952	961
Gsteighof 3	3.30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S		968	953	961
Gsteighof 5	3.30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S		965	949	957
Lindenfeld 6	3.30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S	965	969	939	951
Lindenfeld 4	3.30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S	965	949	936	950
Schlossmatt 9	3.24	Solarmax S	Kyocera G108	30°	7°E	968	950	920	946
Gsteighof 4	3.30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S		962	920	941
Lindenfeld 2	3.30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S	975	894	940	936
Schlossmatt 1	3.18	TopClass 4000 II	Siemens M55	30°	7°E	944	920	879	914
Firma 4	3.06	Solcon 3400HE	Kyocera K51	30°	0°S	962	909	833	901
Schlossmatt 3	3.06	TopClass 2500 II	Kyocera G102	30°	7°E	904	909	890	901
Schlossmatt 2	3.18	TopClass 4000 II	Siemens M55	30°	7°E	929	894	874	899
Schlossmatt 10	4.08	TopClass 4000 III	BP 585	30°	7°E			896	896
Gsteighof 2	3.30	Solarmax S	Siemens M55	35°	0°S		967	821	894
Schlossmatt 4	3.06	Solcon 3400HE	Kyocera G102	30°	7°E	872	888	920	893
Schlossmatt 5	3.18	TopClass 4000 II	Siemens M55	30°	7°E	920	903	844	889
IBB/Gsteighof	16.00	Solarmax 15	Solarex MSX120	30°	20°E	896	886	873	885
GIBBU	3.07	Solcon 3400HE	Solarex MSX64	30°/60°	0°S	911	906	803	873
Firma 5	3.30	TopClass 4000 III	Siemens M55	30°	0°S			867	867
HTA Tiergarten	59.66	Diverse	Siemens M55HO	30°	29°W	842	854	835	844
Gfeller	3.18	TopClass 4000 III	Siemens M55	28°	10°E	740	855	854	816
Privathaus 2	3.18	Solcon 3300	Siemens M55	45°	45°W	809	811	796	805
Gymnasium	3.06	TopClass 2500 II	Kyocera K51	30°	0°S	792	722	777	764
Privathaus 3	1.44	PVWR 1500	Solarex MSX60	38°	30°E	774	762	737	757
Firma 1	63.00	Rot. Masch.	Siemens M55	25°	30°E	753	759	740	751
Firma 2	3.18	Solcon 3300	Siemens M55	60°	20°W	621	646	630	632
Mittelwerte aller Anlagen:						**844**	**856**	**834**	**845**
Mittelwerte der Anlagen mit elektronischem Wechselrichter:						**883**	**893**	**869**	**882**

Tabelle 5-2: Die effektive und mittlere Energieproduktion der Burgdorfer Anlagen bezogen auf das Normaljahr 1996, 1997 und 1998. Die Anlage Firma 3 wurde nicht berücksichtigt.

5.2 Energieertragsprofile einiger PV-Anlagen in der Schweiz

Das jährliche Energieertragsprofil und somit auch der Gesamtenergieertrag einer PV-Anlage wird entscheidend vom Anlagenstandort beeinflusst. Bild 5-1 zeigt die auf die nominelle Solargenerator-Spitzenleistung bezogene monatliche Energieproduktion in den Jahren 1994 bis 1998 bei der Anlage Gfeller in Burgdorf (3,18 kWp, 540m), der Anlage Mont Soleil (560 kWp, 1270m) und der Anlage Jungfraujoch (1,152 kWp, 3454m). Im Jahre 1996 war die Energieproduktion der Anlage in Burgdorf durch einen längeren Wechselrichterausfall ziemlich stark beeinträchtigt. Bei der Anlage im Flachland tritt ein ausgeprägtes Sommermaximum und ein ebenso prominentes Winterminimum auf (Verhältnis nahezu 10:1) und der Winterenergieanteil liegt um 30%. Bei der höher gelegenen Anlage Mont Soleil ist die Situation ähnlich, allerdings ist das Verhältnis zwischen Sommermaximum und Winterminimum viel weniger ausgeprägt und der Winterenergieanteil ist deutlich höher. Noch günstiger sind aber die Verhältnisse bei der Anlage Jungfraujoch. Die Jahresenergieproduktion ist wesentlich höher als bei den andern Anlagen, sie verläuft viel gleichmässiger, es treten pro Jahr meist zwei Produktionsmaxima auf, das Verhältnis zwischen Sommermaximum und Winterminimum beträgt nur noch etwa 2 und der Winterenergieanteil liegt zwischen 44,6% und 48,5%.

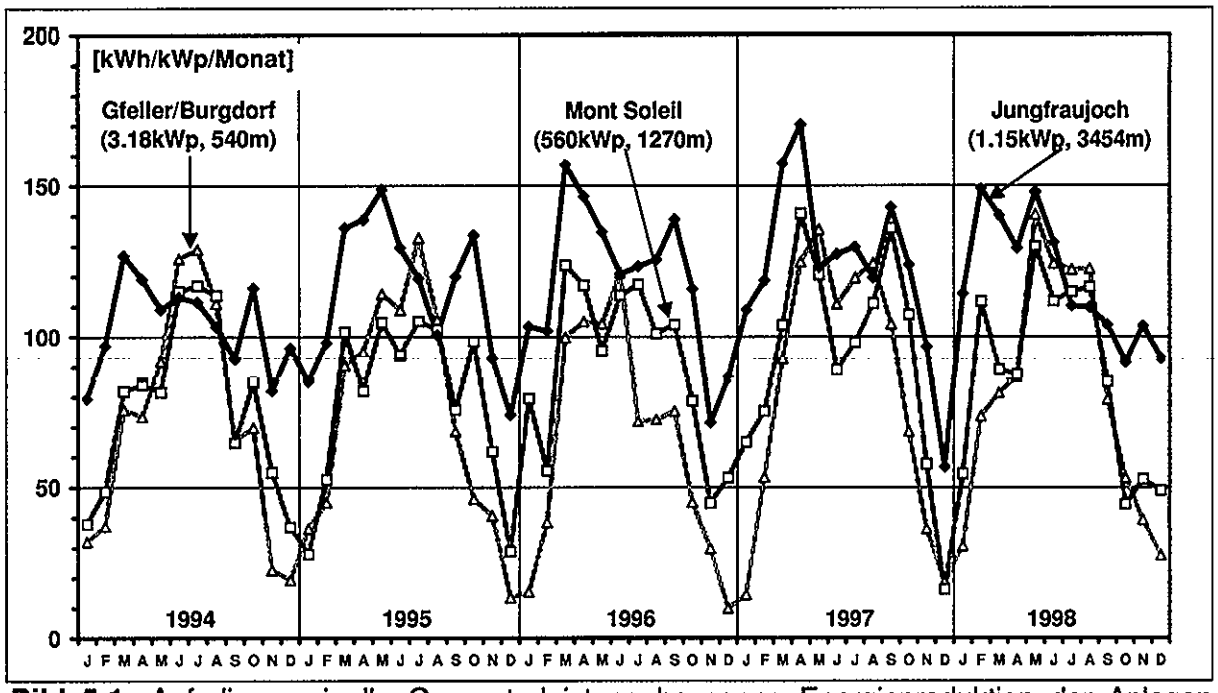


Bild 5-1: Auf die nominelle Generatorleistung bezogene Energieproduktion der Anlagen Jungfraujoch (1,15kWp), Mont Soleil (560kWp) und Gfeller/Burgdorf (3,18kWp) in den Jahren 1994 – 1998.

Die langjährigen Feinmessungen an einer Auswahl verschiedenen Anlagen ermöglicht der HTA Burgdorf die Erstellung von **normierten Jahresstatistiken mit gemittelten Monatserträgen und –Verlusten** zum Vergleich der verschiedenen Anlagenertragsprofile. Bei den nachfolgenden 4 Anlagen (Jungfraujoch, Birg, Gfeller und EBL Liestal) werden die normierten Jahresstatistiken auf die Referenz-Strahlungsmessung mit Pyranometer bezogen.

Im Winterhalbjahr werden die höchsten Energieerträge von den alpinen Fassadenanlagen Jungfraujoch und Birg erzielt (Winterenergieanteil zwischen 45% und 58%). Diese Anlagen profitieren von der hohen Einstrahlungsenergie, bedingt durch das klare alpine Winterwetter und die Schneereflexionen. Bei beiden Anlagen herrschen zudem sehr tiefe Aussentemperaturen, durch die die temperaturbedingten Verluste L_{ct} niedrig gehalten werden (Bild 5-2 und Bild 5-3). Da auch im Sommerhalbjahr die Energieerträge der Anlage Jungfraujoch aufgrund des vorgelagerten Gletschers vergleichsweise hoch sind, liegt die

jährliche Energieproduktion der Anlage deutlich über den von anderen Anlagen (>1400kWh/kWp). Die Standorte der meisten Hütten und Gebäude in den Schweizer Alpen sind mit dem der Anlage Birg (2677 m.ü.M.) vergleichbar. Der jährliche Energieertrag dieser Anlage ist vergleichbar mit dem besten Mittellandanlagen. Das Ertragsprofil dieser alpinen Anlagen passt jedoch viel besser ins Lastprofil der Stromversorgung (Bild 5-2, Bild 5-3).

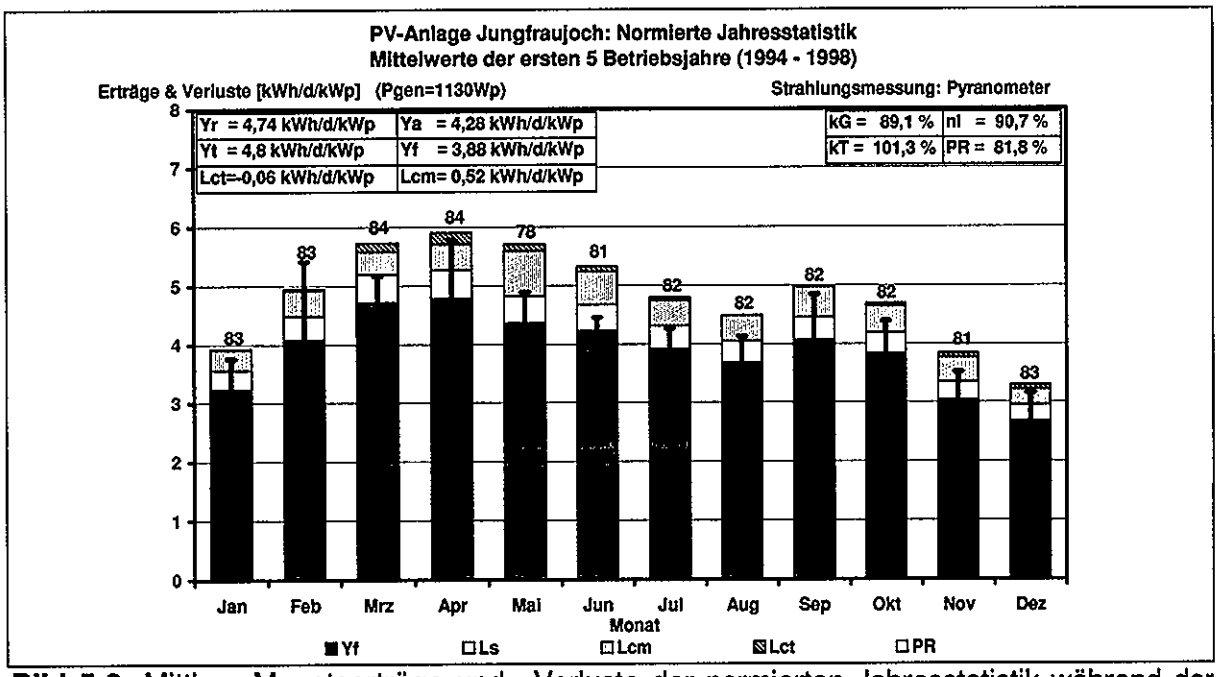


Bild 5-2: Mittlere Monatserträge und –Verluste der normierten Jahresstatistik während der ersten 5 Betriebsjahre (1994-1998) der PV-Anlage Jungfraujoch. Die Streuung der monatlichen Enderträge Y_f wird durch vertikale Linien im Balkendiagramm dargestellt.

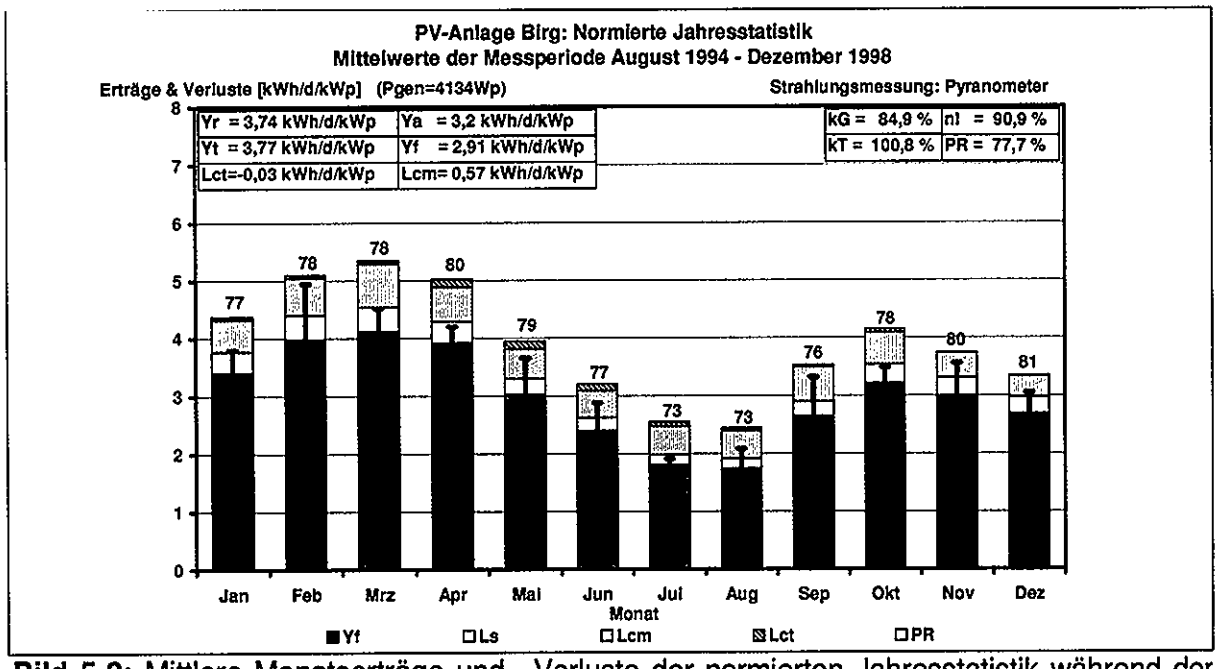


Bild 5-3: Mittlere Monatserträge und –Verluste der normierten Jahresstatistik während der Messperiode vom August 1994 bis Dezember 1998 der PV-Anlage Birg. Die Streuung der monatlichen Enderträge Y_f wird durch vertikale Linien im Balkendiagramm dargestellt.

Die Ertragsprofile und die Ertragsproduktion der Anlage Gfeller / Burgdorf und EBL Liestal sind ähnlich (Bild 5-4 und Bild 5-5). Der Winterenergieanteil beträgt bei diesen Anlagen nur ca. 30%. Bei Fassadenanlagen in diesen Regionen wäre das Verhältnis zwischen

Sommermaximum und Winterminimum geringer, jedoch auch der jährliche Gesamtenergieertrag solcher Anlagen.

In den Sommermonaten sind die temperaturbedingten Verluste L_{ct} der Flachdach-Anlage EBL Liestal vergleichsweise niedrig. Die aufgeständerten Module werden besser hinterlüftet und gekühlt als Module auf Schrägdächern, wo der Abstand zur Dachhaut meistens nur einige Zentimeter beträgt (vergleiche Bild 5-4 und Bild 5-5).

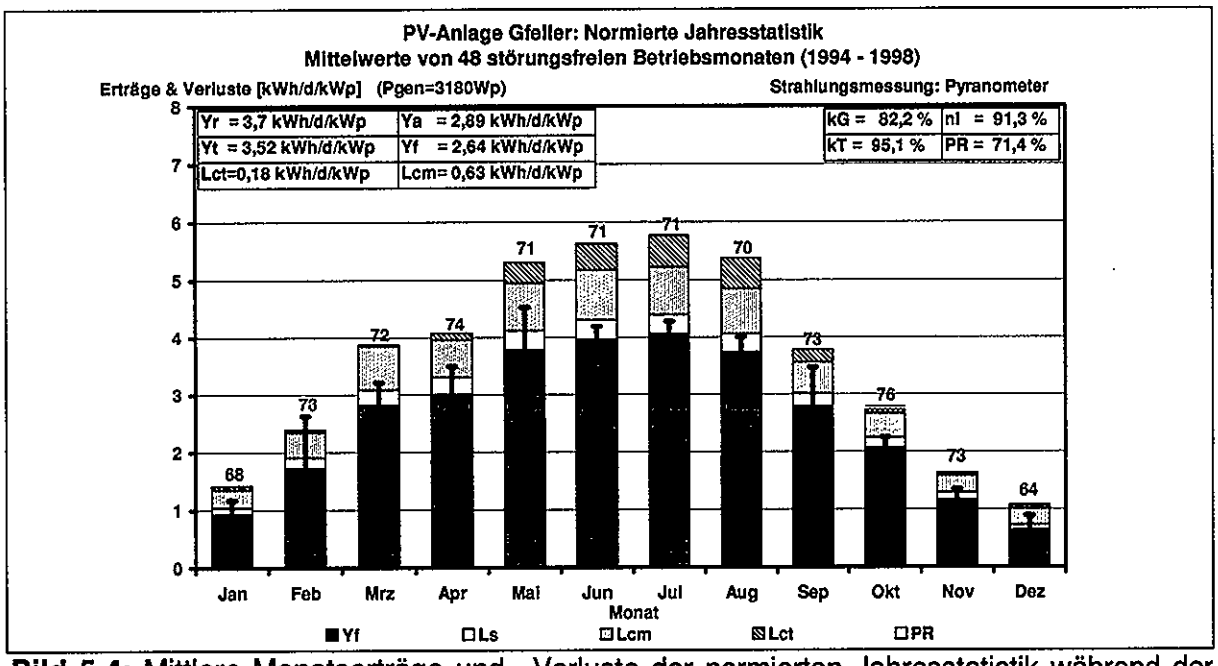


Bild 5-4: Mittlere Monatserträge und –Verluste der normierten Jahresstatistik während der Messperiode vom Januar 1994 bis Dezember 1998 der PV-Anlage Gfeller. Die Betriebsmonate (Sep. – Okt. 1995 und Jul. 1996 – Apr. 1997) mit häufigen Wechselrichter-Störungen und Defekten wurden bei dieser Betrachtung ausgeschlossen. Die Streuung der monatlichen Enderträge Y_f wird durch vertikale Linien im Balkendiagramm dargestellt.

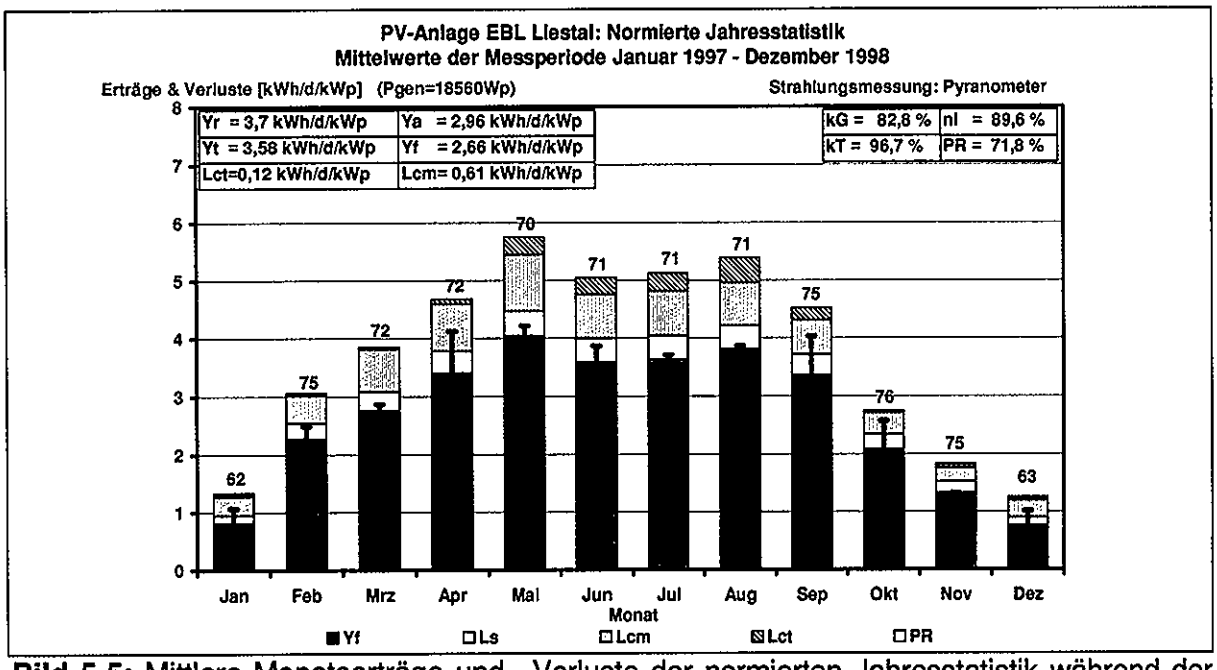


Bild 5-5: Mittlere Monatserträge und –Verluste der normierten Jahresstatistik während der Messperiode vom Januar 1997 bis Dezember 1998 der PV-Anlage EBL Liestal. Die Streuung der monatlichen Enderträge Y_f wird durch vertikalen Linien im Balkendiagramm dargestellt.

6 Strahlungsmessung

Die genaue Messung der Einstrahlung ist ein zentraler Punkt bei der Beurteilung von Photovoltaikanlagen. Bei den relativ teuren Pyranometern ist eine genügend genaue Eichung ohne allzu grossen Aufwand möglich (z.B. am Weltstrahlungszentrum in Davos). Wird die Leistung oder der Energieertrag von PV-Anlagen aber auf mit Pyranometern gemessene Strahlungswerte bezogen, kann der spektrale Mismatch, der durchaus einige Prozent betragen kann, nicht eliminiert werden und verfälscht die Messergebnisse. Für unser Projekt wäre es sehr wichtig, möglichst genau geeichte Referenzzellen zur Verfügung zu haben.
Unser Referenzlabor, das JRC in Ispra, bei dem wir in den letzten Jahren jeweils einige unserer Referenzzellen eichen liessen, hat anscheinend in den letzten Jahren mit einer etwa 3% zu hohen Strahlung gearbeitet, so dass die Eichung unserer bisher verwendeten Referenzzellen nicht mehr genau stimmt. Per 01.11.1997 wurden deshalb die entsprechenden Eichfaktoren geändert. Nach unseren Erkundigungen bei ISPRA soll es aber nicht zulässig sein, einfach die alten Eichfaktoren um diese drei Prozent zu korrigieren. Gegenwärtig ist eine erneute Eichung einiger unserer Referenzzellen nach dem neuen Standard in ISPRA im Gang. Bis zum Vorliegen einiger stabil und reproduzierbar geeichter Referenzzellen ist es sehr schwierig, die beobachteten Degradationen durch Delaminationen quantitativ zu erfassen.

7 Schlussbemerkung

Das PSEL-Projekt *„Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen"* ist mit dem Vorliegen dieses Schlussberichts abgeschlossen.
Die Untersuchungen an den verschiedenen Anlagen in unterschiedlichen klimatischen Regionen des Kantons Bern und Baselland ergaben wichtige und interessante Ergebnisse. Die Verfügbarkeit der Anlagen ist mittlerweile sehr hoch, da Fehlfunktionen und Ausfälle im Detail analysiert werden konnten. Bei drei mit Feinmesstechnik ausgestatten Anlagen wurden gezielte Massnahmen zur Ertragssteigerung vorgenommen. Es liegen nun genaue Zahlen für die Energieproduktion über mehrere Jahre von Anlagen mit verschiedenen Systemkomponenten vor.
Es konnten erste wertvolle Erkenntnisse über die permanente Verschmutzung von Solargeneratoren und die Delamination bei Solarmodulen gewonnen werden. Diese Untersuchungen sollten jedoch fortgeführt werden, da noch nicht alle Fragen im Rahmen dieses Projekts geklärt werden konnten.

All diese Erkenntnisse konnten nur durch den Einsatz geeigneter Messsysteme, wie sie bei den Feinmessungen in diesem Projekt eingesetzt wurden, gewonnen werden.
In Hinblick auf ein Nachfolgeprojekt, das die HTA Burgdorf anstrebt, werden die Messungen an den 36 PV-Anlagen zunächst in vollem Umfang fortgeführt. Das alterungsbedingte Betriebsverhalten von netzgekoppelten PV-Anlagen soll dadurch noch genauer analysiert werden. Zudem wäre es sinnvoll, auch weiterhin die Sonneneinstrahlung und Energieproduktion der nunmehr gut funktionierenden Anlagen zu vergleichen.
Die HTA Burgdorf betreibt z.Z. Vorsondierungen zur Aufnahme der Anlage Mont Soleil in das Langzeitmessprogramm. Die Durchführung von Messungen an der mittlerweile fast 10-jährigen Anlage bestehend aus geklebten Laminatmodulen und einem grossen Wechselrichter wäre wissenschaftlich sehr interessant. Durch die Aufnahme dieser im Jura befindlichen Anlage wäre dann für die HTA Burgdorf eine genaue Hochrechnung der Energieproduktion der meisten netzgekoppelten PV-Anlagen im Kanton Bern, resp. weiten Teilen der Schweiz, möglich. Durch die Markteinführung vielversprechender neuerer Technologien im Bereich der Systemtechnik von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen (z.B. amorphe und CIS-Dünnschichtzellen-Module, dachintegrierte Solarziegel bzw. Schrägdachsysteme, Modul- und Stringwechselrichter) wäre die Durchführung von Langzeitmessungen an ausgewählten Anlagen mit derartigen Komponenten von grossem Interesse, um frühzeitig die längerfristigen technischen Vor- bzw. Nachteile solcher neuen Systeme bestimmen zu können.

8 Verdankungen

Wir danken Herrn C. Beutler, ehemaliger Assistent an der HTA Burgdorf, der bis Herbst 1997 im Rahmen dieses Projekts die Messtechnik und die Auswertesoftware betreut hat.
Die lückenlose Fortführung der bestehenden Messungen, der Ausbau der Messtechnik an weiteren Anlagen und die damit verbundenen detaillierten Untersuchungen an den Anlagen in diesem Projekt wurde durch das ***Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL), Bundesamt für Energie (BFE) und Industrielle Betriebe Burgdorf (IBB)*** finanziert. All diesen Firmen und Institutionen sei an dieser Stelle für Ihre wertvolle Unterstützung herzlich gedankt.
Schlussendlich danken wir der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA), die uns freundlicherweise monatlich Meteodaten ihrer Station auf dem Jungfraujoch liefert.

9 Literatur

Eigene Publikationen zum Projektthema während der Projektzeit:

[1] H. Häberlin: "Grid-connected PV plant on Jungfraujoch in the Swiss Alps". *Erschienen in:* Michael Ross und Jimmy Royer (Editors): "Photovoltaics in Cold Climates". James and James, London, 1999, ISBN 1-873936-89-3.

[2] H. Häberlin und Ch. Renken: "Allmähliche Reduktion des Energieertrags von Photovoltaikanlagen durch permanente Verschmutzung und Degradation". SEV/VSE-Bulletin 10/1999.

[3] H. Häberlin und Ch. Renken: "Hoher Energieertrag auf Jungfraujoch: Die ersten fünf Betriebsjahre der netzgekoppelten 1,1kWp-Photovoltaikanlage der HTA Burgdorf." Referate des 14. Symposium Photovoltaische Solarenergie , Staffelstein / BRD, März 1999.

[4] H. Häberlin und Ch. Renken: "Allmähliche Reduktion des Energieertrags von Photovoltaikanlagen durch permanente Verschmutzung". 14. Symposium Photovoltaische Solarenergie , Staffelstein / BRD, 1999.

[5] H. Häberlin and C. Renken: "Grid-connected PV Plant Jungfraujoch (3454m) in the Swiss Alps: Results of more than four Years of trouble-free Operation". Proc. 2nd World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion, Vienna, Austria, 1998.

[6] H. Häberlin and J. Graf: "Gradual Reduction of PV Generator Yield due to Pollution". Proc. 2nd World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion, Vienna, Austria, 1998.

[7] H. Häberlin: "Hoher Energieertrag auf Jungfraujoch". SEV/VSE-Bulletin 10/98.

[8] H. Häberlin: "Energieertrag 1997 der netzgekoppelten Photovoltaikanlagen in Burgdorf". SEV/VSE-Bulletin 10/98.

[9] H. Häberlin and Ch. Beutler: "Yield of Grid Connected PV systems in Burgdorf: Considerably higher than the average Yield in Switzerland". Proc. 14th EU PV Conf. , Barcelona, 1997.

[10] H. Häberlin und Ch. Beutler: "Hochalpine Lage begünstigt die Stromerzeugung" . Sonnenenergie & Wärmetechnik 3/1997.

[11] H. Häberlin und Ch. Beutler: "Überdurchschnittlicher Energieertrag von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen in Burgdorf". SEV/VSE-Bulletin 10/97.

[12] H. Häberlin und Ch. Beutler: "Überdurchschnittlicher Energieertrag von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen in Burgdorf ". Referate des 12. Symposiums Photovoltaische Sonnenenergie , Staffelstein / BRD, Feb. 1997.

[13] Ch. Beutler und H. Häberlin: "Überdurchschnittlicher Energieertrag von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen in Burgdorf". Techpress 2/96.

[14] H. Häberlin und Ch. Beutler: "Energieertrag hochalpiner, netzgekoppelter Photovoltaikanlagen". Elektrotechnik 9/96.

Weitere Literatur:

[15] H. Häberlin und Ch.Beutler: "Analyse des Betriebsverhaltens von Photovoltaikanlagen durch normierte Darstellung von Energieertrag und Leistung". SEV-Bulletin 4/95.

[16] Ch. Beutler und H. Häberlin: "Ertrag und Zuverlässigkeit von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen im Kanton Bern". Schlussbericht BEW-Projekt DIS 2316 / ENET 9107610, Nov. 1995. Erhältlich bei ENET, c/o BEW, CH-3003 Bern.

[17] H. Häberlin: " Das neue 60kWp-Photovoltaik-Testzentrum der Ingenieurschule Burgdorf". SEV-Bulletin 22/94.

[18] Ch. Meier: "Photovoltaik-Energiestatistik 1995". SEV-Bulletin 10/96.

[19] Ch. Schaffner und Ch. Meier: "Photovoltaik-Energiestatistik 1996". SEV-Bulletin 10/97.

[20] Ch. Meier, K. Porta-Cambell und W. Blum: "Photovoltaik-Energiestatistik 1997". SEV-Bulletin 10/98.

[21] Ch. Meier, L. Konersmann und W. Blum: "Photovoltaik-Energiestatistik 1998". SEV-Bulletin 10/99.

[22] S. Roth: "1-Megawatt-Solarkette der NOK: Feinmessungen und Analysen zur Beurteilung des Langzeitbetriebsverhaltens von netzgekoppelten Photovoltaik-anlagen. Normierte Daten 1992 - 1996". Schlussbericht PSEL-Projekt Nr. 81, BEW-Projekt PV-P+D(95)009, Ref. 14`516/54`074.

[23] H. Becker, W. Vaassen, W. Herrmann: "Minderleistung von Solargeneratoren aufgrund von Verschmutzungen". 12. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein / BRD, Feb. 1997.

[24] H. Wilk: "The array, structure and electronics". *Erschienen in:* Michael Ross und Jimmy Royer (Editors): "Photovoltaics in Cold Climates". James and James, London, 1999, ISBN 1-873936-89-3.

[25] H. Wilk: "Electricity Yield of PV-Systems in different Climates and Dependence of Module-Efficiency as a Function of Irradiance and other Factors". Proc. 14th European Photovoltaic Solar Energy Conf., Barcelona, Spain, 1997.

[26] G. Schauer: "Langzeitstabilität von PV-Modulen, Schadensfälle und -analysen". Referate des 14. Symposium Photovoltaische Solarenergie , Staffelstein / BRD, März 1999.

[27] G. Schauer, M. Friess, P. Korczak und A. Szeless: "10 Years Operational Experience of Joint Utility-Siemens PV Projects in Austria". Proc. 2nd World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion, Vienna, Austria, 1998.

[28] A. Heister und K. Kiefer: "Erste Betriebserfahrungen mit den Anlagen aus dem Umwelttarif-Programm der RWE Energie AG". Referate des 14. Symposium Photovoltaische Solarenergie , Staffelstein / BRD, März 1999.

[29] K. Kiefer: "1000-Dächer Mess- und Auswerteprogramm Jahresjournal 1997". Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme Freiburg / BRD, August 1998.

[30] Th. Erge, V.U. Hoffmann, K. Kiefer, E. Rössler, et al: "The German 1000-Roofs-PV Programme – a Résumé of 5 Years Pioneer Project for Small Grid-Connected Systems". Proc. 2nd World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion, Vienna, Austria, 1998.

ENET
96/19490-2

PSEL PROJEKT- UND STUDIENFONDS DER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

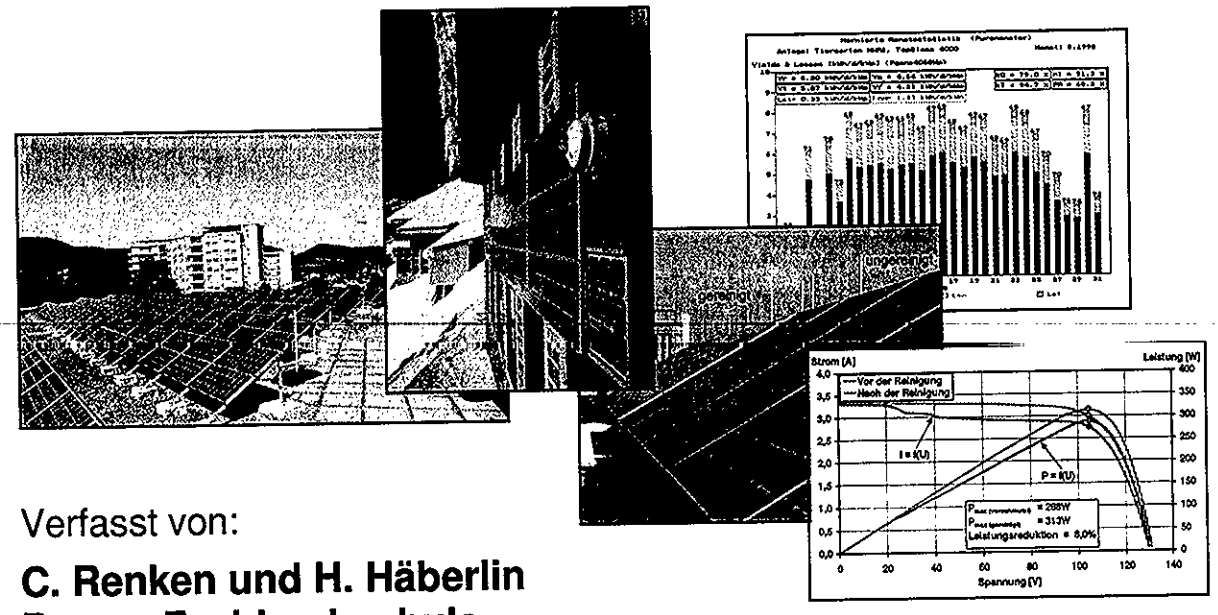
Bundesamt für Energie
Office fédéral de l'énergie
Ufficio federale dell'energia
Swiss Federal Office of Energy

IBB
INDUSTRIELLE BETRIEBE BURGDORF

Forschungsprogramm Photovoltaik

Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen

Anhang 1: Normierte Jahresstatistiken



Verfasst von:

C. Renken und H. Häberlin
Berner Fachhochschule
Hochschule für Technik und Architektur (HTA) Burgdorf
Labor für Photovoltaik
Jlcoweg 1
3400 Burgdorf

Ausgearbeitet im Auftrag folgender Institutionen und Firmen:

Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL)
Bundesamt für Energie (BFE)
Industrielle Betriebe Burgdorf (IBB)

November 1999

Schlussbericht:
PSEL-Projekt Nr. 113
BFE-Projekt Nr. DIS 19490 / 59074

Inhaltsverzeichnis

Übersicht der überwachten PV-Anlagen im PSEL-Projekt

Definition und Bedeutung der normierten Erträge und Verluste

PV-Anlagen mit Feinmessung

1	**Gfeller, Burgdorf**	Normierte Jahresstatistiken von 1995 bis 1998
2	**Birg, Mürren**	Normierte Jahresstatistiken von 1995 bis 1998
3	**Jungfraujoch**	Normierte Jahresstatistiken von 1995 bis 1998
4	**Schlossmatt 8, Burgdorf**	Normierte Jahresstatistiken von 1997 bis 1998
5	**Elektra Baselland, Liestal**	Normierte Jahresstatistiken von 1997 bis 1998
6	**IBB Gsteighof, Burgdorf**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
7	**Testanlage HTA Burgdorf**	Normierte Jahresstatistiken von 1995 bis 1998

PV-Anlagen mit Grobmessung

8	**Firma 2**	Normierte Jahresstatistiken von 1995 bis 1998
9	**Firma 4**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
10	**Firma 5**	Normierte Jahresstatistik von 1998
11	**GIBBU**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
12	**Gsteighof 1**	Normierte Jahresstatistiken von 1997 bis 1998
13	**Gsteighof 2**	Normierte Jahresstatistiken von 1997 bis 1998
14	**Gsteighof 3**	Normierte Jahresstatistiken von 1997 bis 1998
15	**Gsteighof 4**	Normierte Jahresstatistiken von 1997 bis 1998
16	**Gsteighof 5**	Normierte Jahresstatistiken von 1997 bis 1998
17	**Gsteighof 6**	Normierte Jahresstatistiken von 1997 bis 1998
18	**Gymnasium**	Normierte Jahresstatistiken von 1995 bis 1998
19	**Lindenfeld 1**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
20	**Lindenfeld 2**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
21	**Lindenfeld 3**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
22	**Lindenfeld 4**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
23	**Lindenfeld 5**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
24	**Lindenfeld 6**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
25	**Privathaus 2**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
26	**Privathaus 3**	Normierte Jahresstatistiken von 1995 bis 1998
27	**Schlossmatt 1**	Normierte Jahresstatistiken von 1995 bis 1998
28	**Schlossmatt 2**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
29	**Schlossmatt 3**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
30	**Schlossmatt 4**	Normierte Jahresstatistiken von 1995 bis 1998
31	**Schlossmatt 5**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
32	**Schlossmatt 6**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
33	**Schlossmatt 7**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
34	**Schlossmatt 8**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
35	**Schlossmatt 9**	Normierte Jahresstatistiken von 1996 bis 1998
36	**Schlossmatt 10**	Normierte Jahresstatistik von 1998
	Meteomessung an der HTA Burgdorf	Monatsdaten von Jan. 92 bis Dez. 98

Übersicht der überwachten PV-Anlagen im PSEL-Projekt

Anlage	Ort	Höhe m.ü.M.	Solargenerator						Wechsel-richter	*	Start der Messung
			Module	γ [°]	β [°]	P_{Gen} [kWp]	A_{Gen} [m²]	Montage			
Gfeller	Burgdorf	540	Siemens M55	10 E	28	3,18	25,6	Dach	TC 4000/6 III	F	24.06.92
Birg	Schilthorn	2677	Siemens M55	5 W	90	4,13	33,3	Fassade	Solcon 3400HE	F	21.12.92
Jungfraujoch	HFS	3454	Siemens M75	12/27 W	90	1,13	9,56	Fassade	TC 2500/4 III	F+G	27.10.93
Schlossmatt 8	Burgdorf	530	Siemens M55	7 E	30	3,18	25,6	Dach	Solarmax S	F+G	09.01.96
EBL/Liestal	Liestal	330	Kyocera H51	0 (S)	30	18,56	159,1	Flachdach	Solarmax 20	F	13.12.96
IBB/Gsteighof	Burgdorf	540	Solarex MSX120	20 E	30	16,32	151,1	Flachdach	Solarmax 15	F	13.07.95
HTA Tiergarten	Burgdorf	530	Siemens M55HO	29 W	30	59,66	450,6	Sheddach	Diverse	F+G	12.01.94
Firma 2	Burgdorf	530	Siemens M55	20 W	60	3,18	25,6	Fassade	Solcon 3300	G	01.07.92
Firma 4	Burgdorf	540	Kyocera K51	0 (S)	30	3,06	26,3	Flachdach	Solcon 3400HE	G	09.01.96
Firma 5	Burgdorf	530	Siemens M55	0 (S)	30	3,30	25,6	Flachdach	TC 4000/6 III	G	06.02.97
GIBBU	Burgdorf	540	Solarex MSX64	0 (S)	30/60	3,07	26,7	Flachdach	Solcon 3400HE	G	01.01.96
Gsteighof 1	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	08.08.96
Gsteighof 2	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	08.08.96
Gsteighof 3	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	08.08.96
Gsteighof 4	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	08.08.96
Gsteighof 5	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	08.08.96
Gsteighof 6	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	08.08.96
Gymnasium	Burgdorf	560	Kyocera K51	0 (S)	30	3,06	26,3	Flachdach	TC 2500/6 II	G	12.08.94
Lindenfeld 1	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	09.01.96
Lindenfeld 2	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	09.01.96
Lindenfeld 3	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	09.01.96
Lindenfeld 4	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	09.01.96
Lindenfeld 5	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	09.01.96
Lindenfeld 6	Burgdorf	540	Siemens M55	0 (S)	35	3,30	25,6	Flachdach	Solarmax S	G	09.01.96
Privathaus 2	Burgdorf	570	Siemens M55	45 W	45	3,18	25,6	Dach	Solcon 3300	G	10.01.96
Privathaus 3	Burgdorf	540	Solarex MSX60	30 E	38	1,44	13,4	Dachkante	PVWR 1500	G	01.08.92
Schlossmatt 1	Burgdorf	540	Siemens M55	7 E	30	3,18	25,6	Dach	TC 4000/6 II	G	01.07.94
Schlossmatt 2	Burgdorf	540	Siemens M55	7 E	30	3,18	25,6	Dach	TC 4000/6 II	G	01.07.94
Schlossmatt 3	Burgdorf	540	Kyocera G102	7 E	30	3,06	25,6	Dach	TC 2500/6 II	G	01.07.94
Schlossmatt 4	Burgdorf	540	Kyocera G102	7 E	30	3,06	25,6	Dach	Solcon 3400HE	G	01.07.94
Schlossmatt 5	Burgdorf	540	Siemens M55	7 E	30	3,18	25,6	Dach	TC 4000/6 II	G	09.01.96
Schlossmatt 6	Burgdorf	540	Siemens M55	7 E	30	3,18	25,6	Dach	Solarmax S	G	04.04.95
Schlossmatt 7	Burgdorf	540	Siemens M55	7 E	30	3,18	25,6	Dach	Solarmax S	G	07.04.95
Schlossmatt 9	Burgdorf	540	Kyocera G108	7 E	30	3,24	25,6	Dach	Solarmax S	G	09.01.96
Schlossmatt 10	Burgdorf	540	BP 585	7 E	30	4,08	30,2	Dach	TC 4000/6 III	G	01.05.97
Meteo HTA	Burgdorf	560	-	0 (S)	0/45	-	-	Mast	-	F	25.10.91

(* Art der Messung: F = Feinmessung, G = Grobmessung)

Hinweis: Die Anlagen Firma 1 und 3 werden aus folgenden Gründen hier nicht berücksichtigt: Die Anlage Firma 1 wird mit einer mechanischen Umformergruppe betrieben, anstatt mit einem elektronischen Wechselrichter. Bei der Anlage Firma 3 wurde 1997 der Solargenerator erweitert.

Definition und Bedeutung der normierten Erträge und Verluste

Symbol	Bezeichnung	Bedeutung / Erklärung / Ursache	Einheit	
Y_r	Strahlungsertrag, Referenzertrag (Reference Yield)	**$Y_r = H_I / G_0$.** Y_r entspricht der Zeit, während der die Sonne mit G_0 = 1kW/m² scheinen müsste, um die Energie H_I auf den Solargenerator einzustrahlen.	$\frac{kWh/m^2}{d*1kW/m^2}$	[h/d]
L_C	Generatorverluste Feldverluste (Capture Losses)	**Temperaturbedingte Verluste L_{CT} :** Verluste, weil Zellentemperatur meist > 25°C. **Übrige, nicht temperaturbedingte Verluste L_{CM} :** - Verdrahtung, Strangdioden, kleine Einstrahlung. - Teilabschattung, Verschmutzung, Schneebedeckung, Strahlungsinhomogenitäten, Mismatch. - Maximum-Power-Tracking-Fehler, Nichtabnahme der verfügbaren Generatorleistung wegen Wechselrichter ausfällen oder bei vollem Akku (bei Inselanlagen). - Fehler bei Strahlungsmessung. - Bei Pyranometer-Strahlungsmessung: Spektrale Verluste, Glasreflexionsverluste.	$\frac{kWh}{d*kWp}$	[h/d]
Y_a	Generator-Ertrag (Array Yield)	**$Y_a = E_A / P_0$.** Y_a entspricht der Zeit, während der die Anlage mit Solargenerator-Nennleistung P_0 arbeiten müsste, um die Generator-DC-Energie E_A zu erzeugen	$\frac{kWh}{d*kWp}$	[h/d]
L_S	Systemverluste (System Losses)	Wechselrichter-Umwandlungsverluste DC-AC, Speicher-verluste des Akkus bei Inselanlagen.	$\frac{kWh}{d*kWp}$	[h/d]
Y_f	Endertrag (Final Yield)	**$Y_f = E_{nutz} / P_0$.** Y_f entspricht der Zeit, während der die Anlage mit Generator-Nennleistung P_0 arbeiten müsste, um die gleiche Nutzenergie E_{nutz} zu produzieren. Bei Netzverbundanlagen ist $E_{nutz} = E_{ac}$.	$\frac{kWh}{d*kWp}$	[h/d]
PR	Performanz, Nutzungsziffer, (Performance Ratio)	**$PR = Y_f / Y_r$.** PR ist das Verhältnis zwischen der effektiv genutzten Energie E_{nutz} zur Energie, die eine verlustlose, ideale PV-Anlage mit Solargeneratortemperatur 25°C bei gleicher Einstrahlung produziert.		[1]
k_T	Temperatur-Korrekturfaktor	$k_T = Y_T / Y_r$		[%]
k_G	Generator-Korrekturfaktor	$k_G = Y_a / Y_T$		[%]
n_I	Wechselrichter-Nutzungsgrad	$n_I = Y_f / Y_a$		[%]

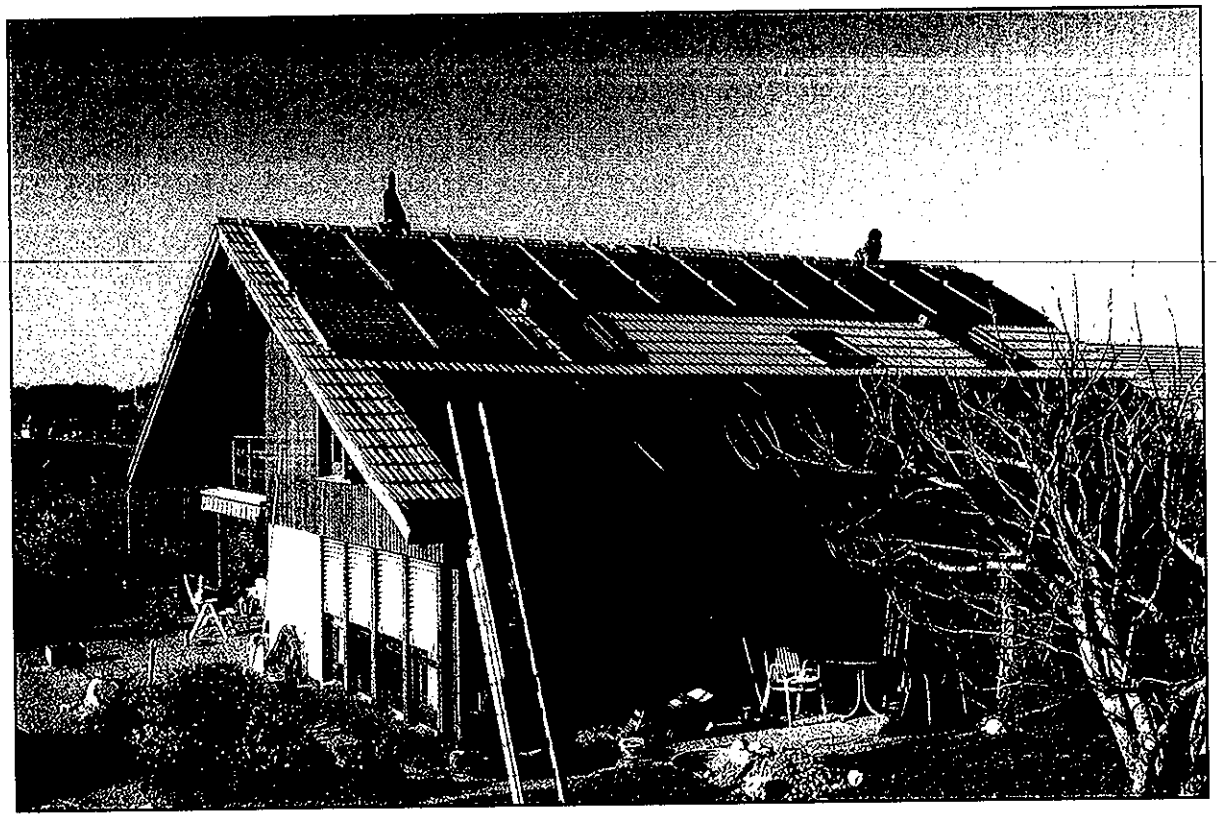
$$Y_r \xrightarrow{-L_C} Y_a \xrightarrow{-L_S} Y_f \qquad Y_r \xrightarrow{-L_{CT}} Y_T \xrightarrow{-L_{CM}} Y_a \xrightarrow{-L_S} Y_f$$

1 Gfeller, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage		
Ort:	Finkfeld 6, 3400 Burgdorf; 540 m.ü.M.	
Inbetriebnahme:	24.06.1992	
Solargenerator:		
Module:	Siemens M55 (60 Stück)	
Feldleistung:	3180 Wp (nominell)	**Neigung:** 28° (Schrägdach)
Bruttofläche:	25,6 m^2	**Ausrichtung:** 10° Ost
Wechselrichter:	ASP TopClass Grid III 4000/6	seit 14.04.97
	ASP TopClass 3000	vom 24.06.92 bis 14.04.97

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichstrom und Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung



Ingenieurschule Burgdorf

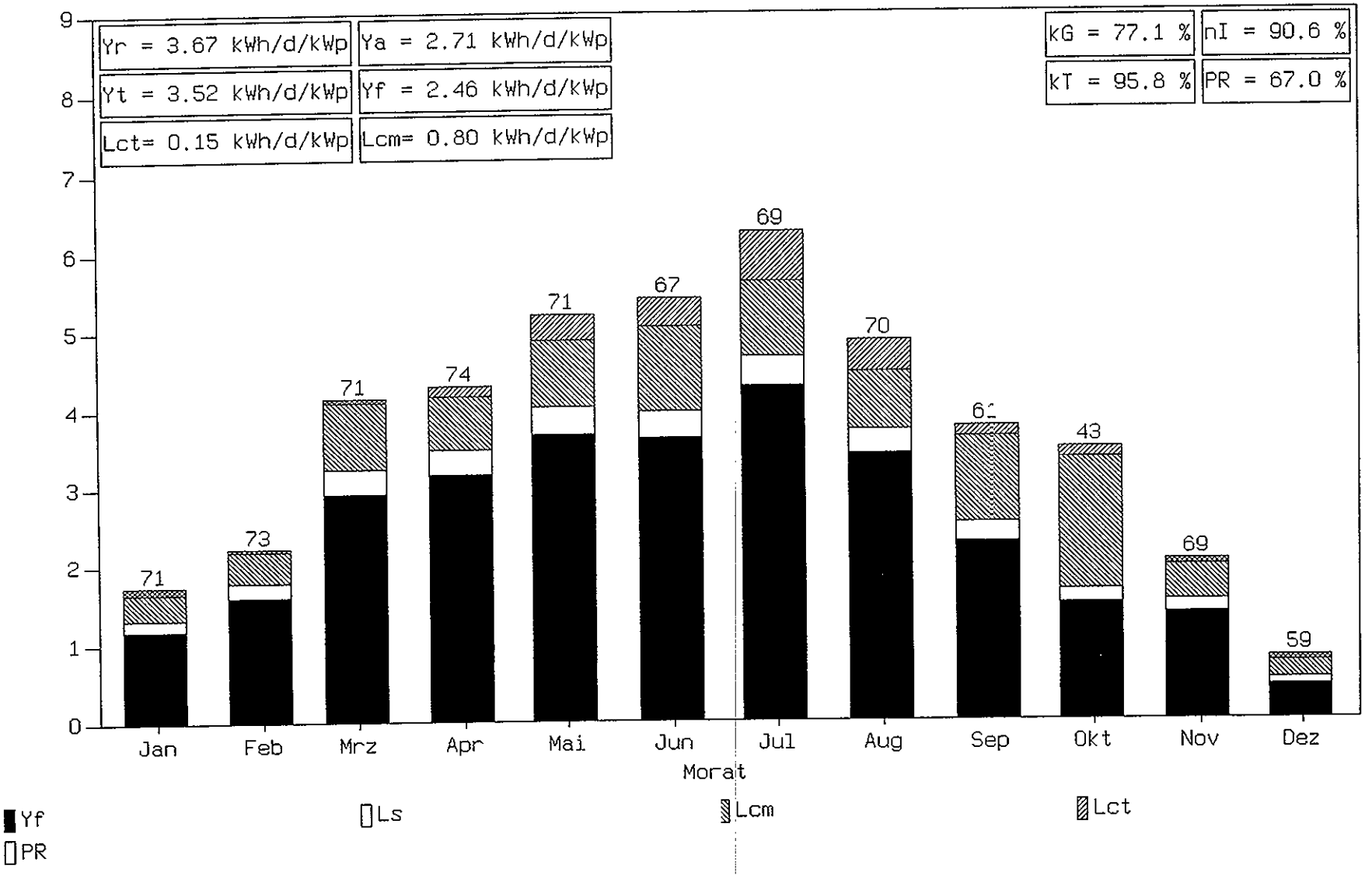
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Jahr: 1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



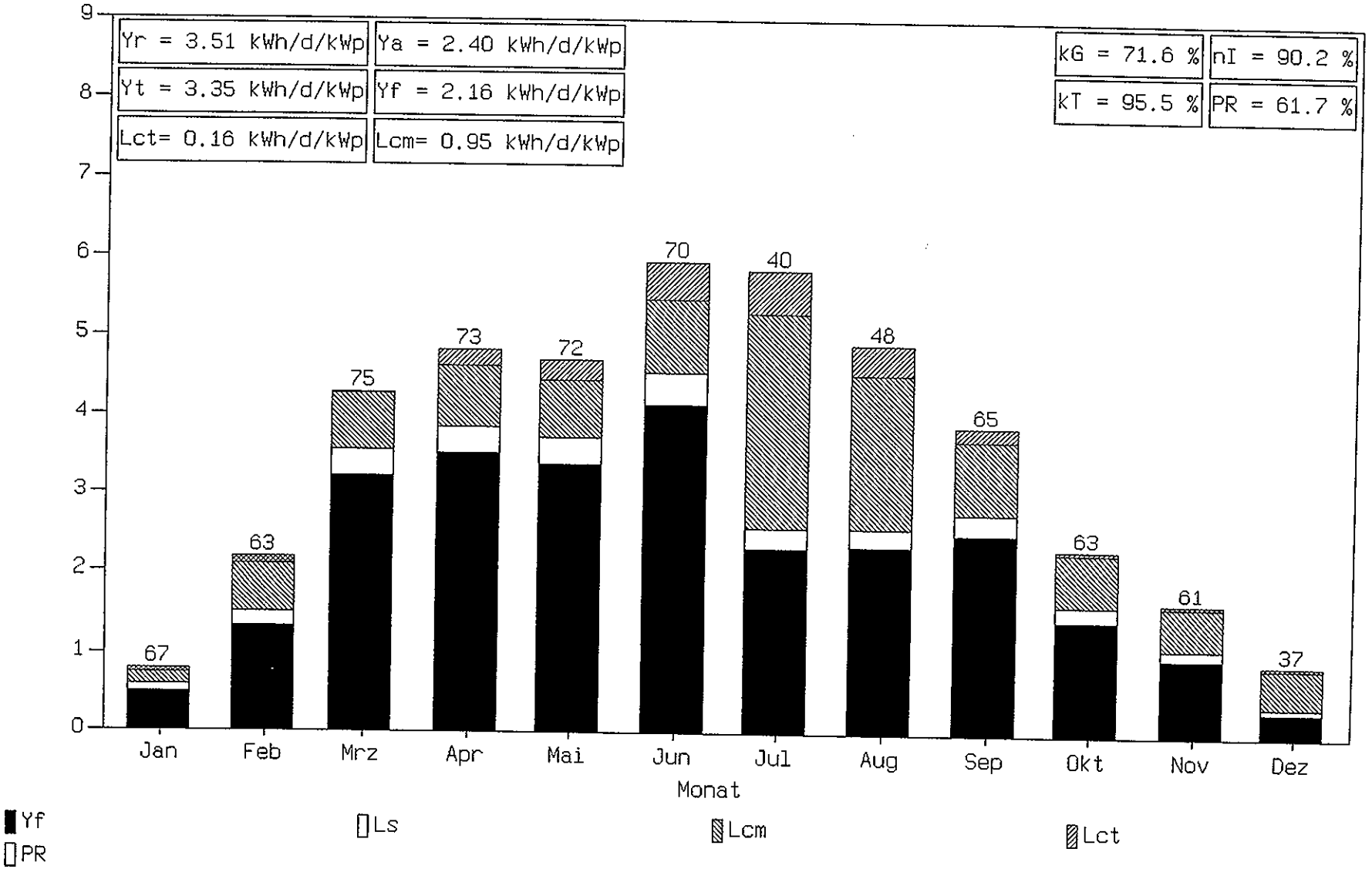
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



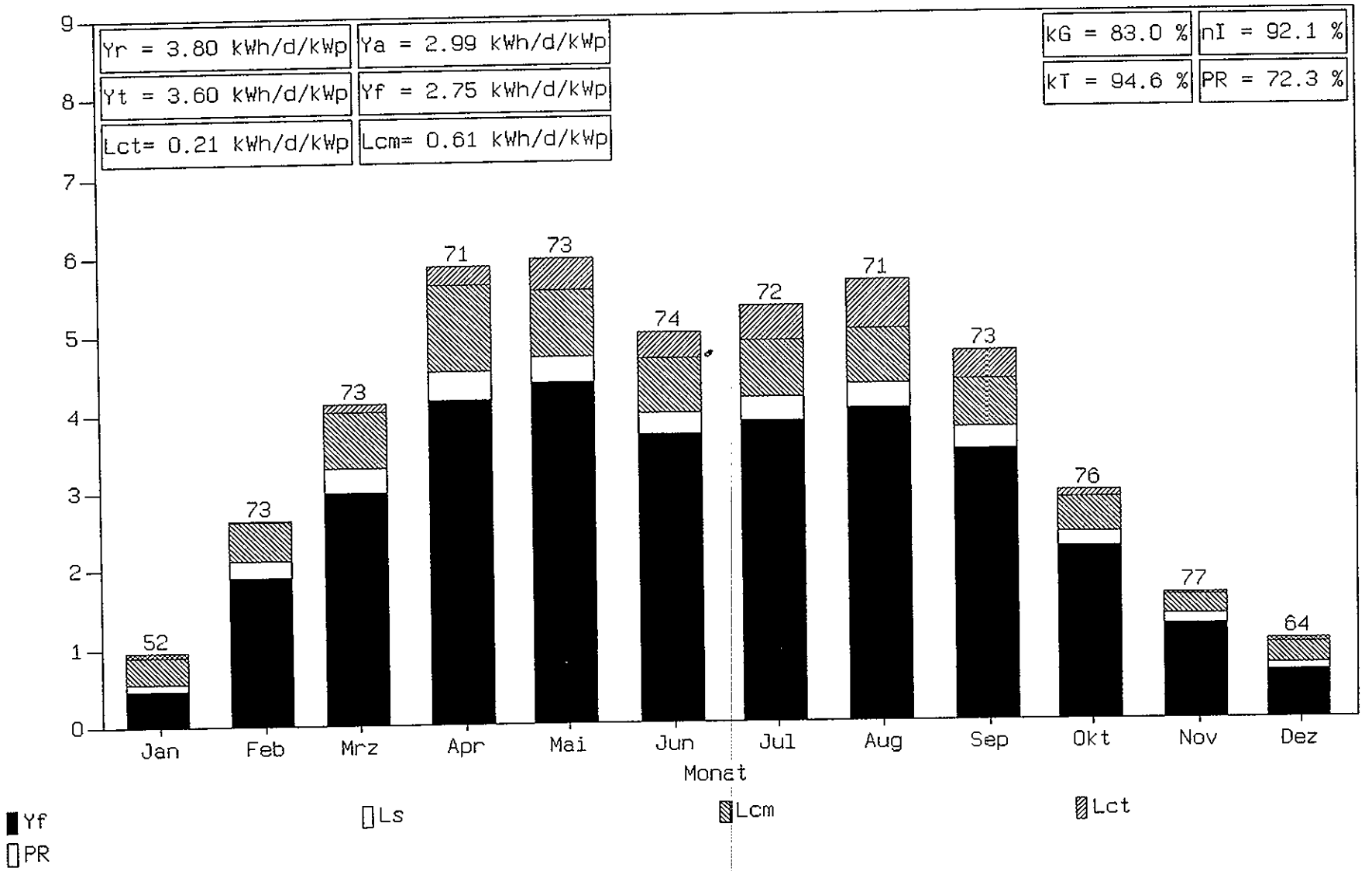
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

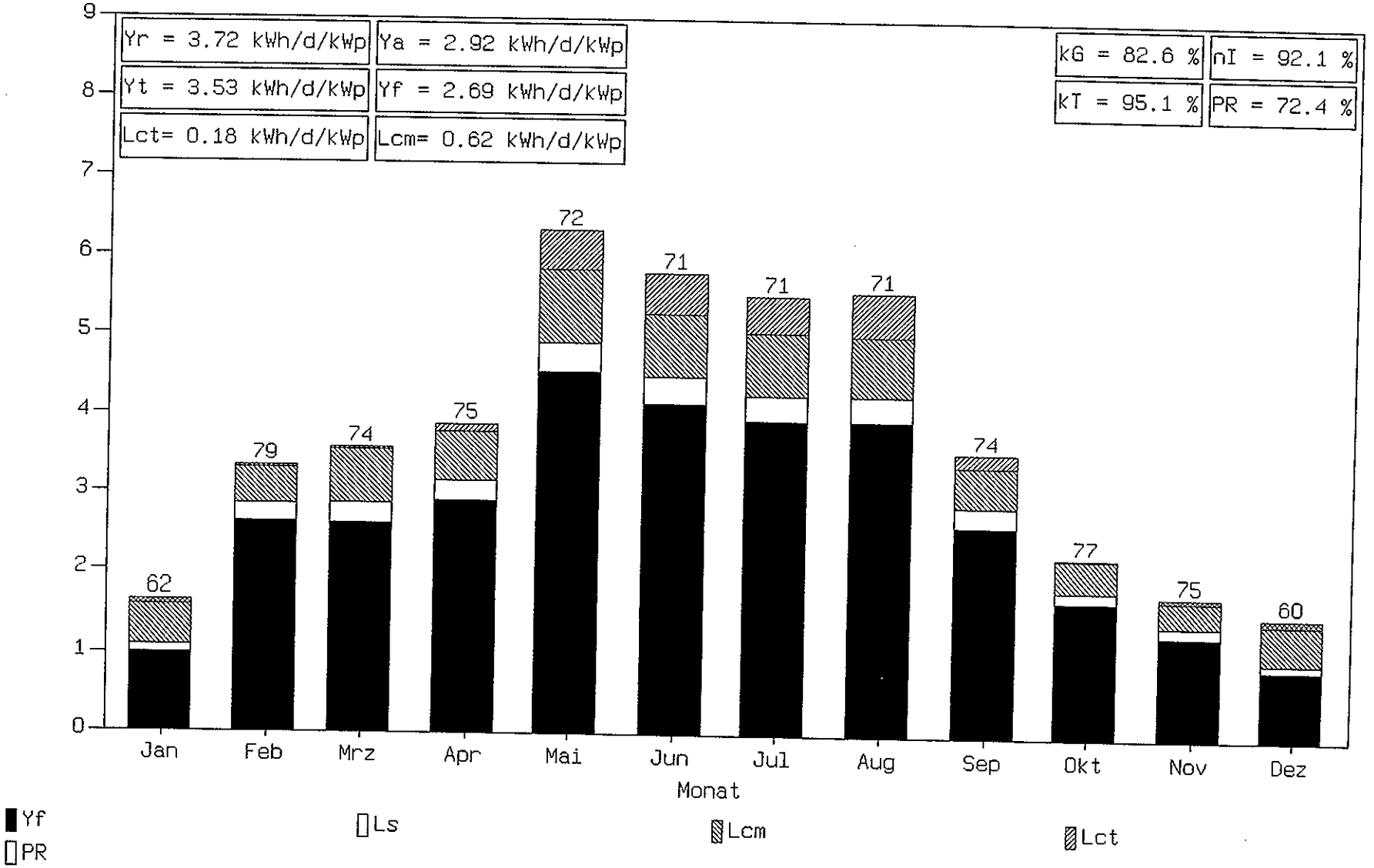
Labor für Photovoltaik

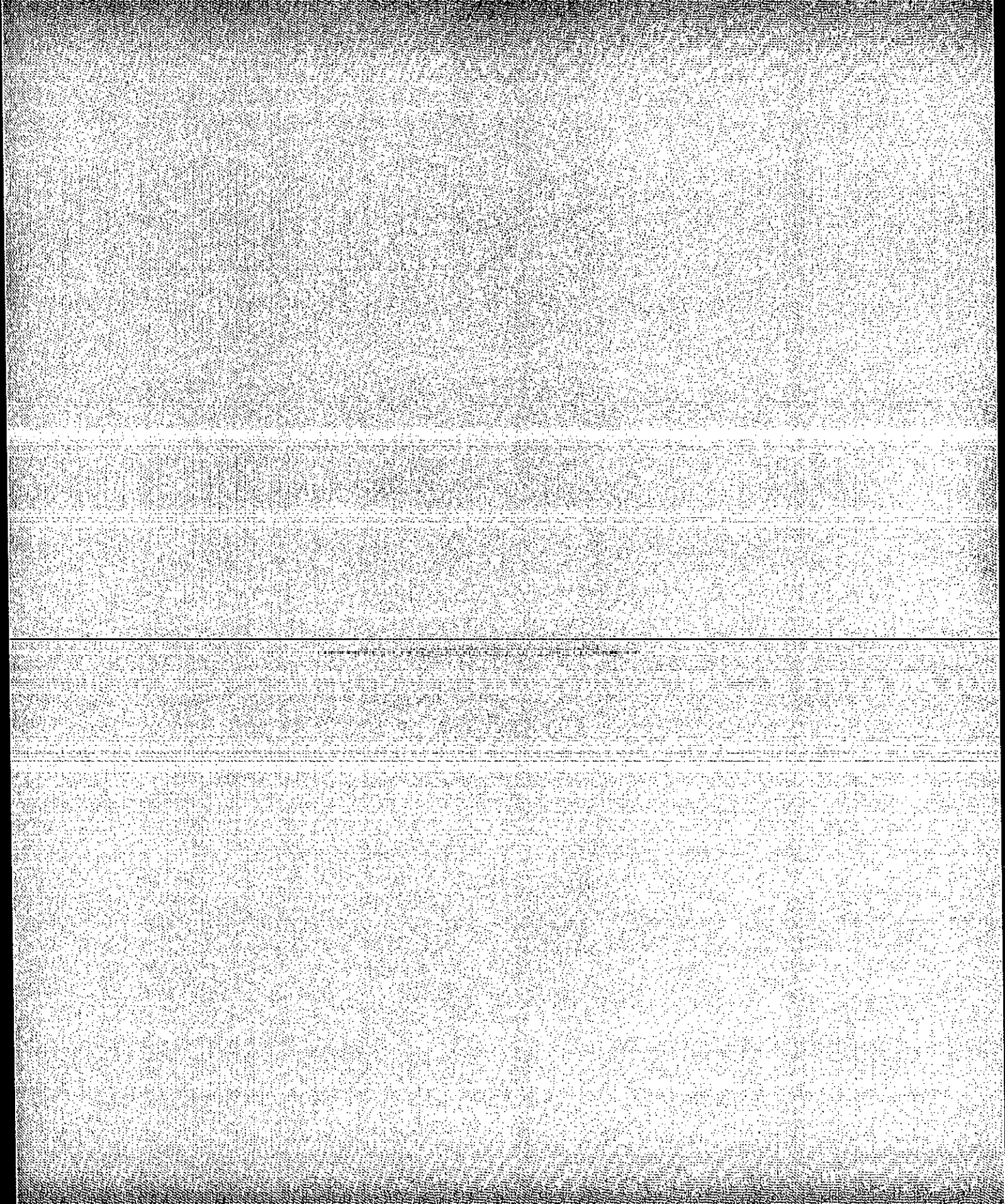
Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



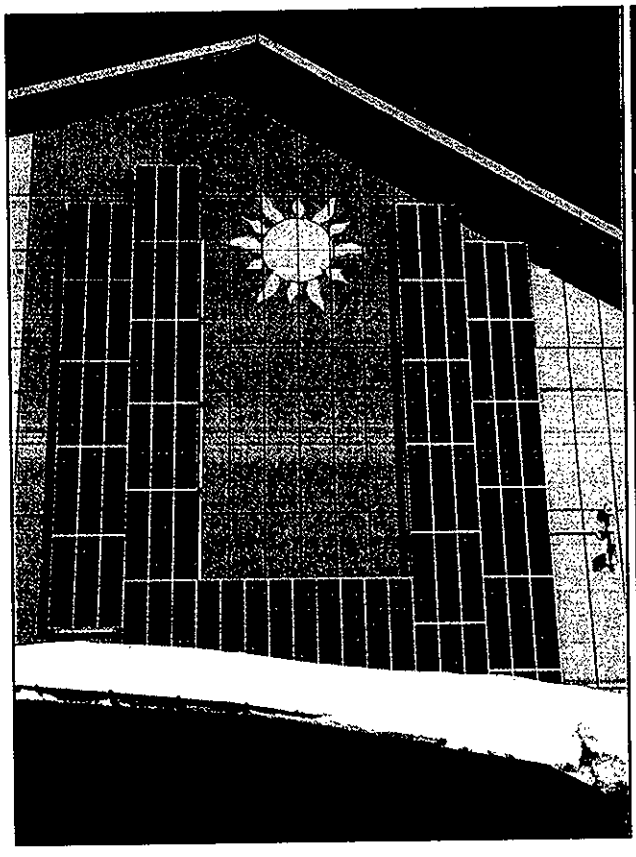


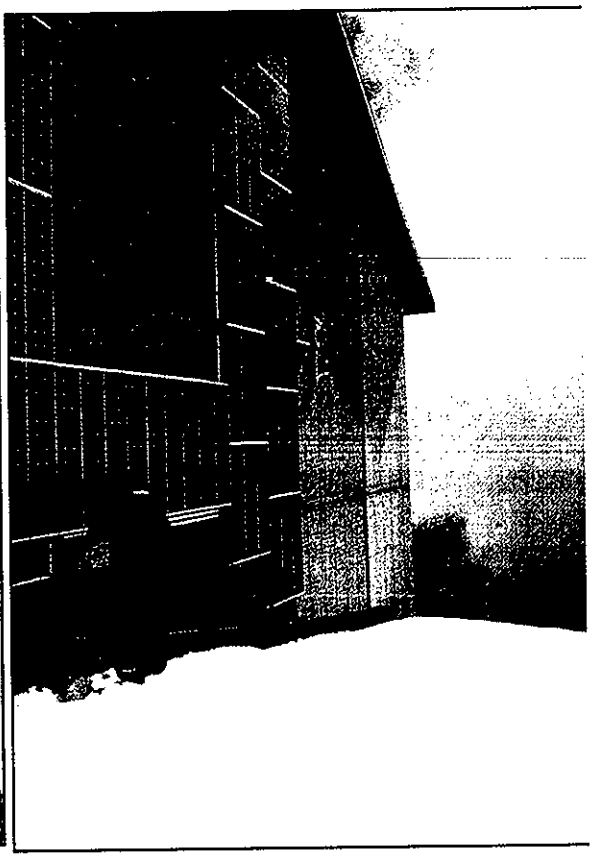
2 Birg, Mürren

Technische Angaben zur Anlage			
Ort:	Mittelstation Birg der Schilthornbahn, 3825 Mürren; 2677 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	21.12.1992		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (78 Stück)		
Feldleistung:	4134 Wp (nominell)	**Neigung:**	90° (Fassade)
Bruttofläche:	33,3 m^2	**Ausrichtung:**	5° West
Wechselrichter:	Solcon 3400HE		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichstrom und Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung
- Netzspannung





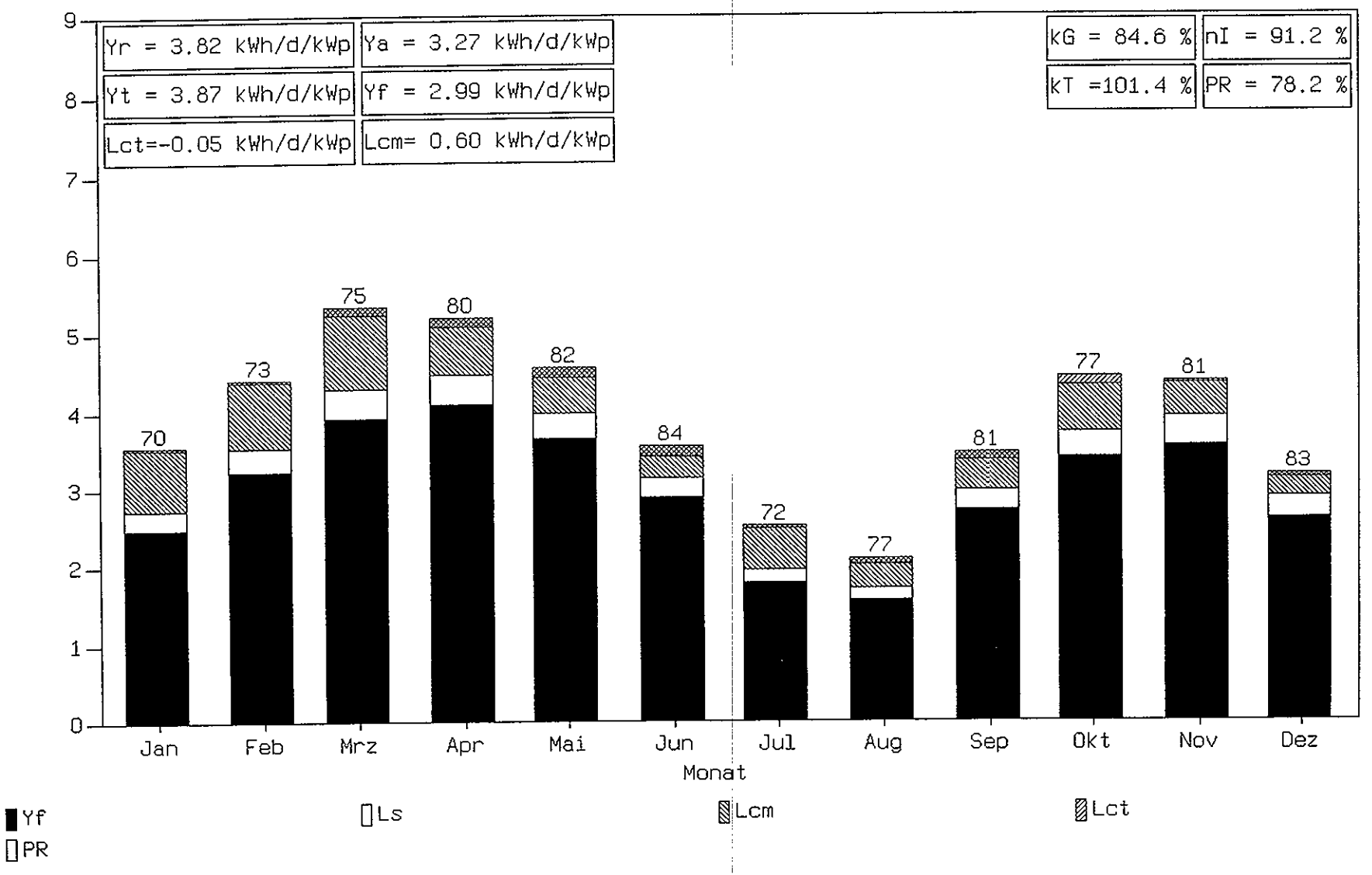
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Jahr: 1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



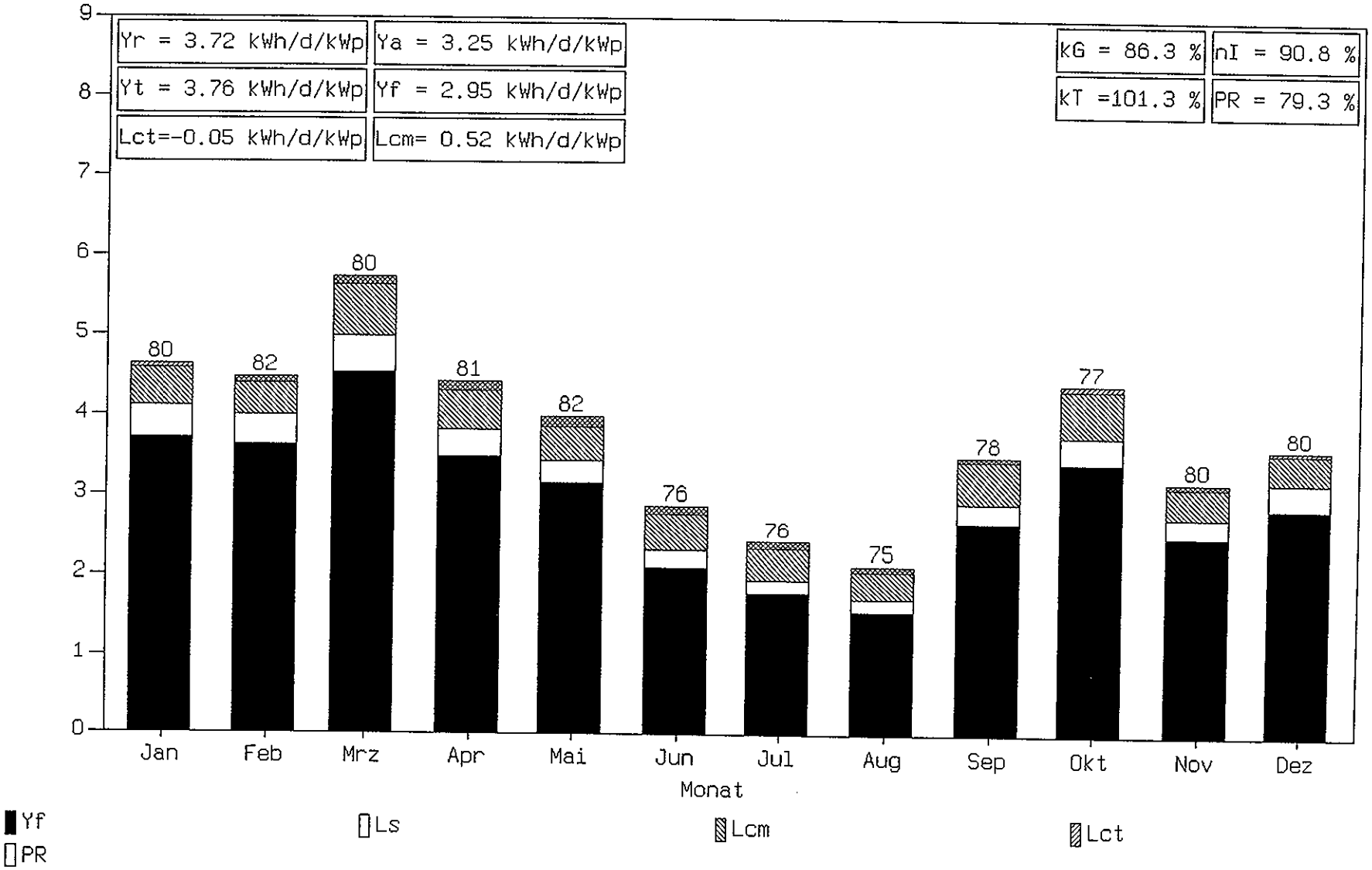
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

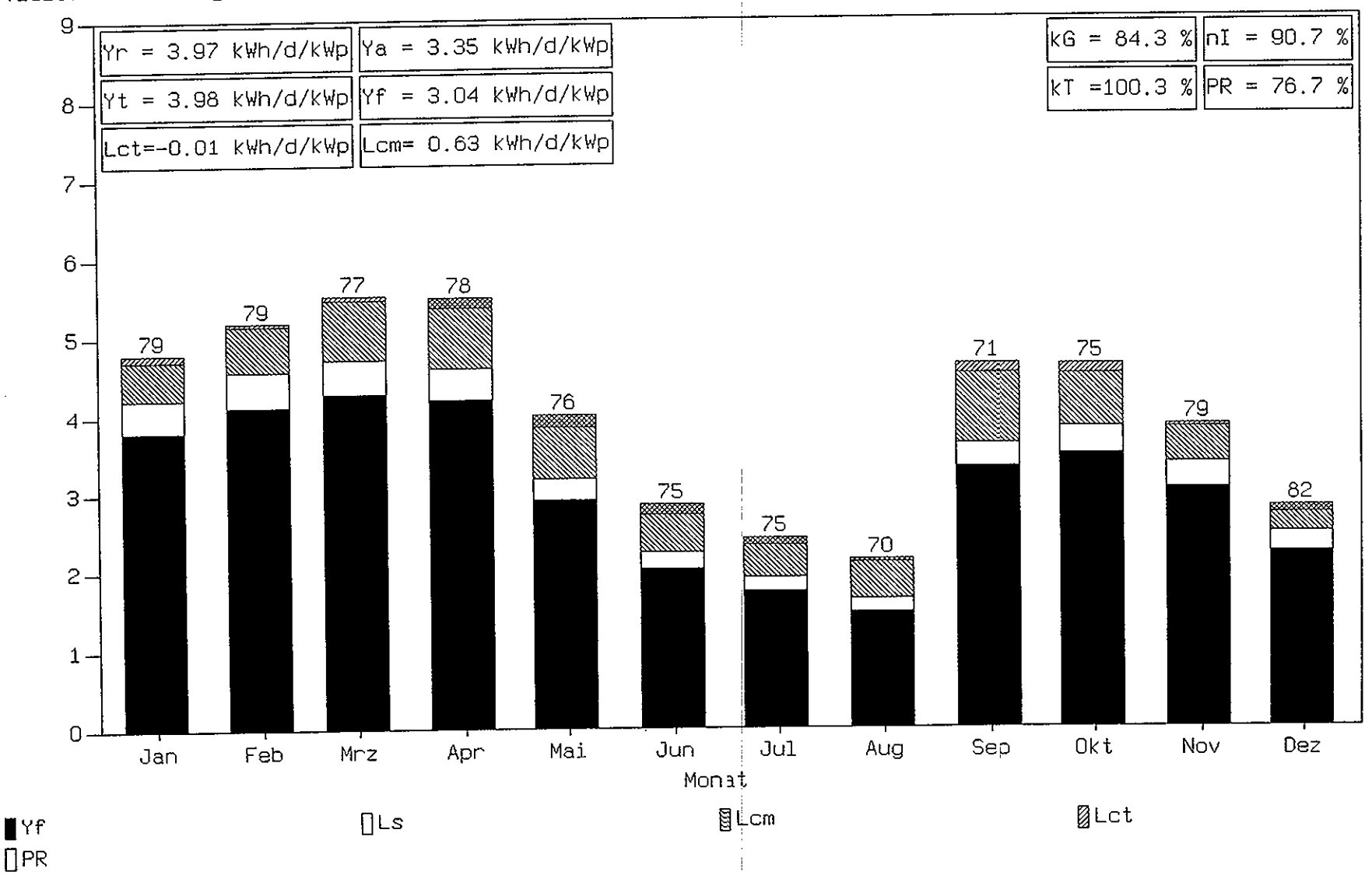
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



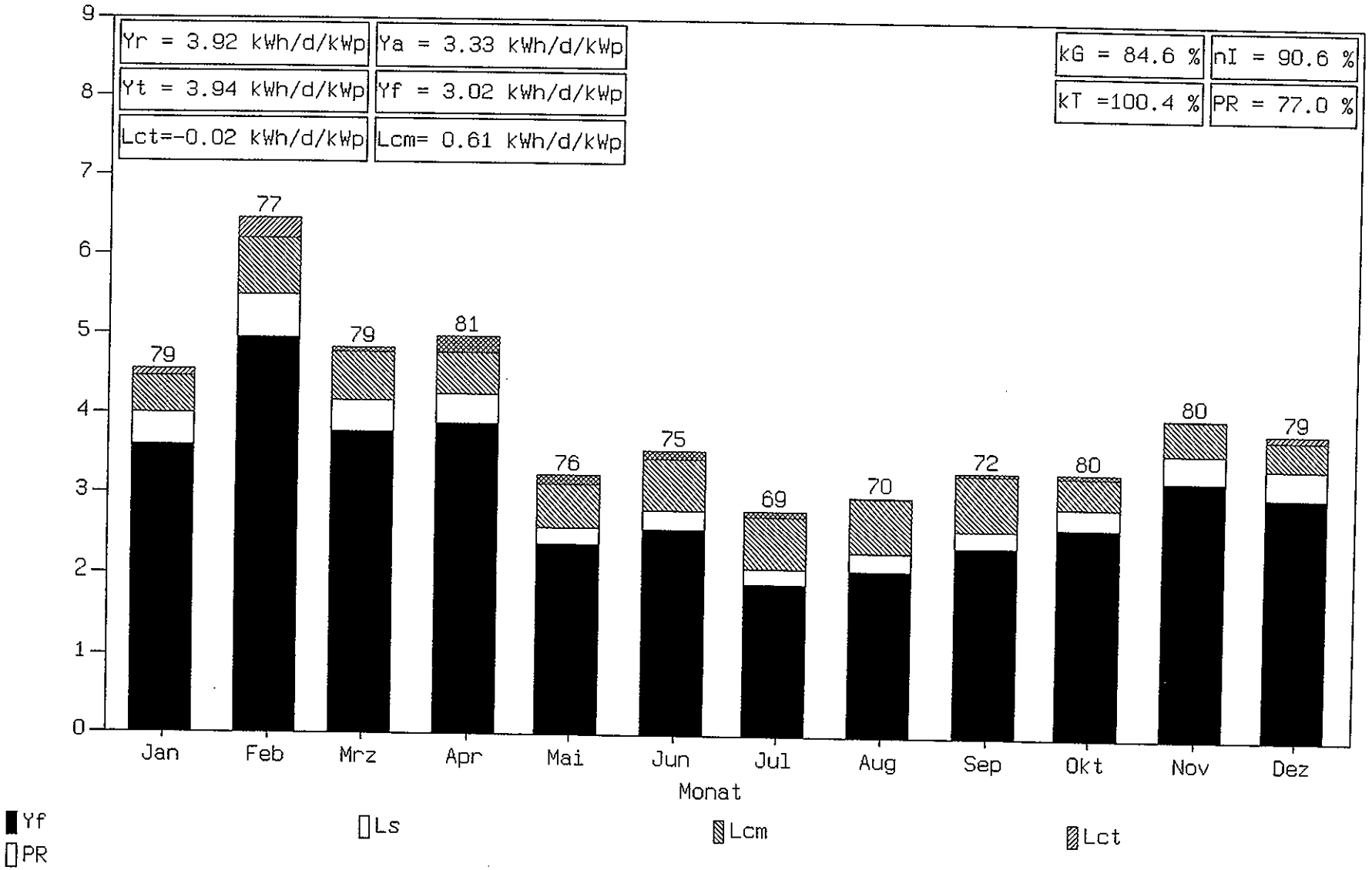
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)

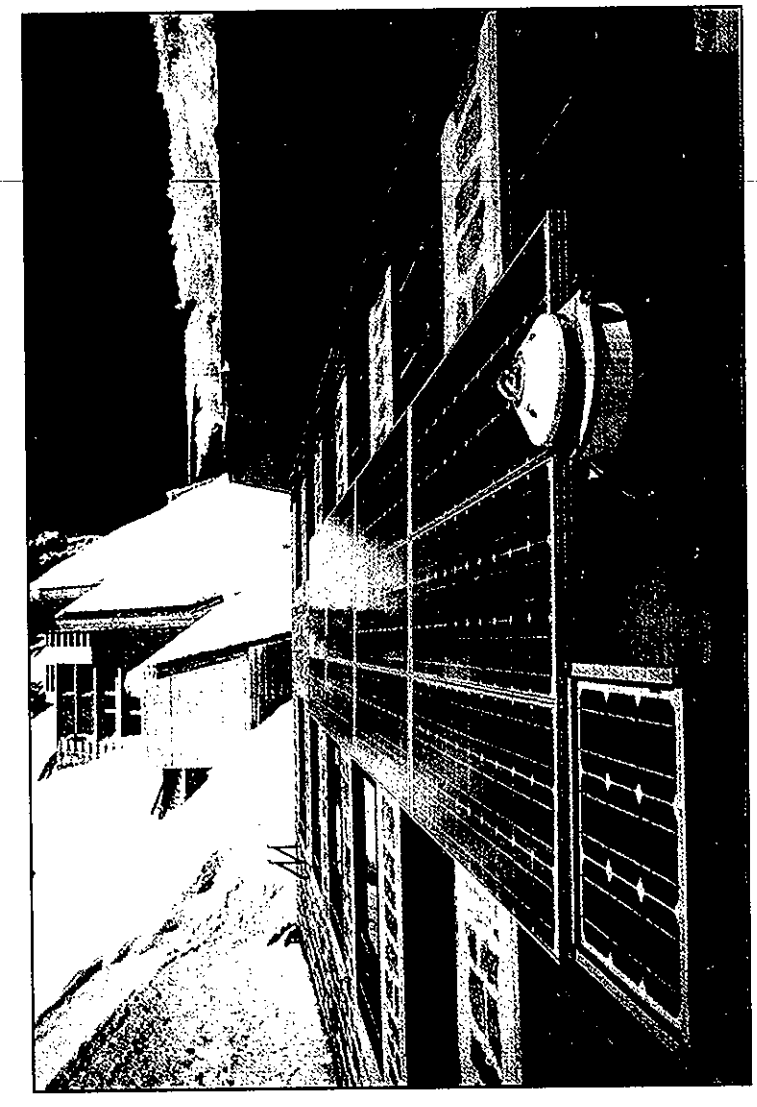


3 Jungfraujoch

Technische Angaben zur Anlage		
Ort:	Hochalpine Forschungsstation, 3801 Jungfraujoch; 3454 m.ü.M.	
Inbetriebnahme:	27.10.1993	
Solargenerator:		
Module:	Siemens M75 (24 Stück)	
Feldleistung:	1152 Wp (nom.) / 1130Wp (eff.)	**Neigung:** 90° (Fassade)
Bruttofläche:	9,56 m^2	**Ausrichtung:** 12° / 27° West
Wechselrichter:	ASP TopClass 2500/4 Grid III	seit 16.07.96
	ASP TopClass 1800	vom 29.10.93 bis 16.07.96

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in beide Modulebenen (2 Pyranometer und 2 Referenzzellen)
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichströme (Ströme der beiden Arrays werden separat gemessen)
- Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung
- Netzspannung



Ingenieurschule Burgdorf

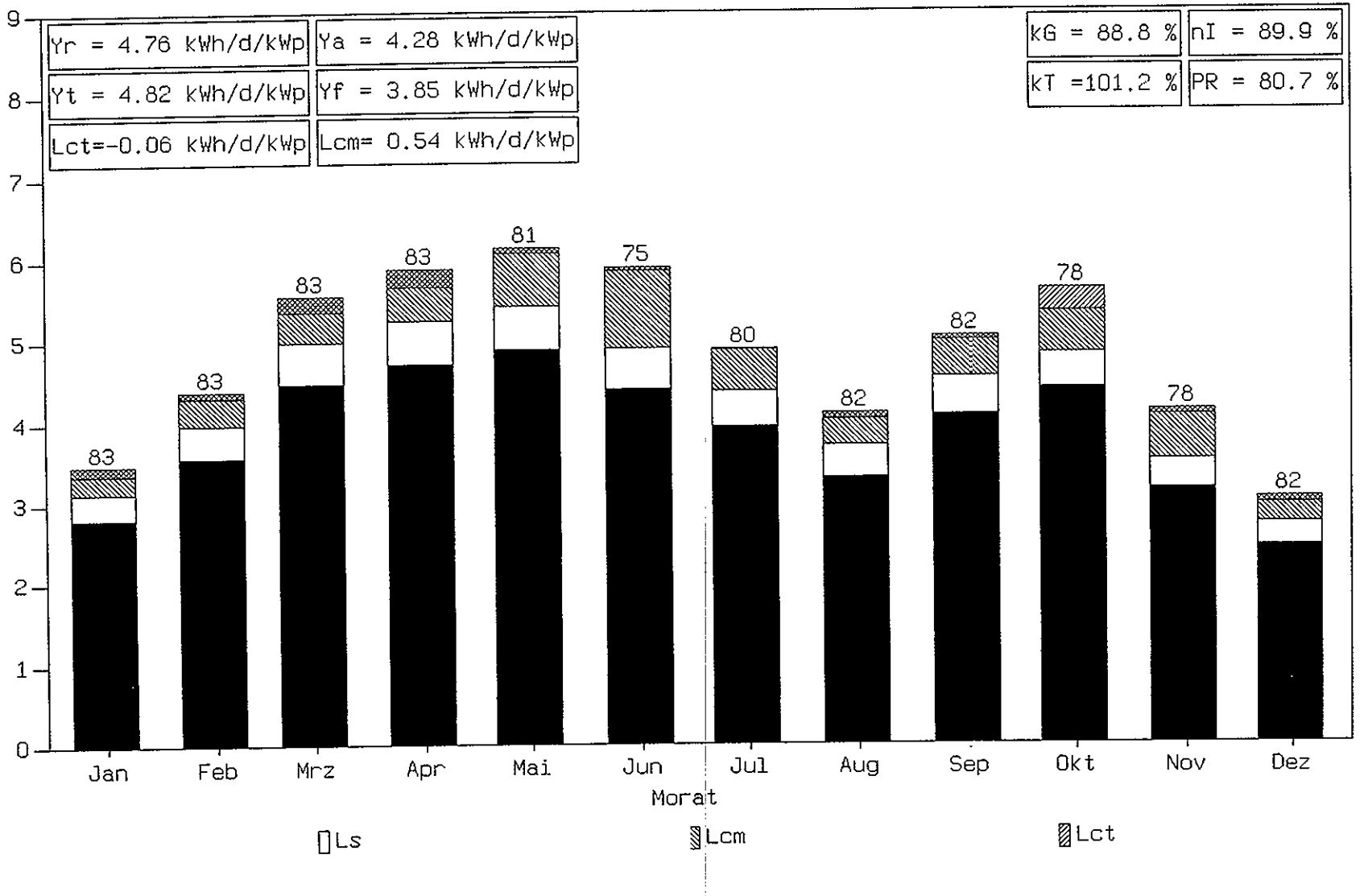
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Jungfraujoch

Jahr: 1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



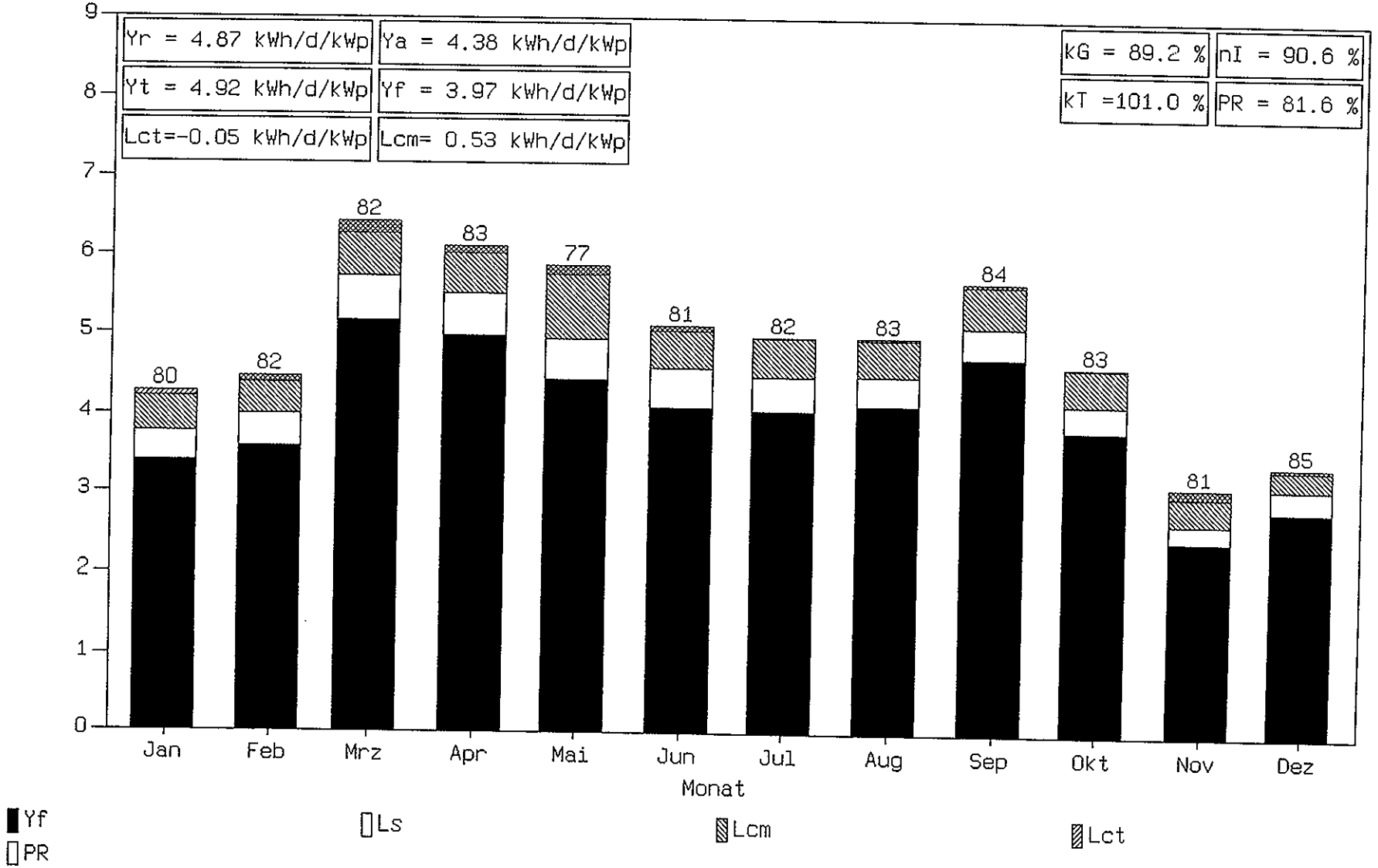
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Jungfraujoch Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



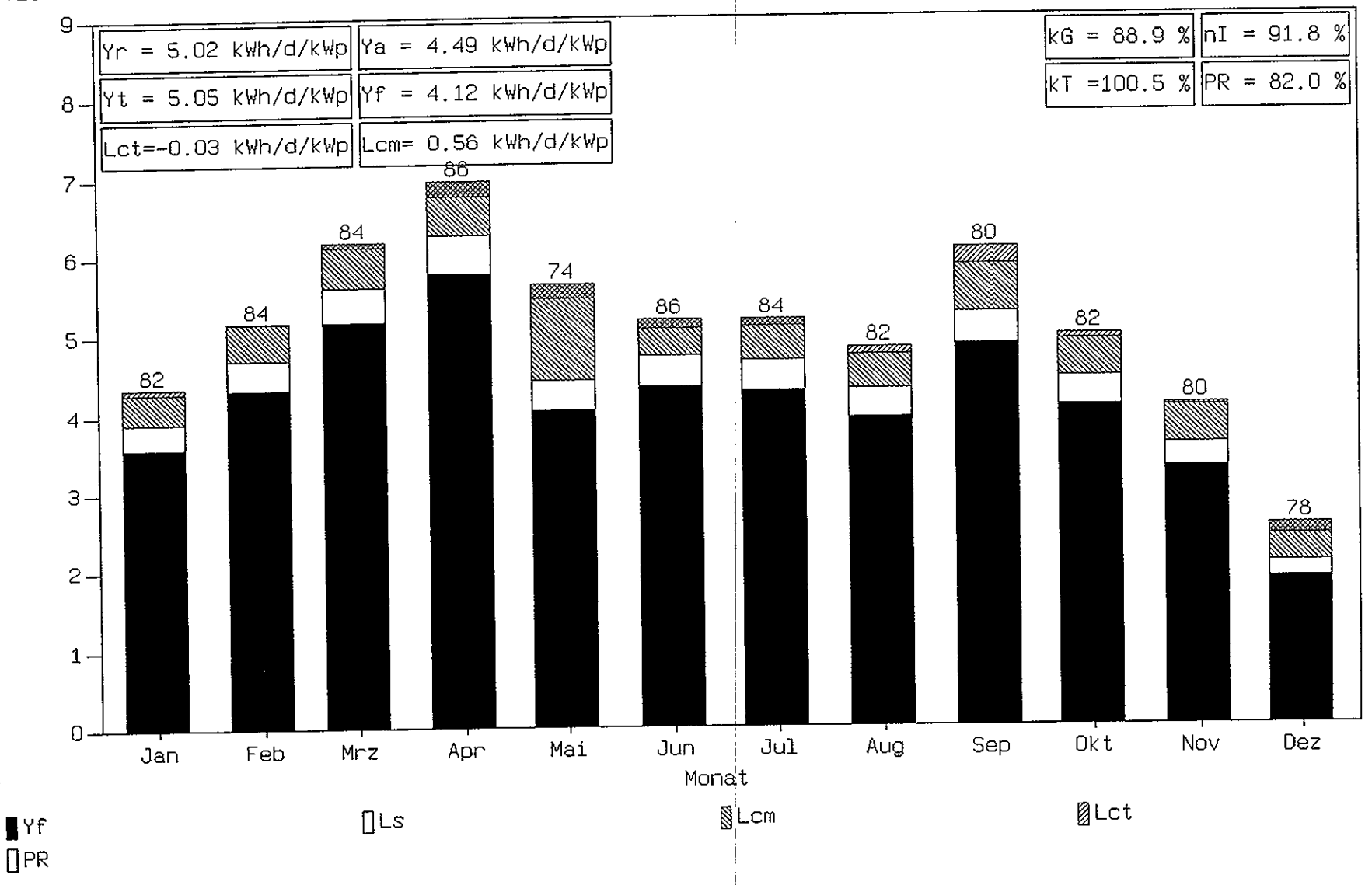
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Jungfraujoch Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



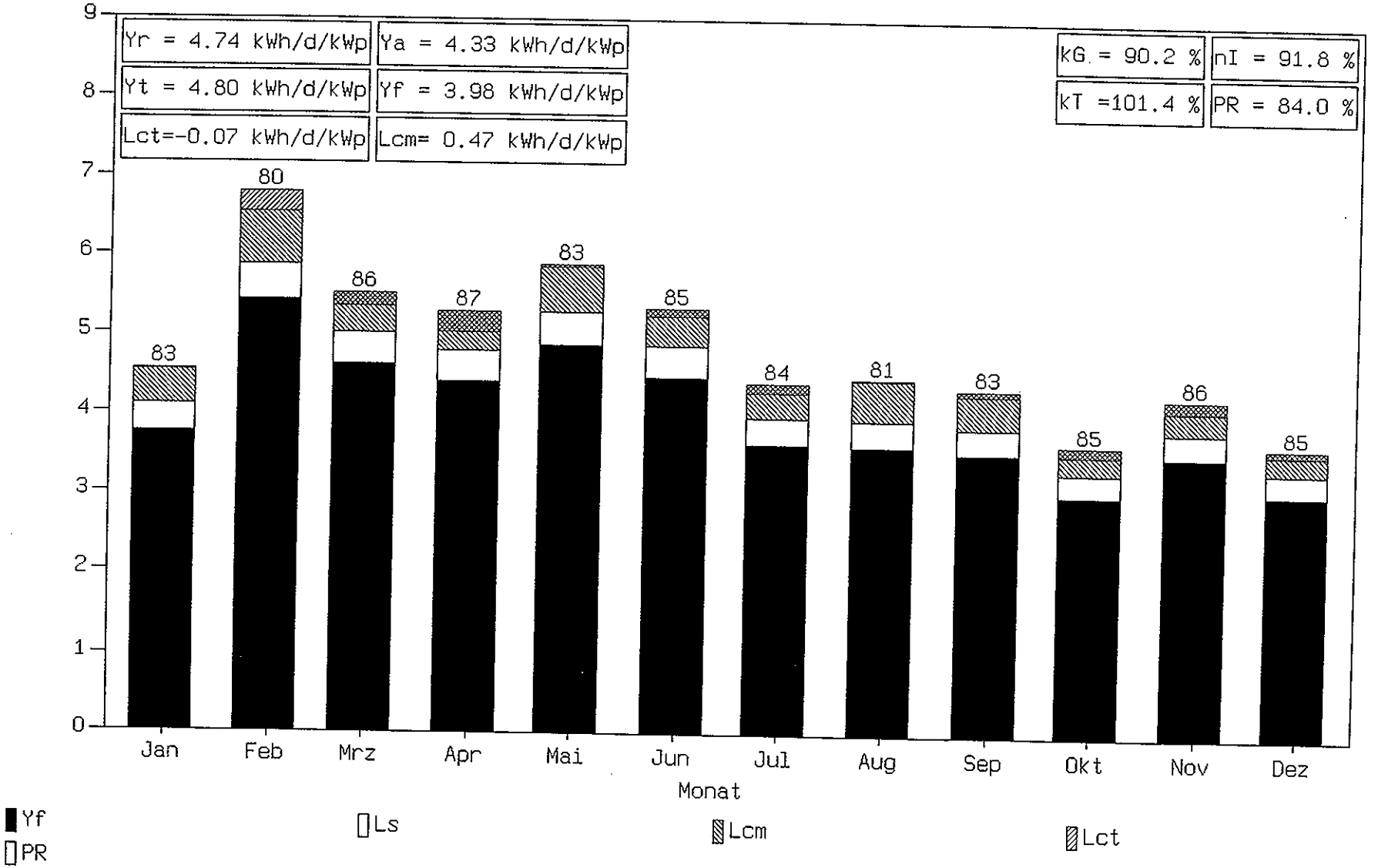
Ingenieurschule Burgdorf

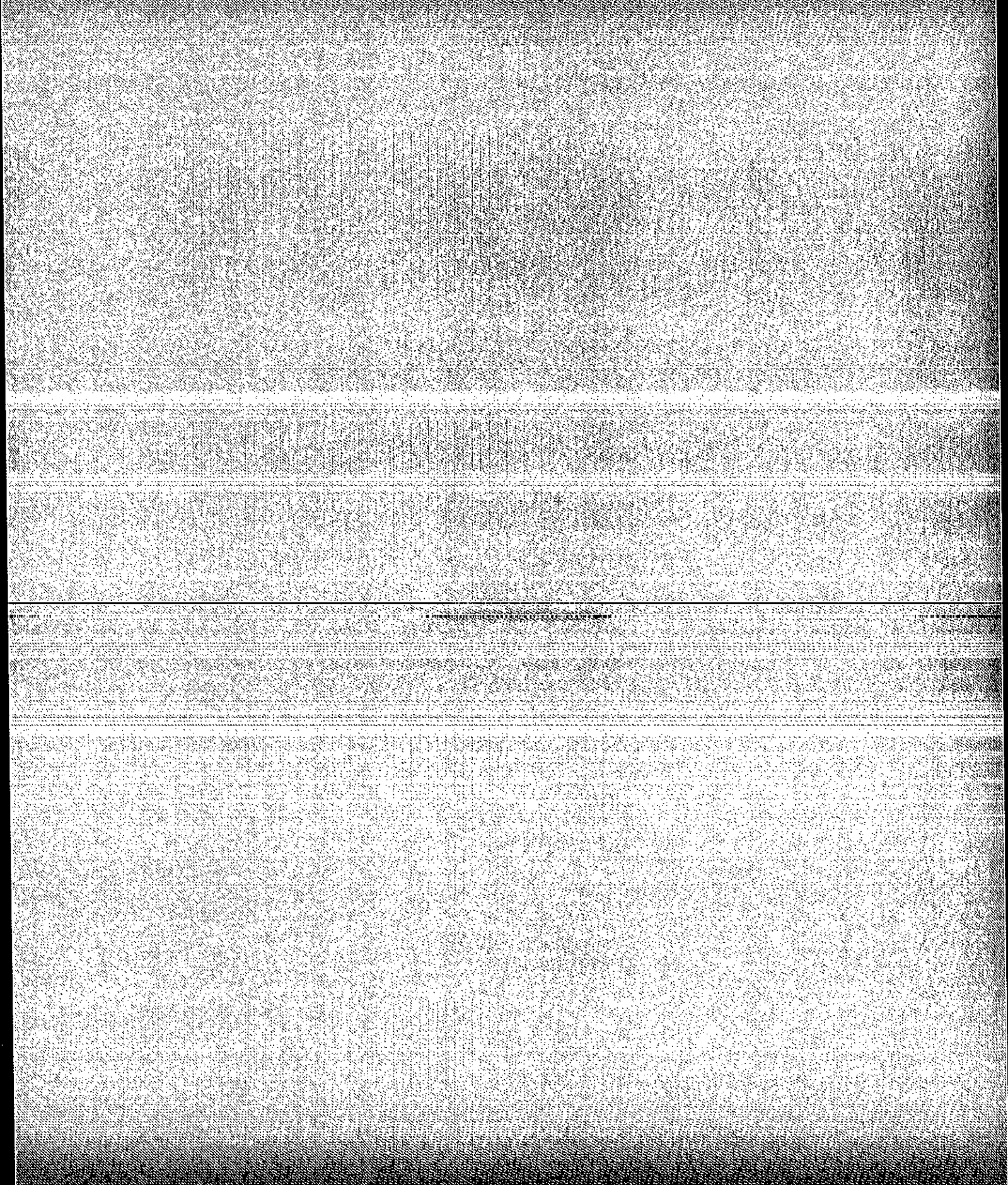
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Jungfraujoch Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



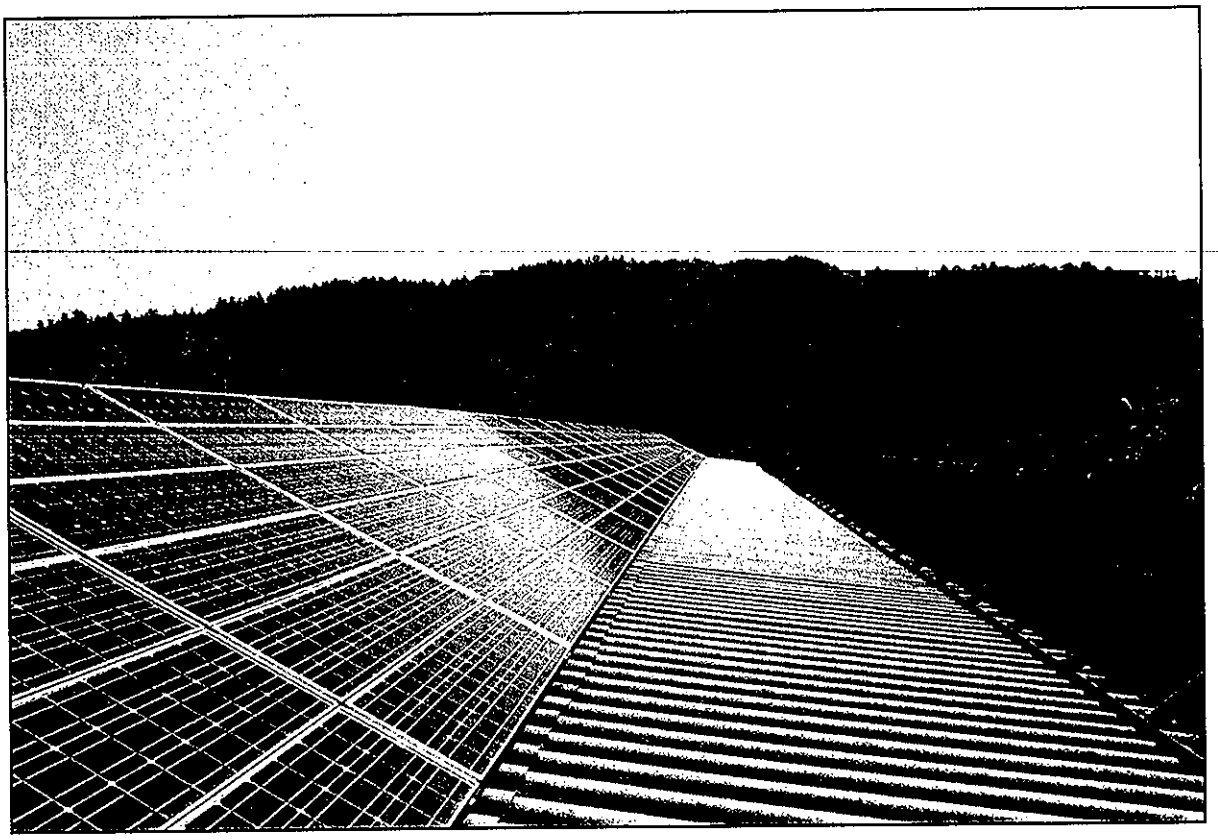


4 Schlossmatt 8, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage		
Ort:	Schlossmattschulhaus, Grunerstrasse 7, 3400 Burgdorf; 540 m.ü.M.	
Inbetriebnahme:	17.03.1995	
Solargenerator:		
Module:	Siemens M55 (60 Stück)	
Feldleistung:	3180 Wp (nominell)	**Neigung:** 30° (Schrägdachaufständerung)
Bruttofläche:	25,6 m^2	**Ausrichtung:** 7° Ost
Wechselrichter:	Sputnik SolarMaxS	

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer und Referenzzelle
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichstrom und Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung
- Netzspannung



Bei der Anlage Schlossmatt 8 ergaben sich kurzzeitige Messdatenausfälle, die durch einen defekten Datalogger DT50 verursacht wurden. Das Gerät wurde ersetzt.

Durch den Defekt ergaben sich folgende Ausfallzeiten:

10.12.97 – 19.12.97

23.08.98 – 01.09.98

17.09.98 – 02.10.98

Ingenieurschule Burgdorf

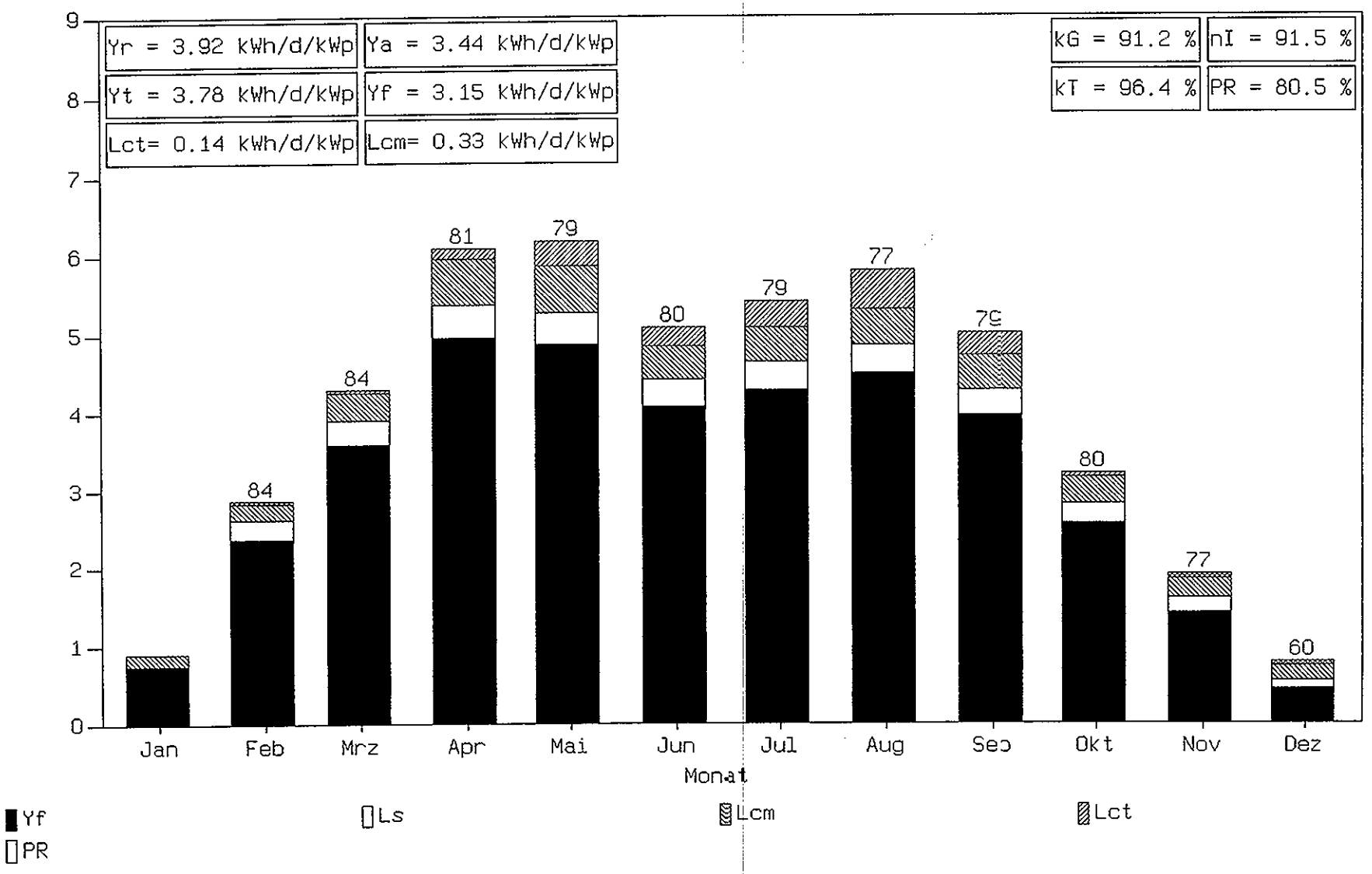
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

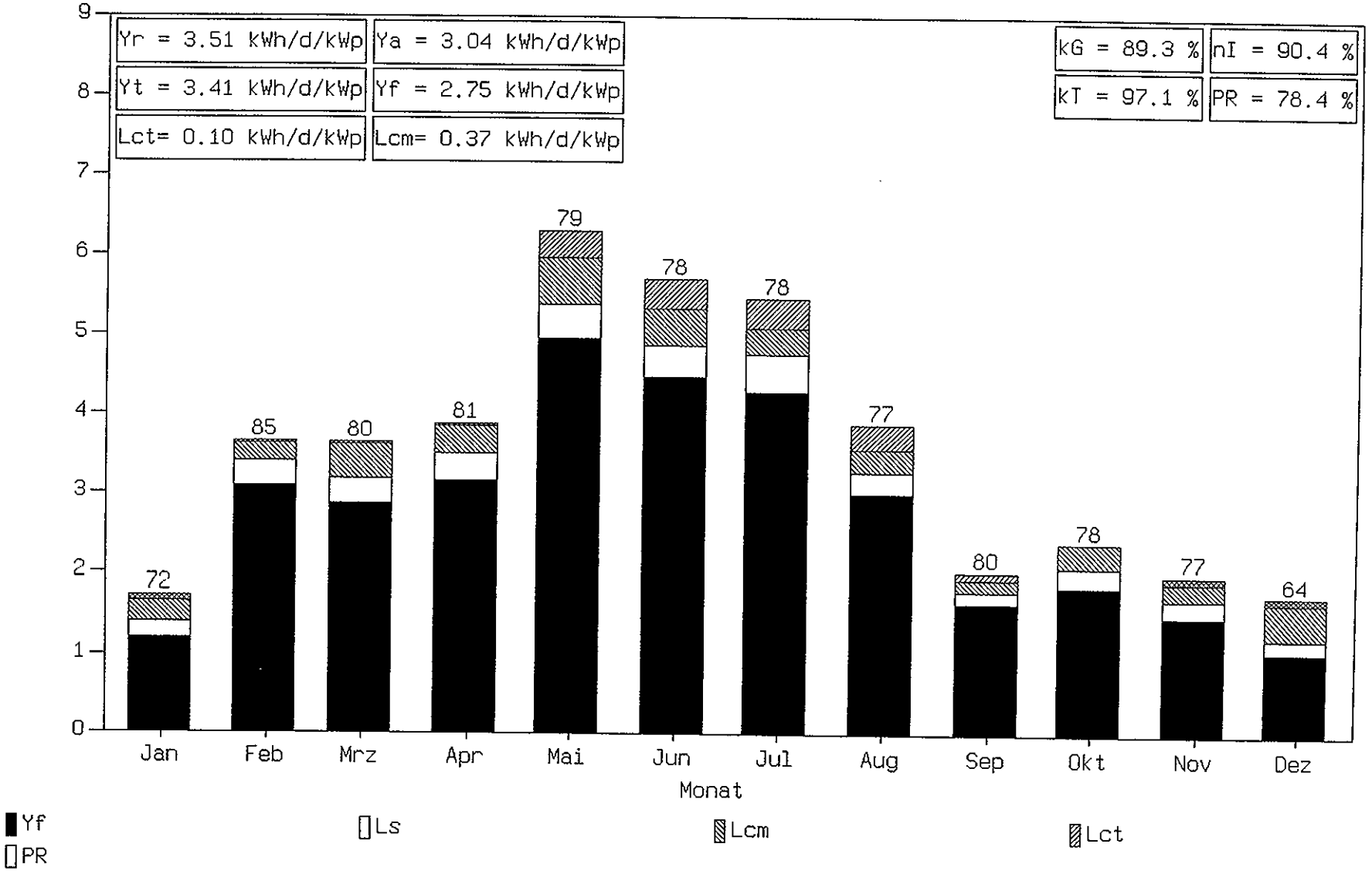
Labor für Photovoltaik

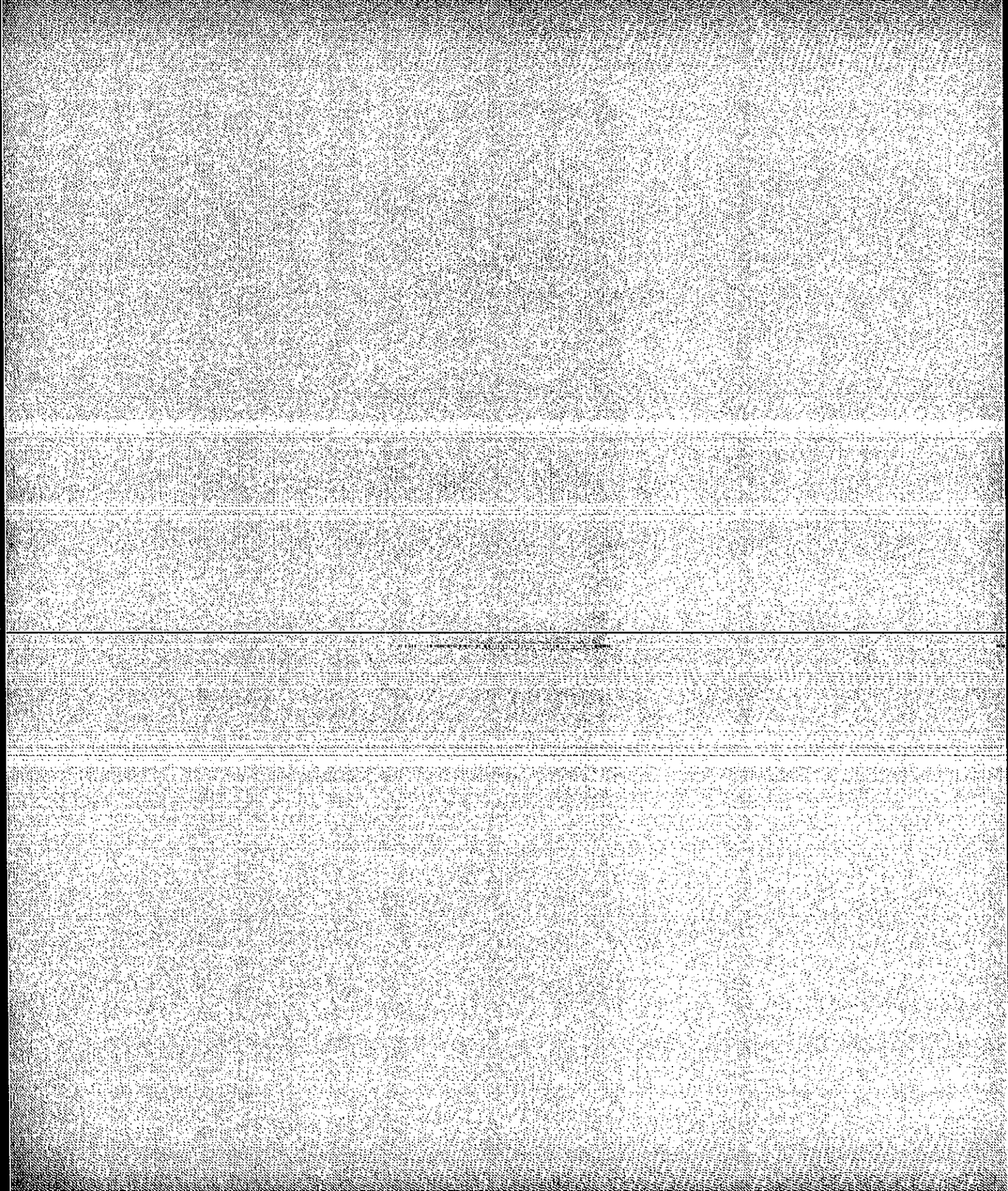
Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



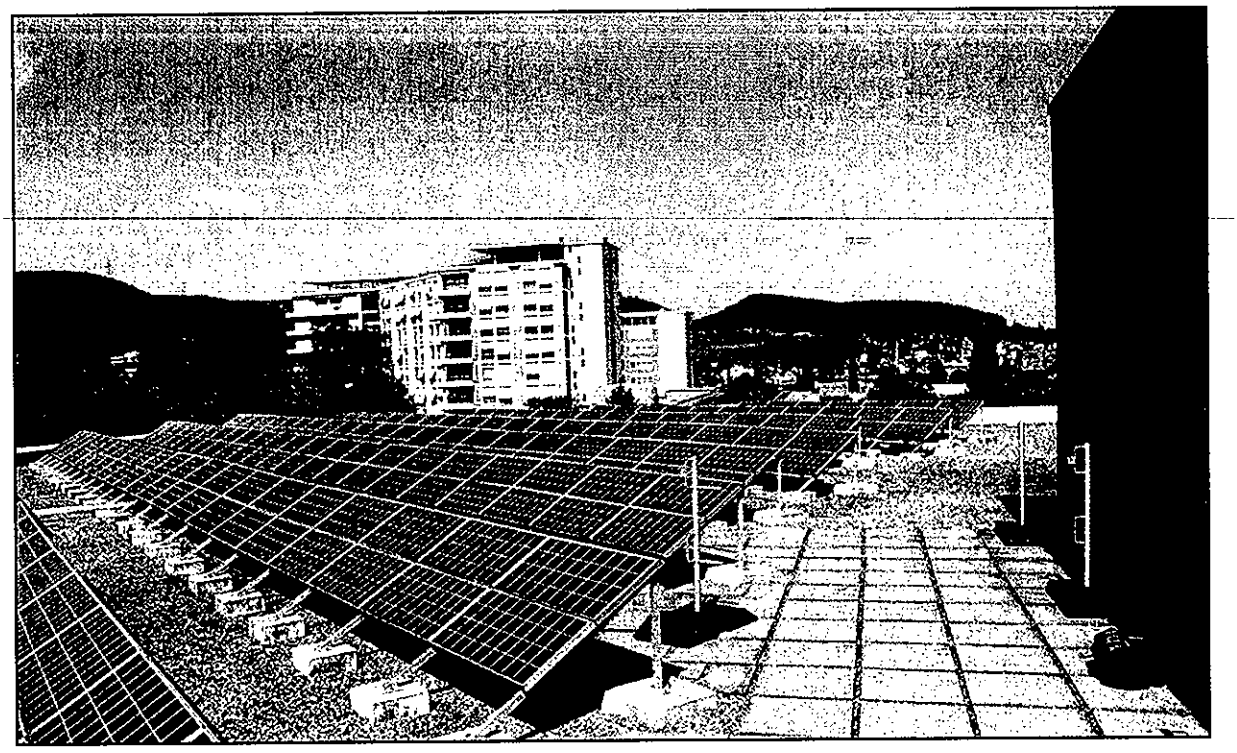


5 Elektra Baselland (EBL), Liestal

Technische Angaben zur Anlage			
Ort:	Mühlemattstrasse 6, Magazingebäude, 4410 Liestal; 327 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	1992		
Solargenerator:			
Module:	Kyocera LA361H51 (364 Stück)		
Feldleistung:	18560 Wp (nom.) / 17070 Wp (eff.)	**Neigung:**	30° (Flachdach)
Bruttofläche:	159,1 m^2	**Ausrichtung:**	0° Süd
Wechselrichter:	Sputnik SolarMax20		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer und Referenzzelle
- Sonneneinstrahlung in Horizontalebene mit Pyranometer
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichstrom und Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung (3-phasig)
- Netzspannung auf Phase 1



Ingenieurschule Burgdorf

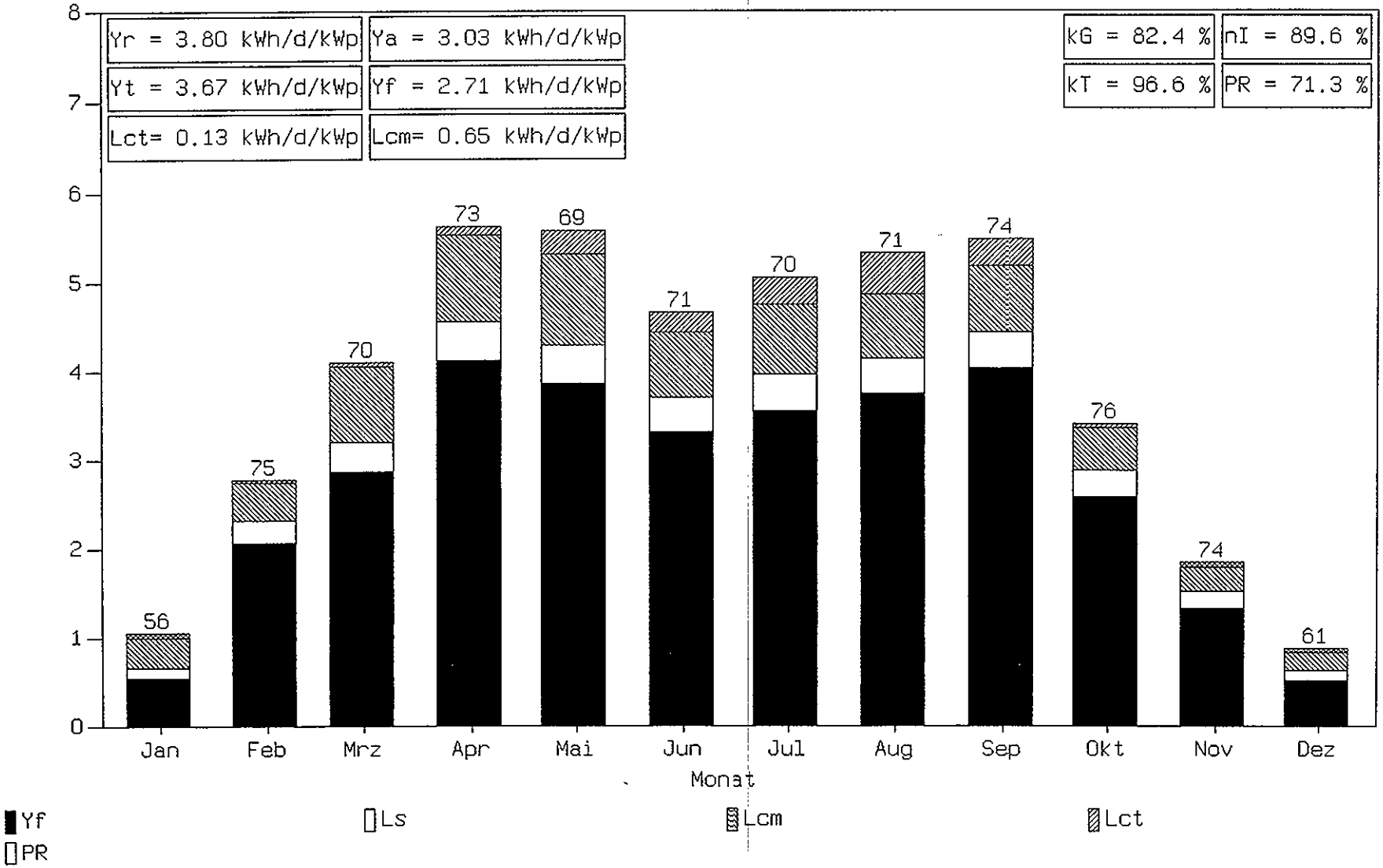
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: EBL/Liestal

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



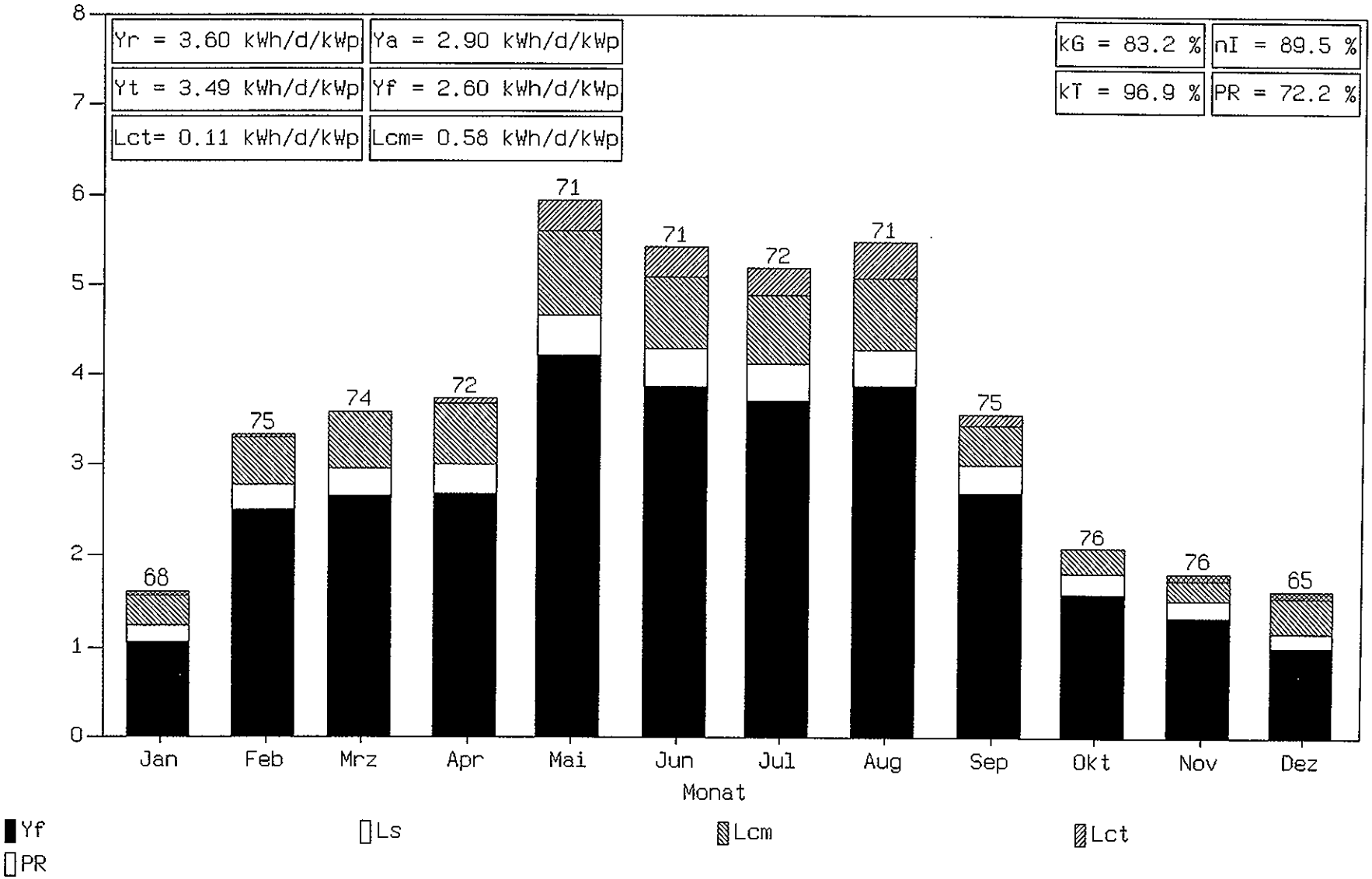
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: EBL/Liestal Jahr: 1998

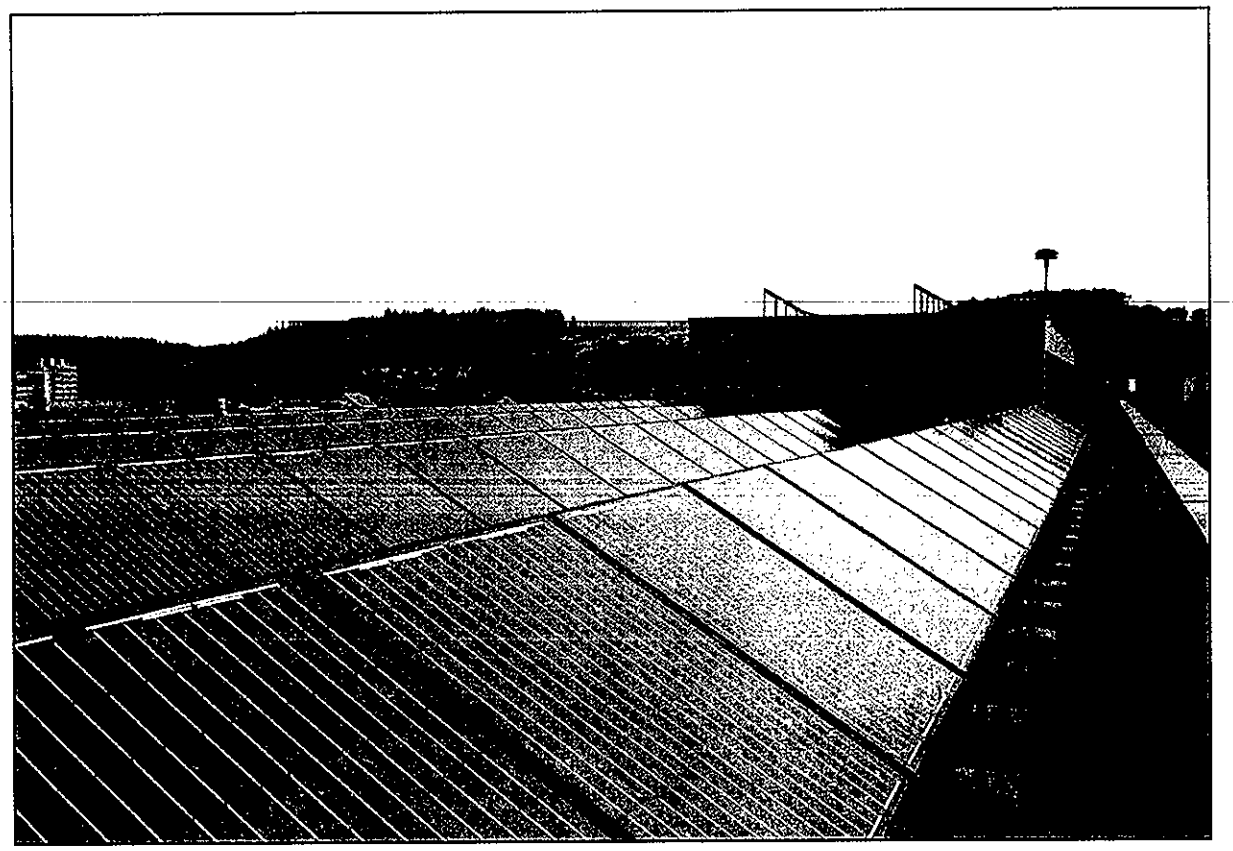
Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



6 IBB Gsteighof, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage			
Ort:	Pestalozzistrasse 73, Schulgebäude, 3400 Burgdorf; 540 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	18.05.1995		
Solargenerator:			
Module:	Solarex MSX120 (136 Stück)		
Feldleistung:	16320 kWp (nom.) / 15680 kWp (eff.)	**Neigung:**	30° (Flachdach)
Bruttofläche:	151,1 m^2	**Ausrichtung:**	20° Ost
Wechselrichter:	Sputnik SolarMax15		
Messgrössen:			

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Referenzzelle
- Sonneneinstrahlung in Horizontalebene mit Silizium-Pyranometer
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- DC- und AC-Leistung



Ingenieurschule Burgdorf

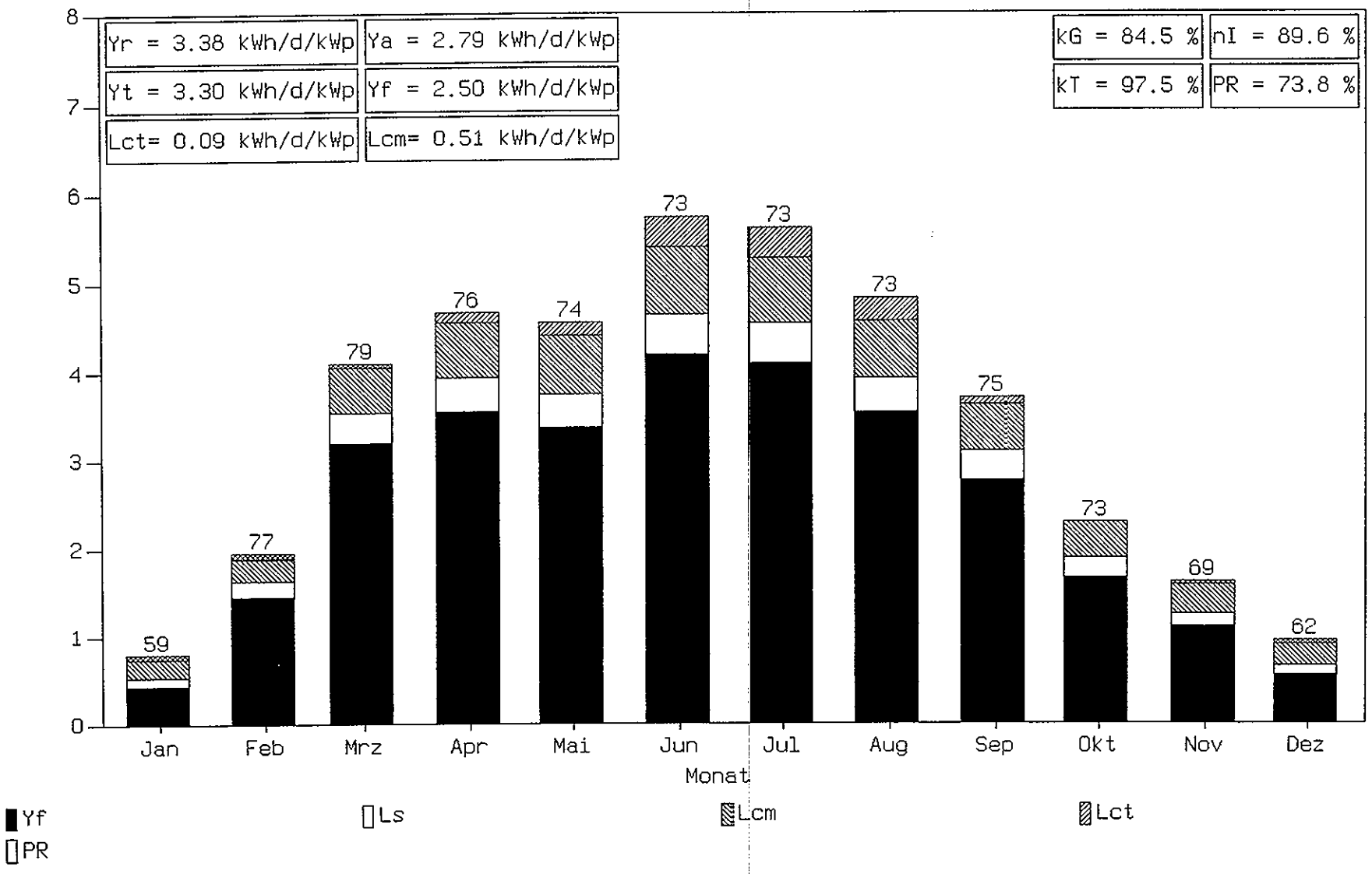
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Referenzzelle)

Anlage: IBB/Gsteighof, Burgdorf

Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=15680Wp)



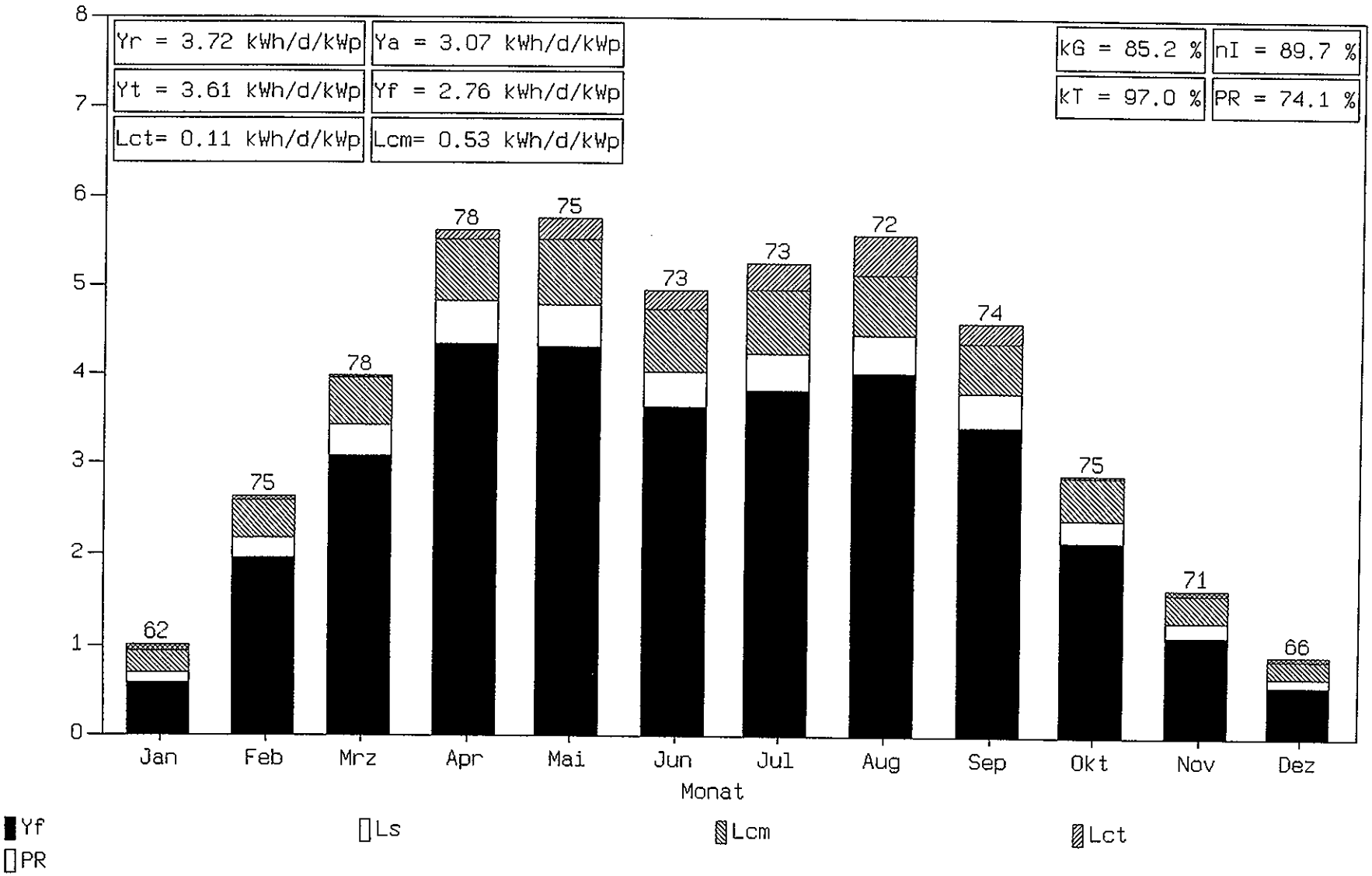
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Referenzzelle)

Anlage: IBB/Gsteighof, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=15680Wp)



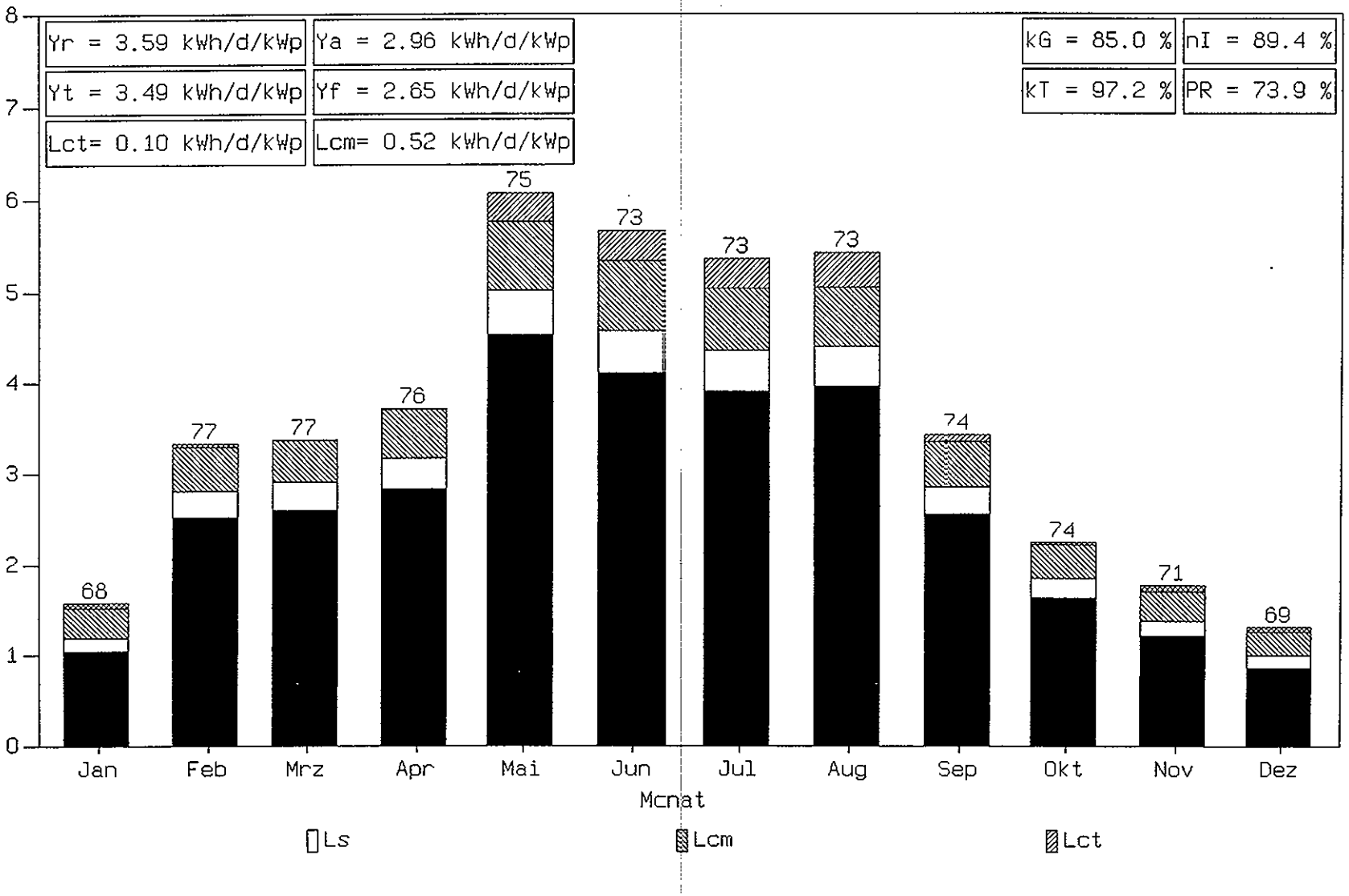
Ingenieurschule Burgdorf

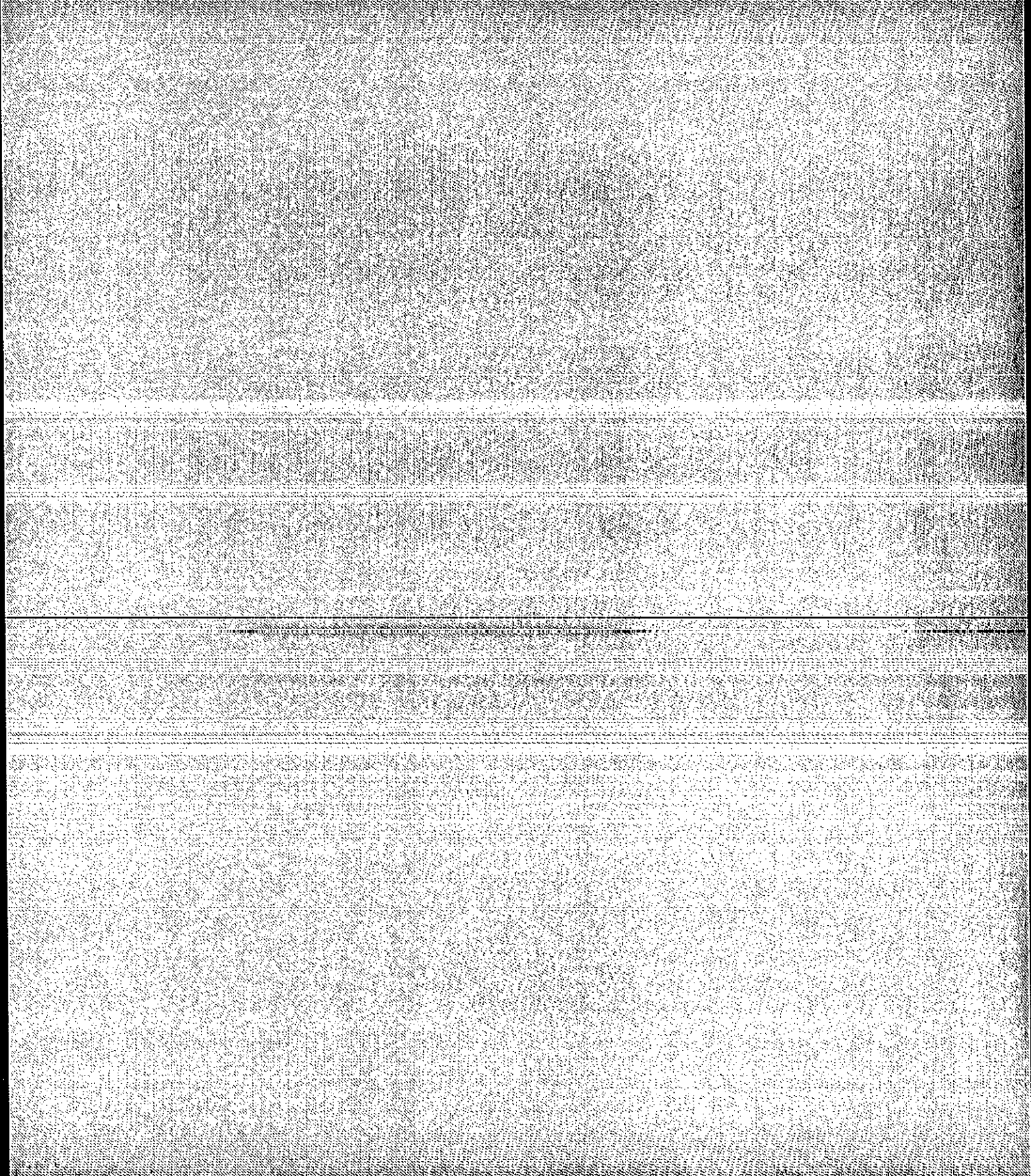
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Referenzzelle)

Anlage: IBB/Gsteighof, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1568OWp)





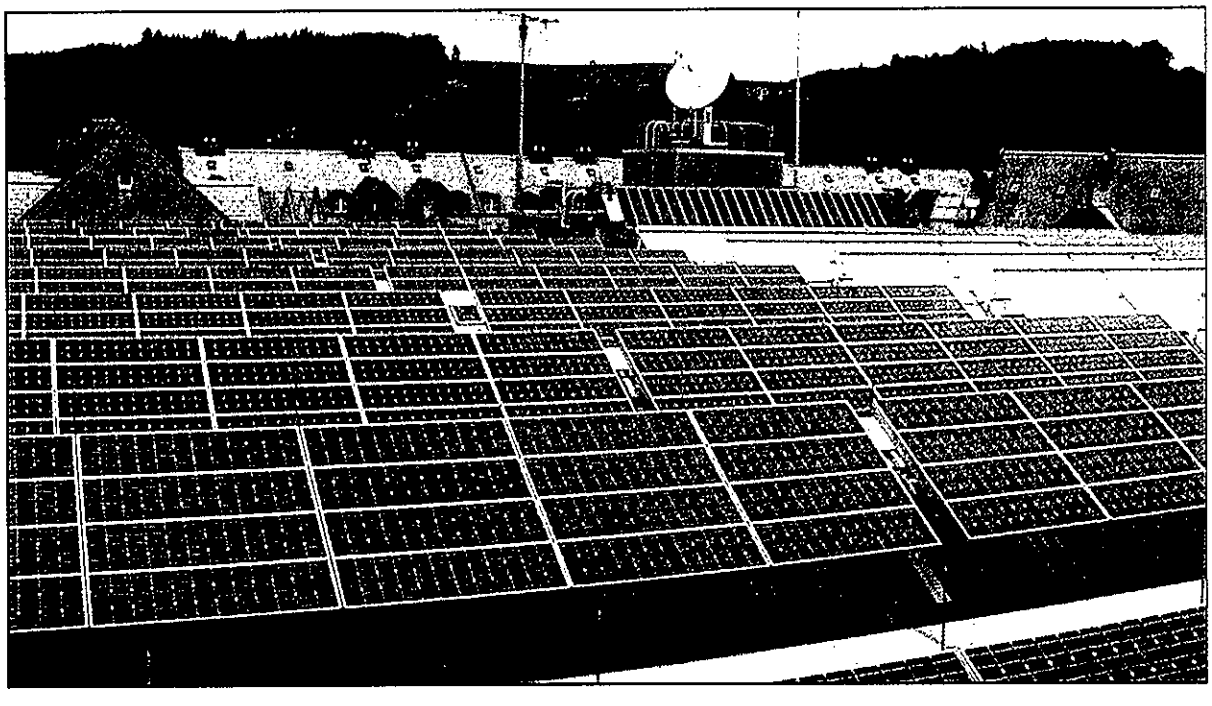
7 Testanlage HTA Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage				
Ort:	Jlcoweg 1, Abt. Elektrotechnik, 3400 Burgdorf; 530 m.ü.M.			
Inbetriebnahme:	12.01.1994			
Solargenerator:				
Module:	Siemens M55HO (1056 Stück)			
Feldleistung:	59,66 kWp		**Neigung:**	30° (Sheddach)
Bruttofläche:	450,6 m²		**Ausrichtung:**	29° West
Wechselrichter:	SolarMax 20	12.01.1994 –	Feinmessung	*
	EcoPower 20	09.02.1994 – 14.11.1998	Feinmessung	
	SolarMaxDC30+	18.12.1998 –	Feinmessung	
	Solcon 3400 HE	16.02.1994 –	Feinmessung	
	TopClass 4000/6 Grid III	03.06.1996 –	Feinmessung	*
	Edisun 200	01.11.1996 –	Feinmessung	
	TopClass 4000/6 Grid III	14.08.1996 –	Grobmessung	
	TopClass 4000/6 Grid III	14.08.1996 – 17.12.1998	Grobmessung	
	TopClass 1800	27.10.1993 –	Grobmessung	
	TopClass 2500/6 Grid III	14.08.1996 – 17.12.1998	Grobmessung	

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer und Referenzzelle
- Sonneneinstrahlung in Horizontalebene mit Pyranometer
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichströme und Gleichspannungen
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistungen
- Netzspannung

*) Die normierten Jahresstatistiken der gekennzeichneten PV-Anlagen werden nachfolgend aufgeführt, da die Solargeneratorleistung für diese Wechselrichter seit Inbetriebnahme nicht verändert wurde.



Ingenieurschule Burgdorf

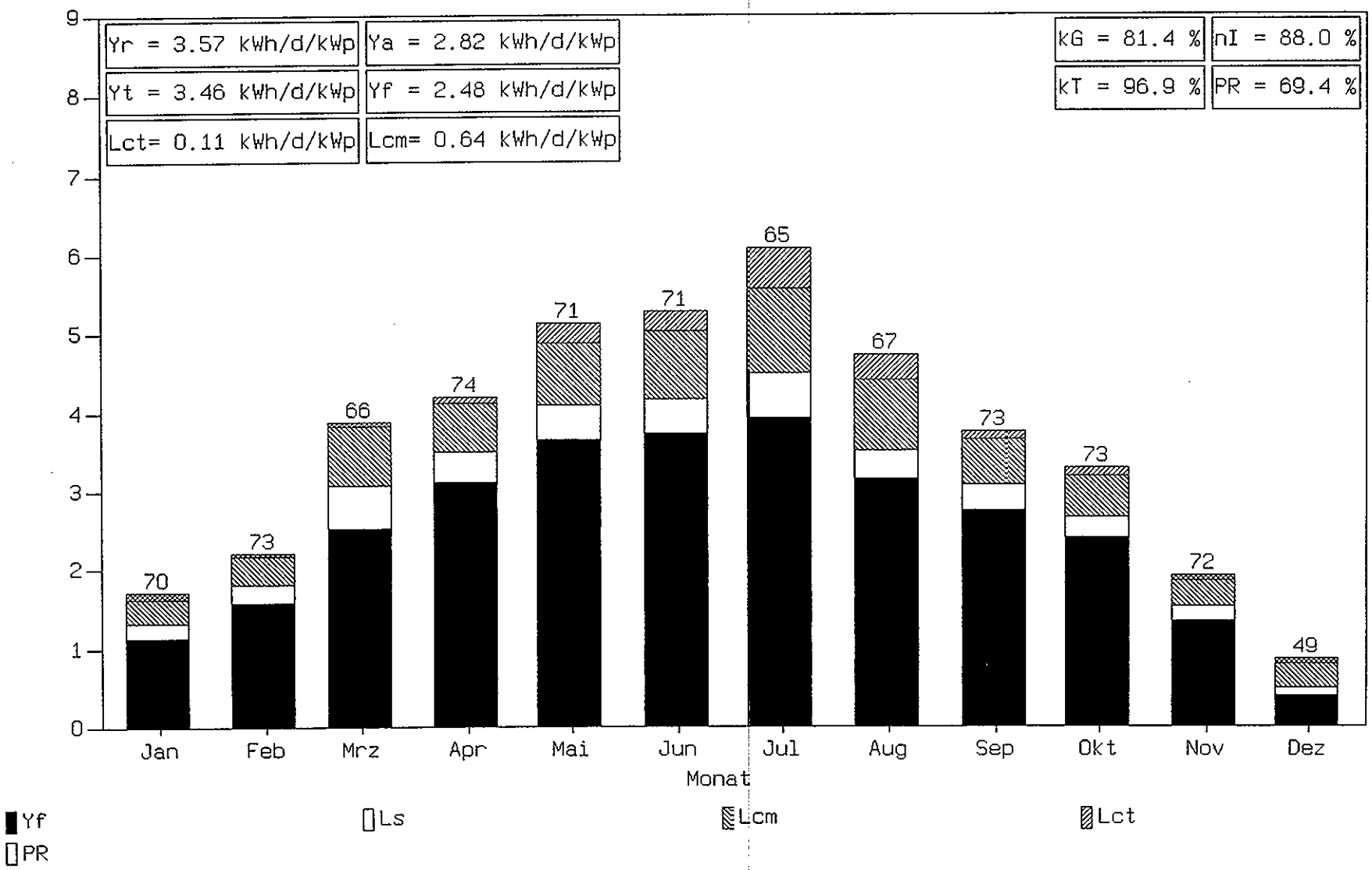
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage West, Burgdorf: SolarMax20

Jahr: 1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=21696Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

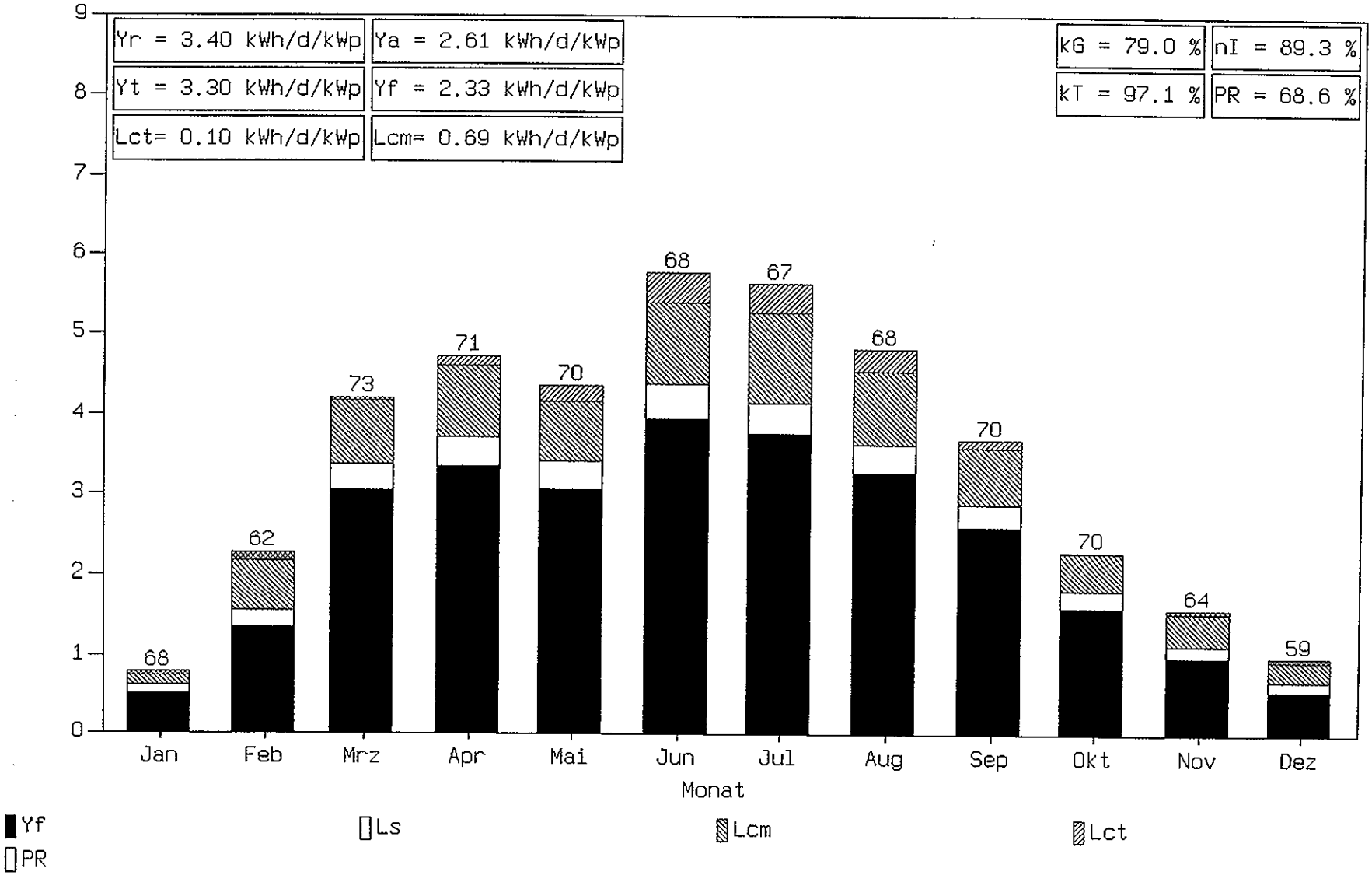
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage West, Burgdorf: SolarMax20

Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=21696Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

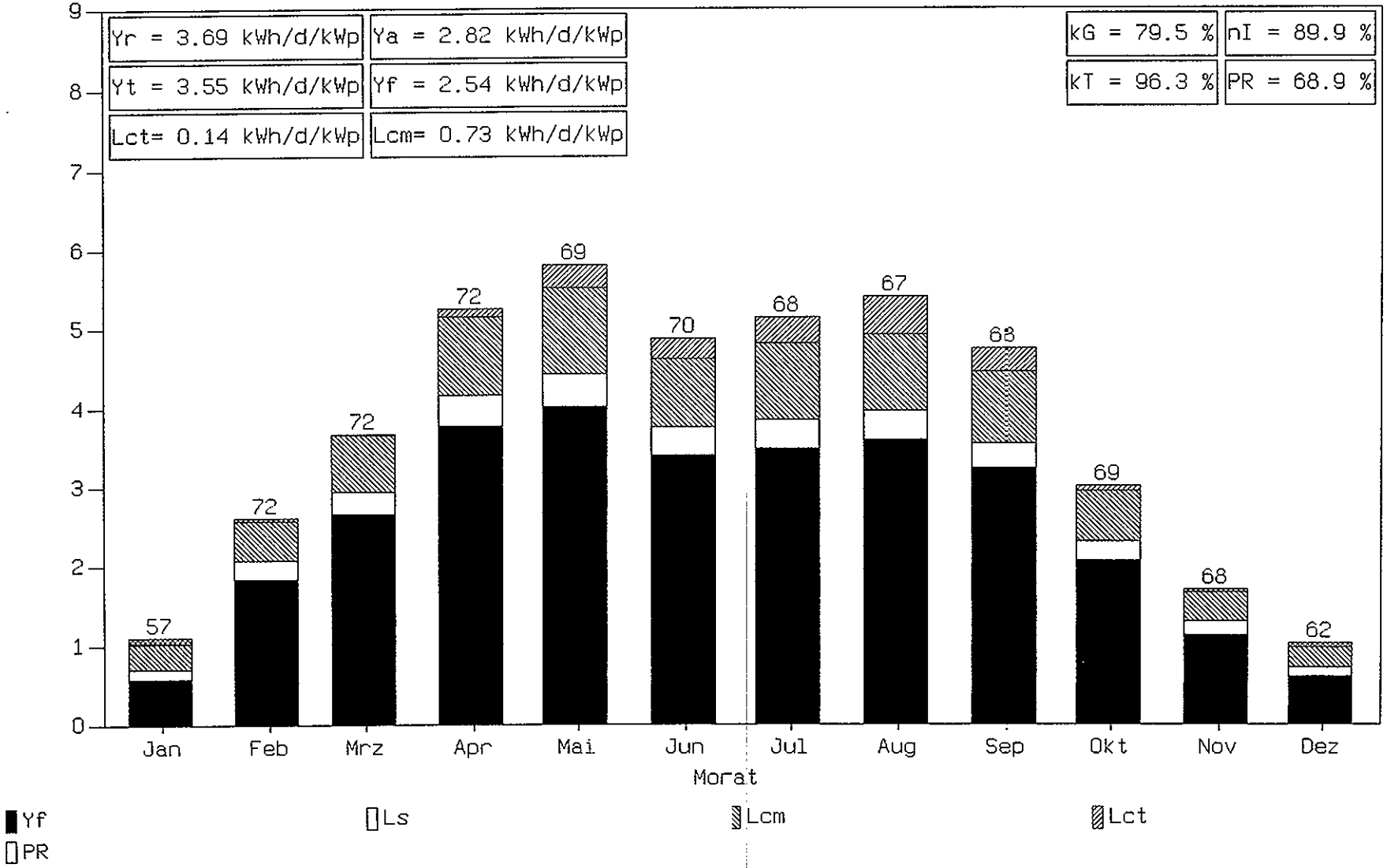
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage West, Burgdorf: SolarMax20

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=21696Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

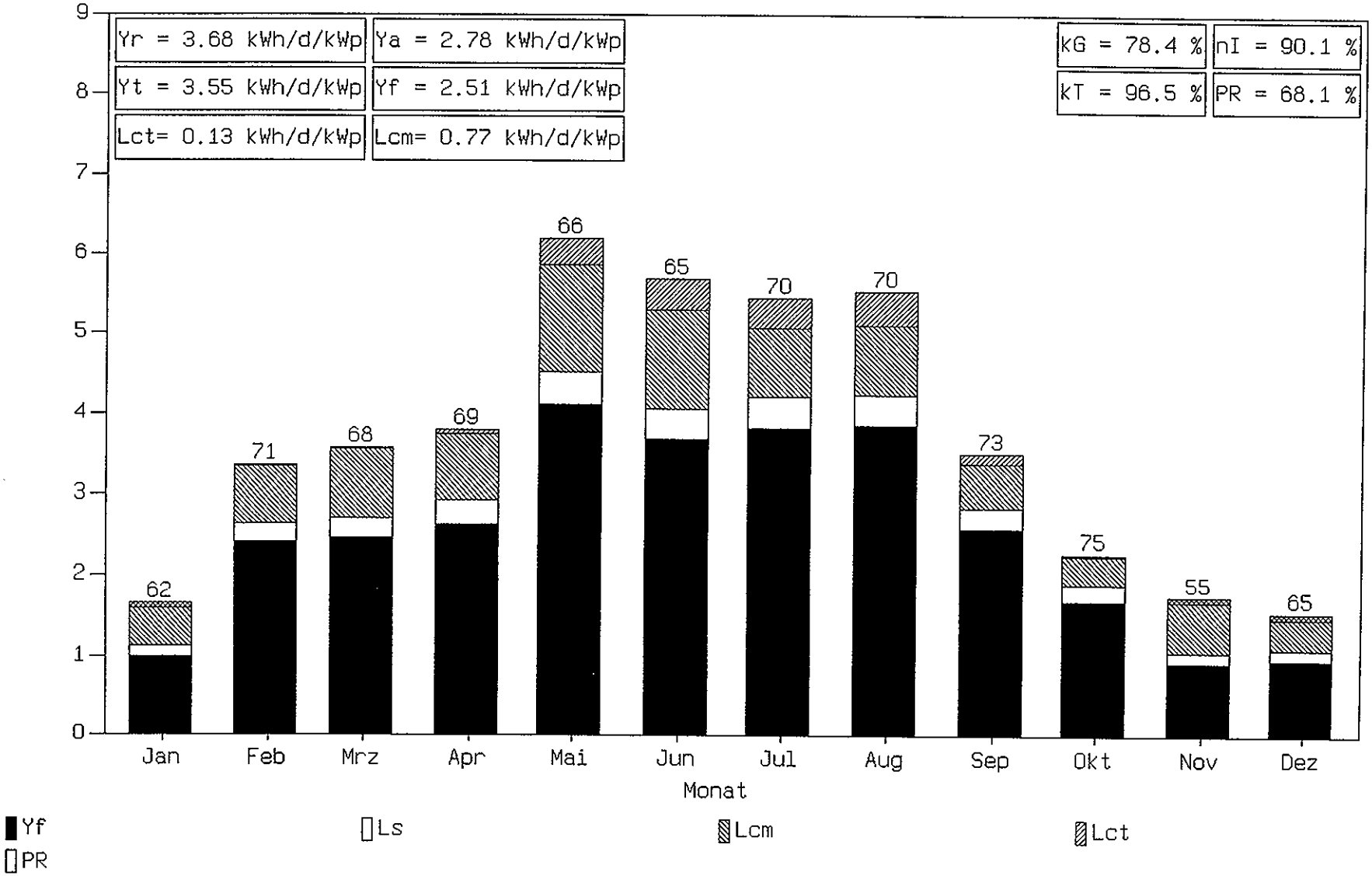
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage West, Burgdorf: SolarMax20

Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=21696Wp)



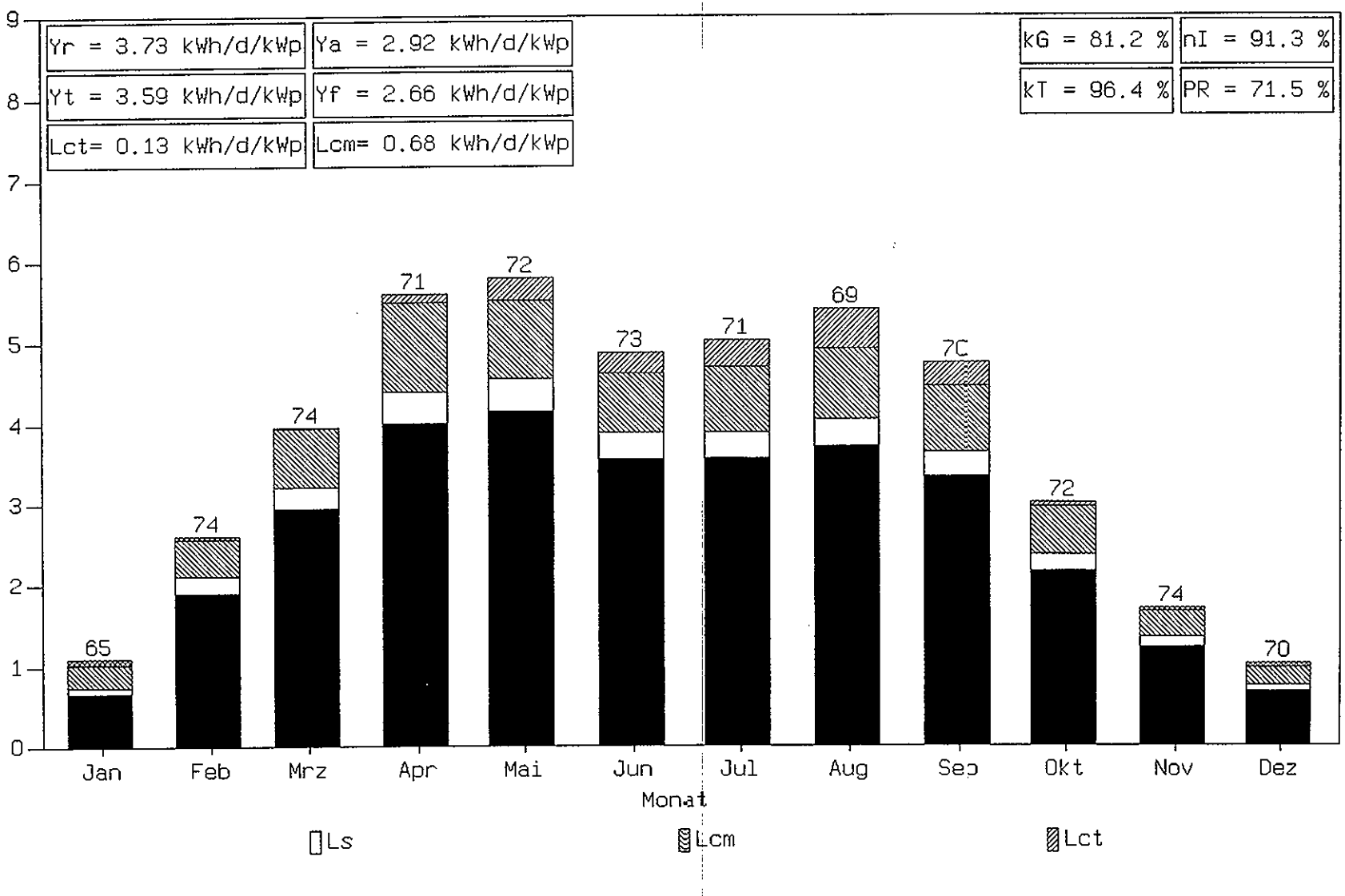
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Tiergarten KWR1, TopClass 4000 Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4068Wp)



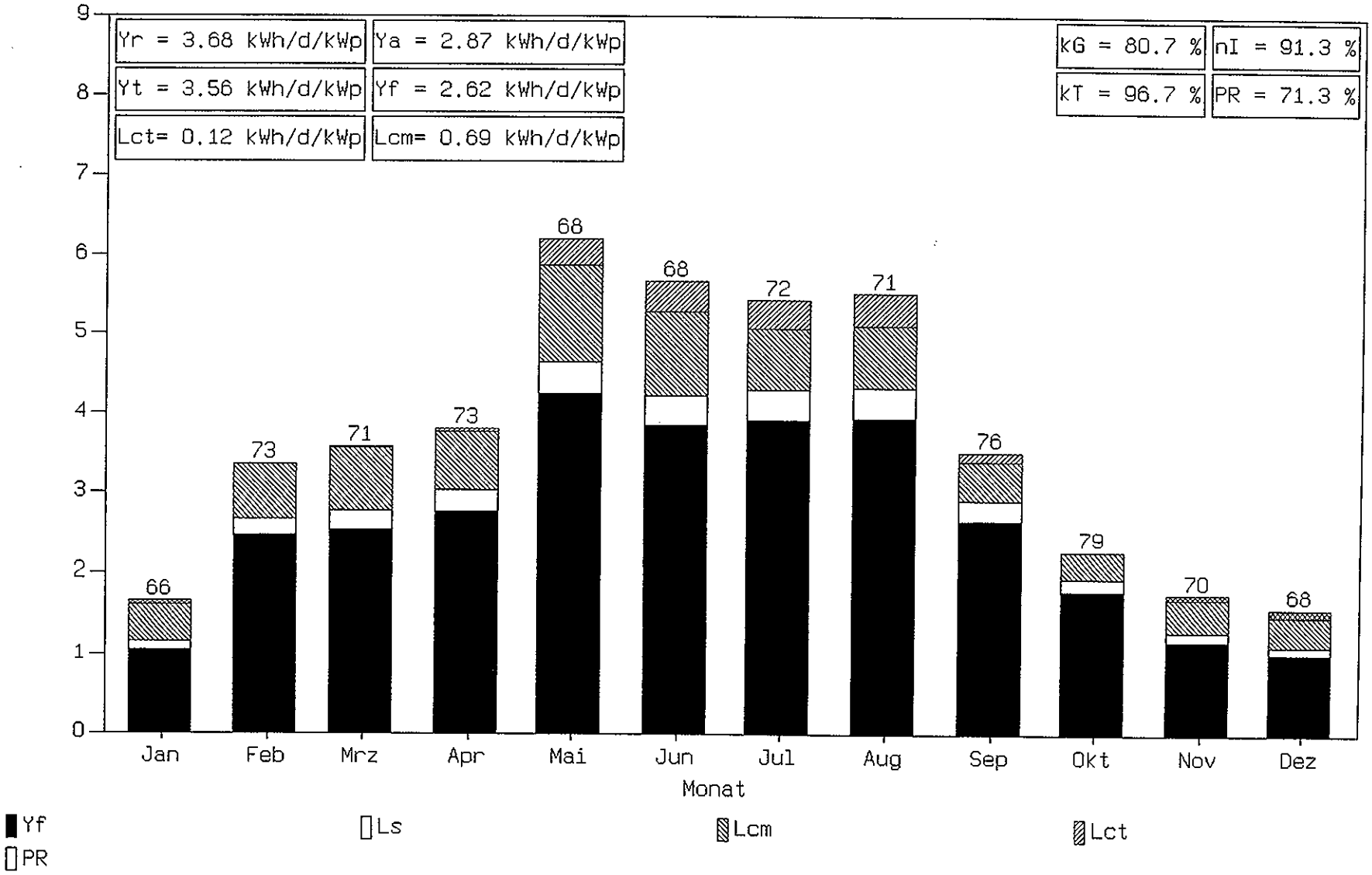
Ingenieurschule Burgdorf

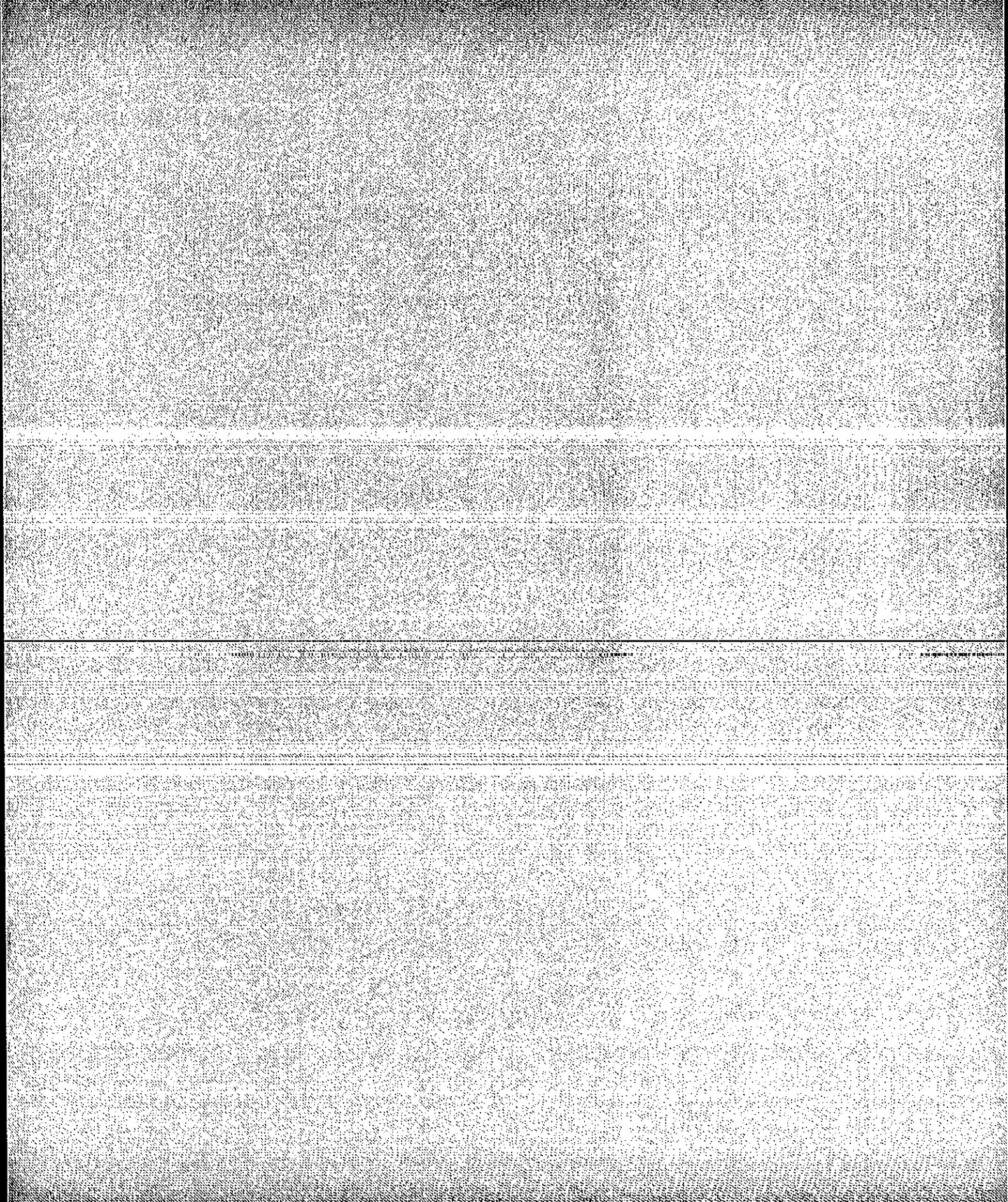
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Tiergarten KWR1, TopClass 4000 Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4068Wp)



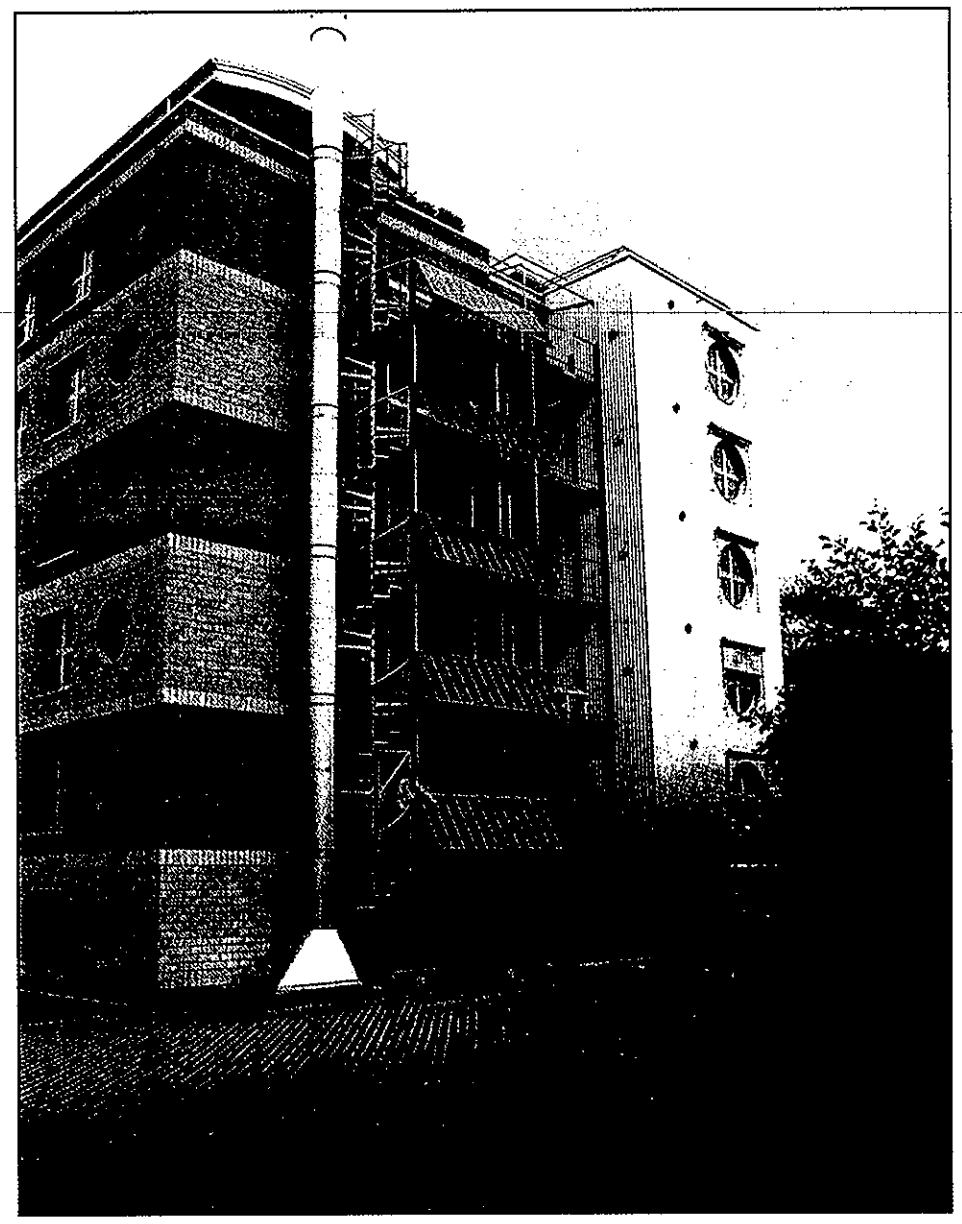


8 Firma 2, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage			
Inbetriebnahme:	14.05.1992		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (60 Stück)		
Feldleistung:	3180 Wp (nominell)	**Neigung:**	60° (Fassade)
Bruttofläche:	25,6 m^2	**Ausrichtung:**	20° West
Wechselrichter:	Solcon 3300		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung gemessen mit der zentralen Meteomessstelle an der HTA Burgdorf (Pyranometer) und danach die Messdaten mit Hilfe einer eigens entwickelten Software auf die Neigung und Orientierung der Solargeneratorebene umgerechnet
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung



Ingenieurschule Burgdorf

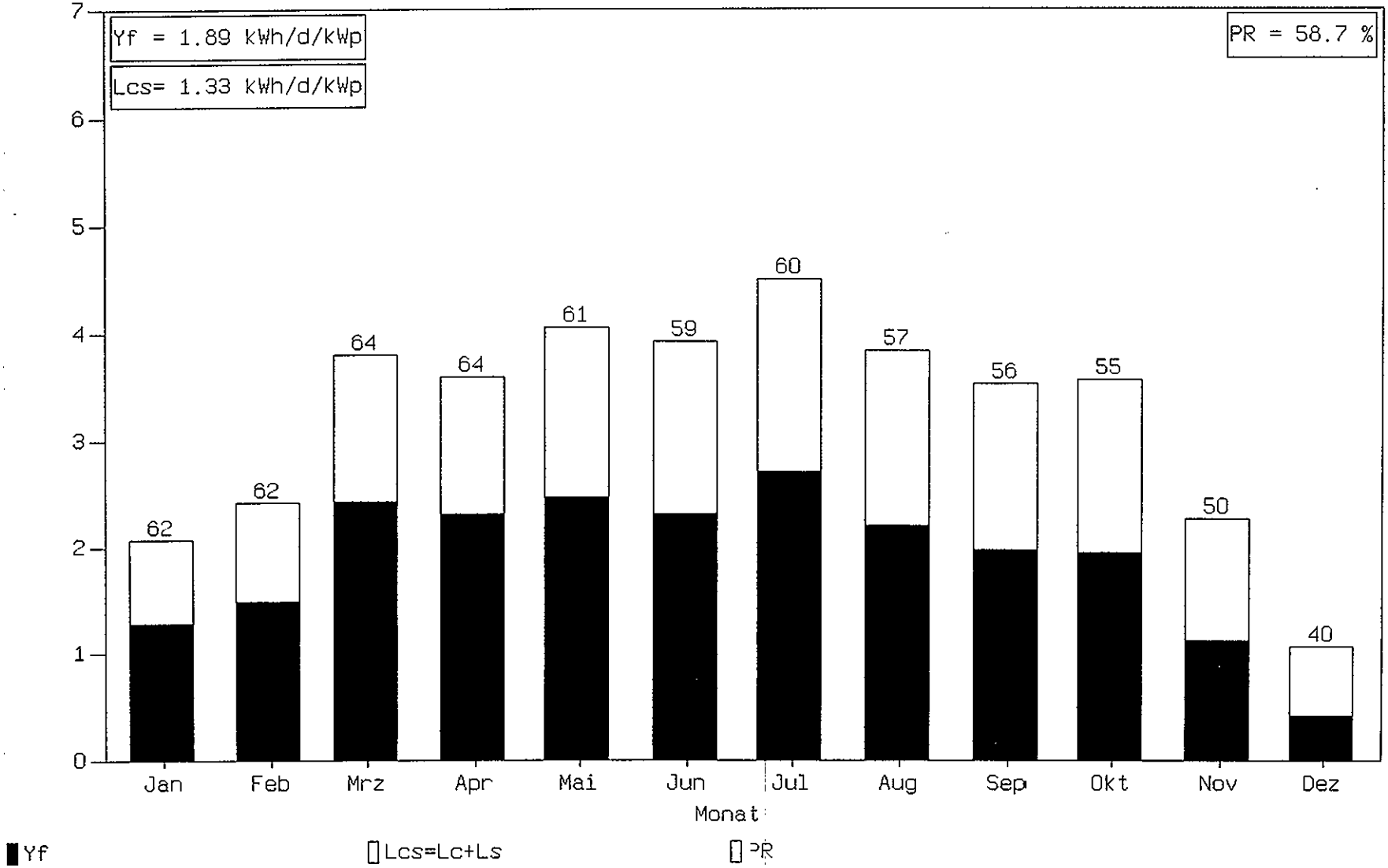
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Firma 2, Burgdorf

Jahr: 1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



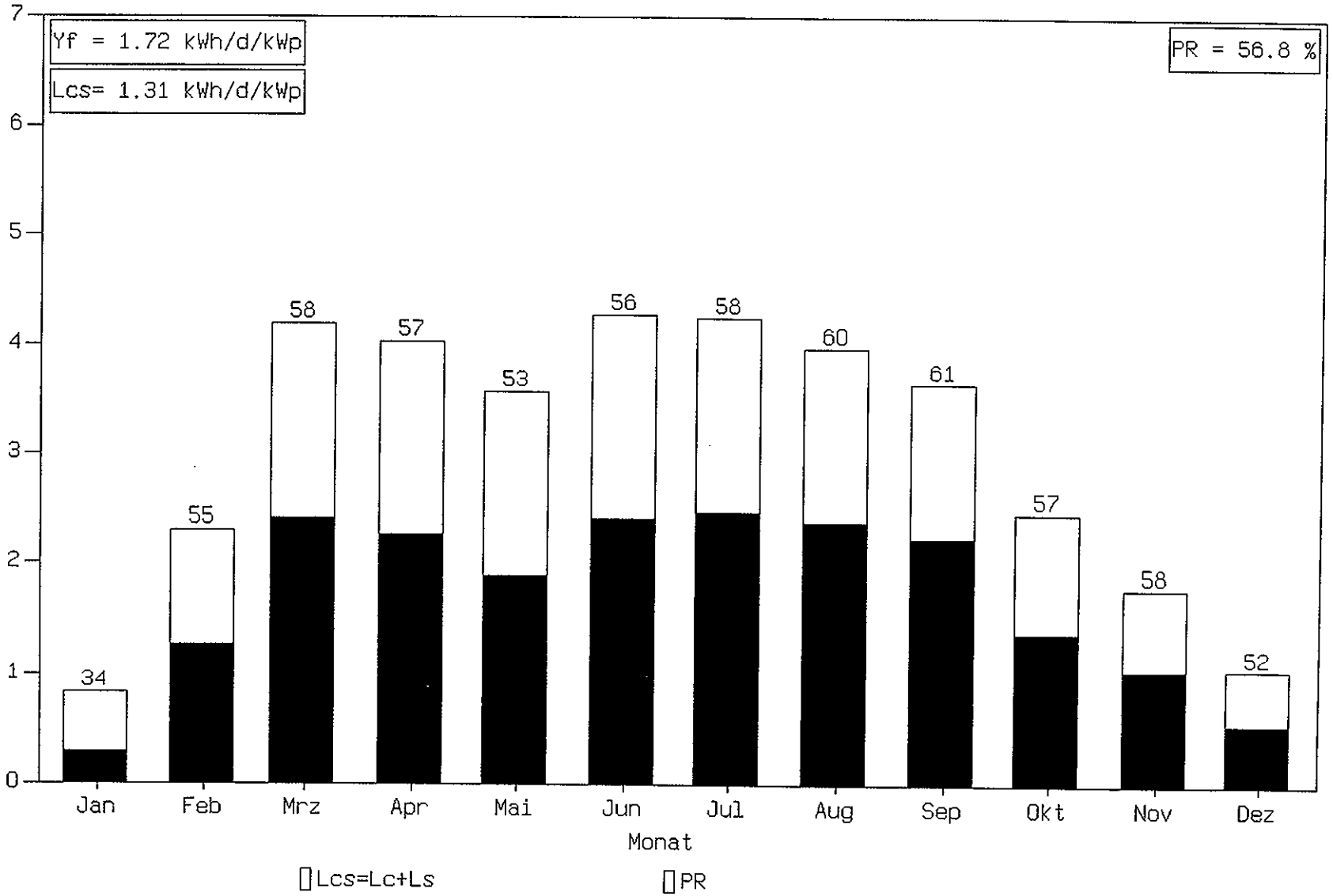
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Firma 2, Burgdorf
Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

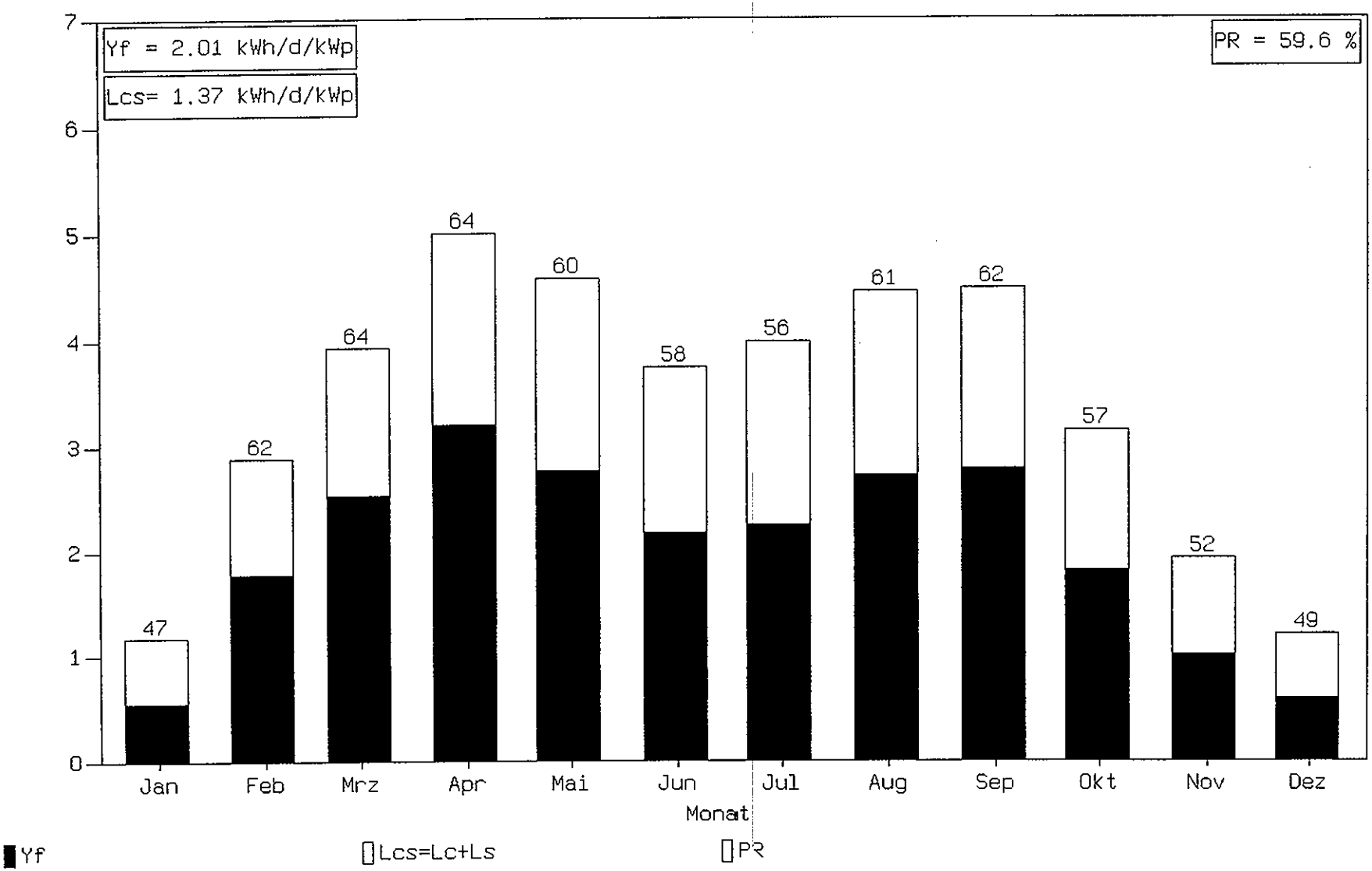
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Firma 2, Burgdorf

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



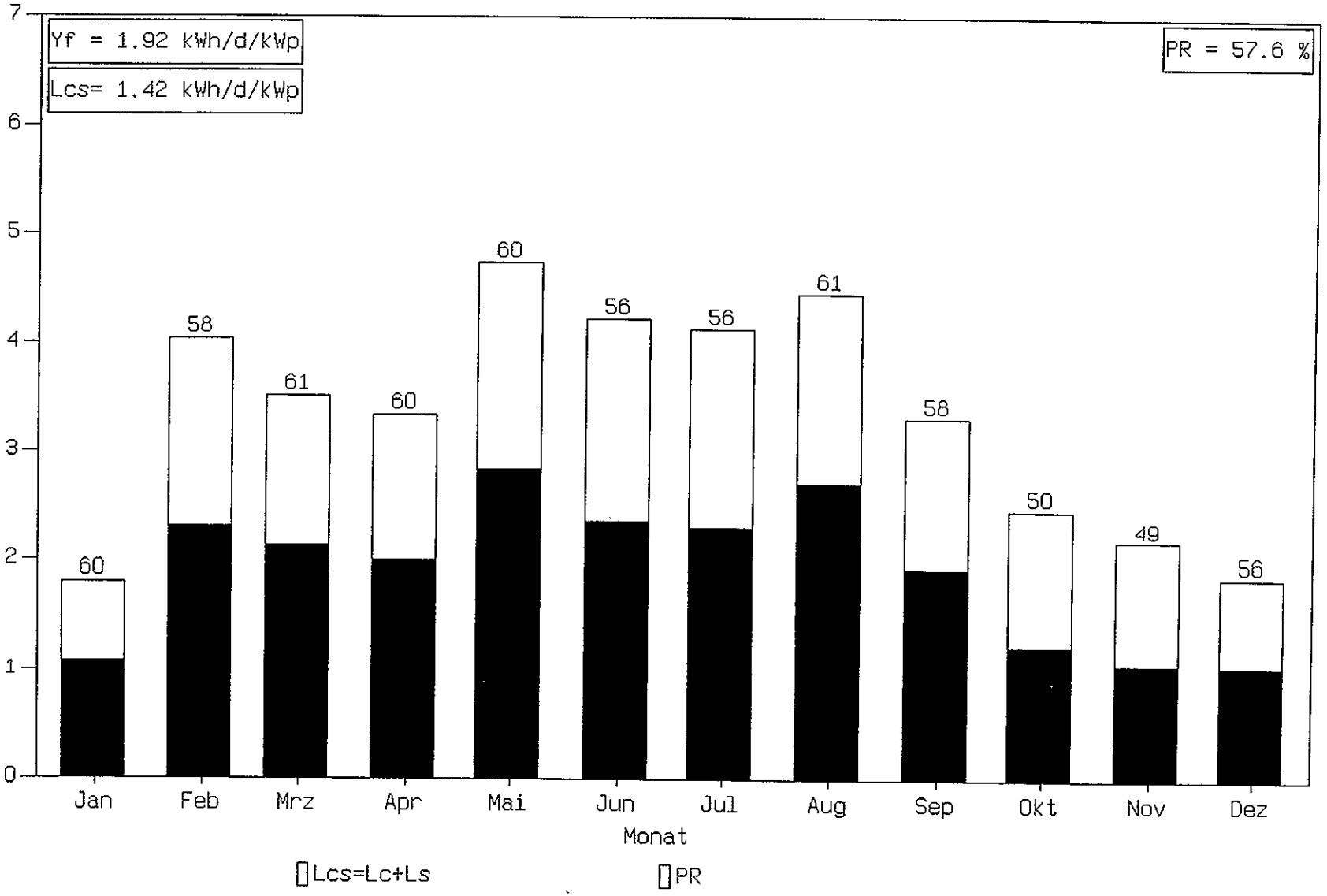
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Firma 2, Burgdorf
Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)

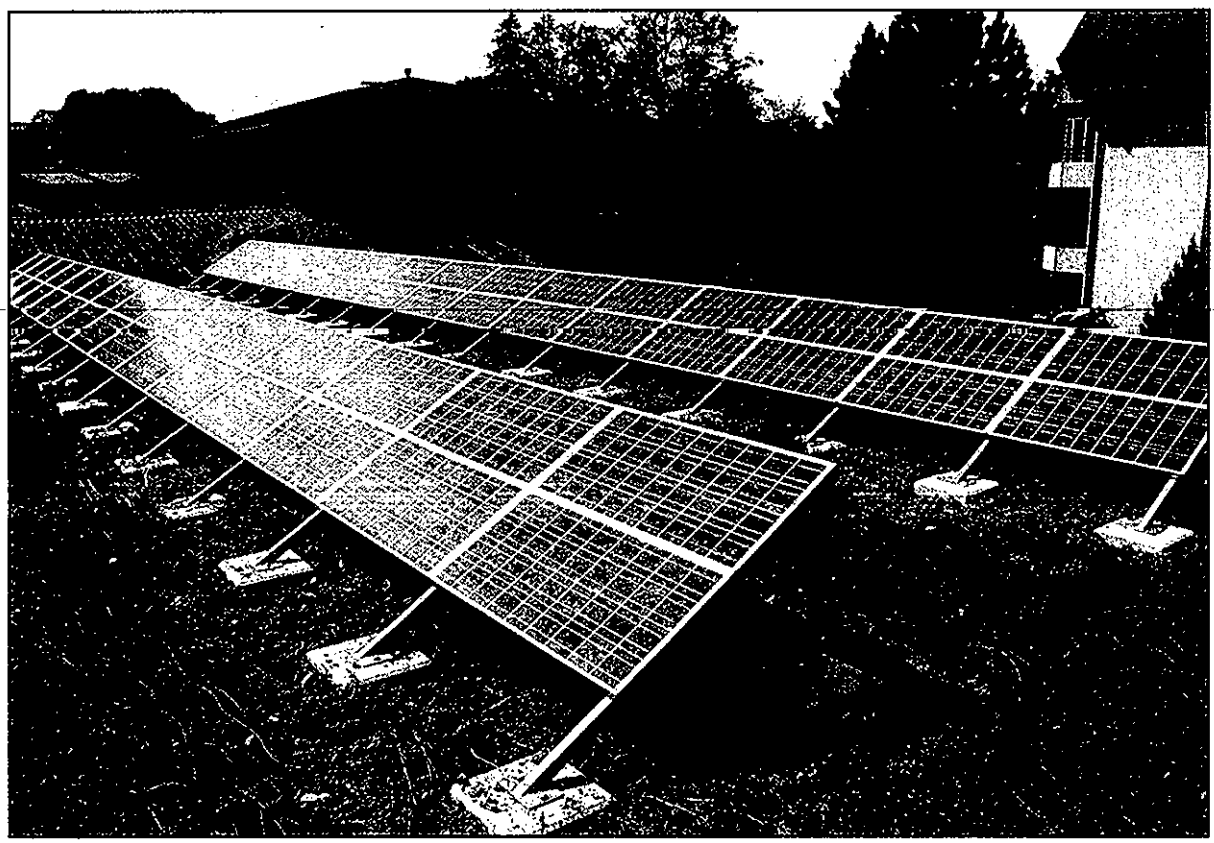


9 Firma 4, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage			
Inbetriebnahme:	15.07.1994		
Solargenerator:			
Module:	Kyocera LA361K51 (60 Stück)		
Feldleistung:	3060 Wp (nominell)	**Neigung:**	30° (Flachdach)
Bruttofläche:	26,3 m^2	**Ausrichtung:**	0° Süd
Wechselrichter:	Solcon 3400HE		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung gemessen mit der zentralen Meteomessstelle an der HTA Burgdorf (Pyranometer) und danach die Messdaten mit Hilfe einer eigens entwickelten Software auf die Neigung und Orientierung der Solargeneratorebene umgerechnet
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung



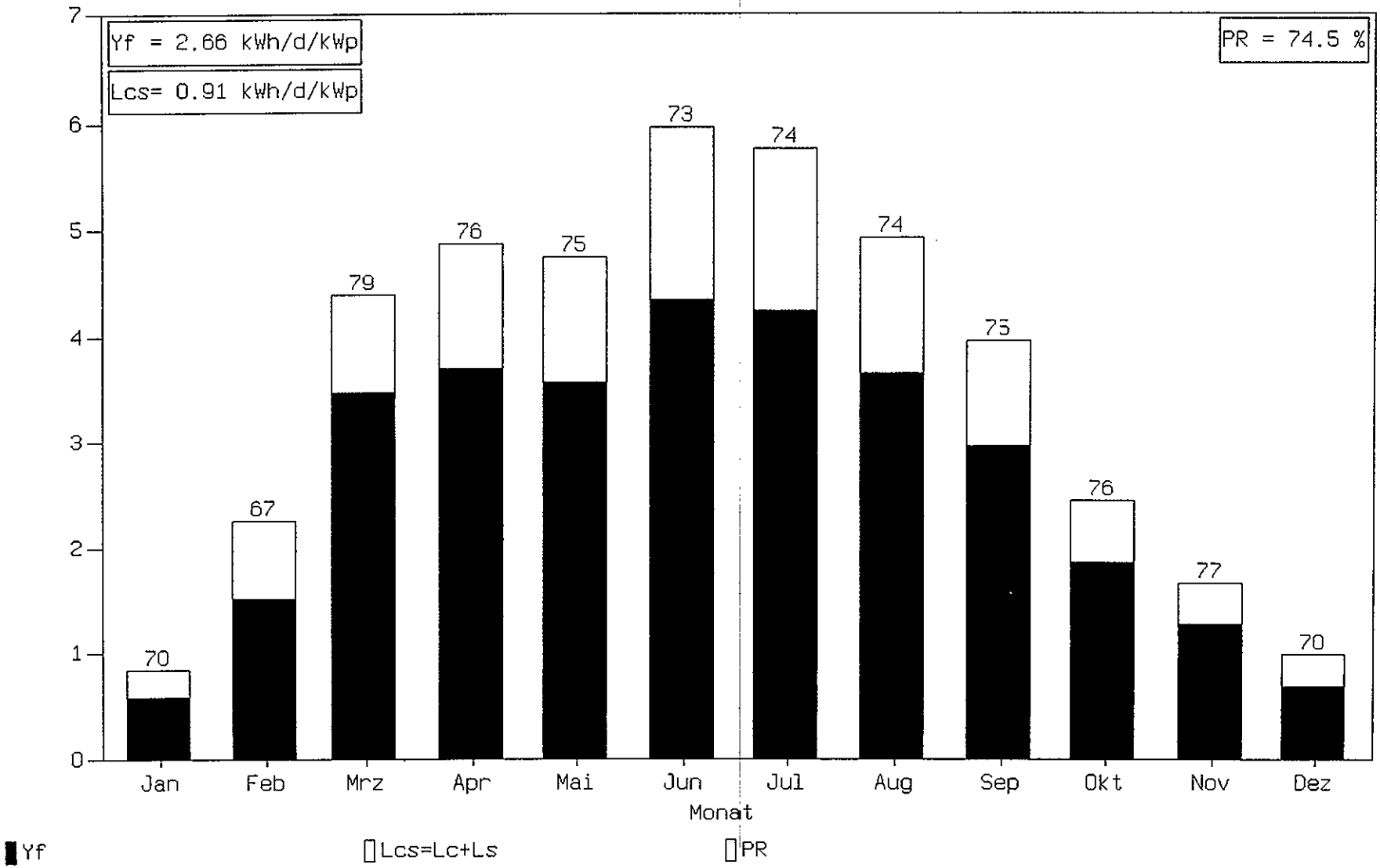
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Firma 4, Burgdorf
Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



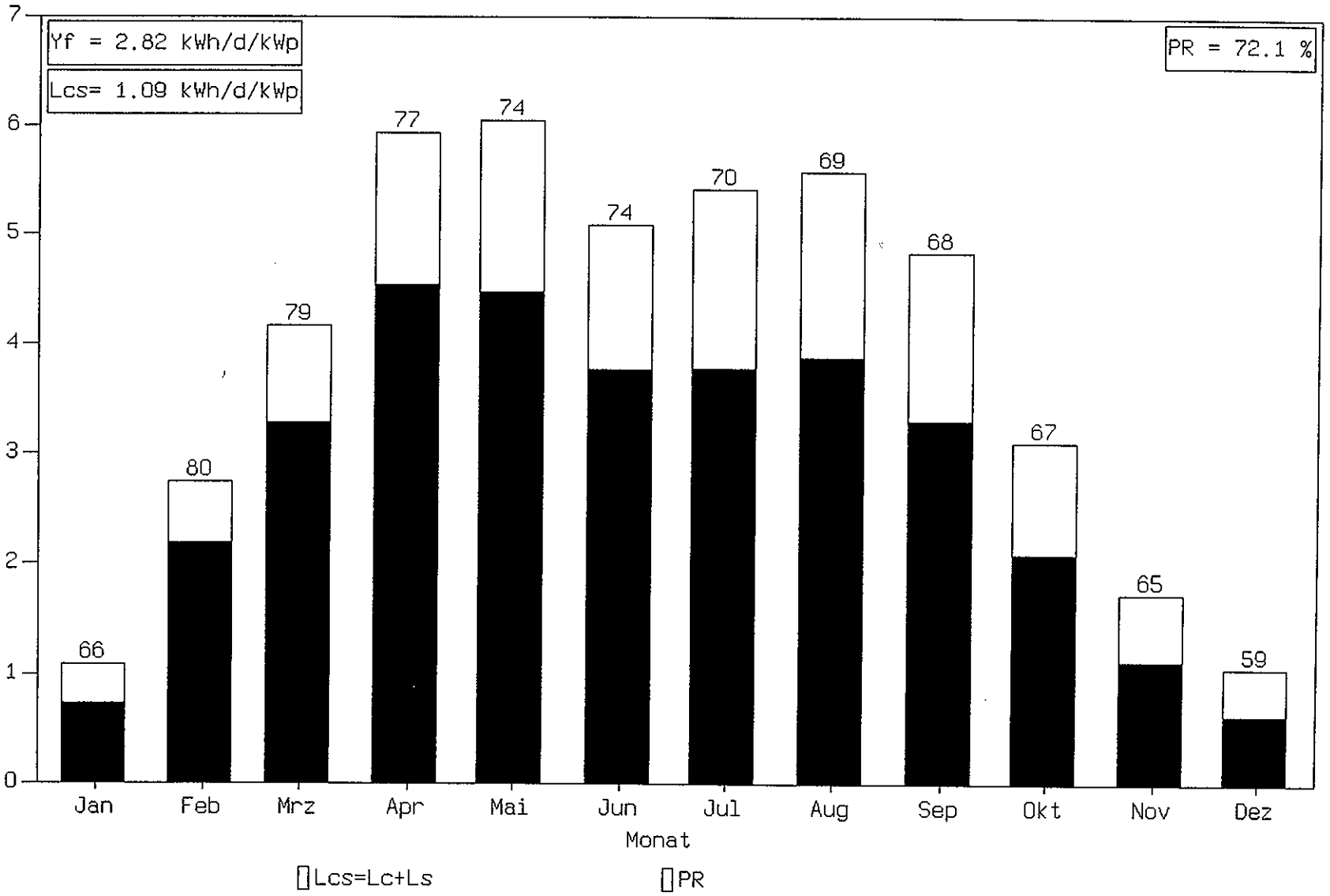
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Firma 4, Burgdorf
Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



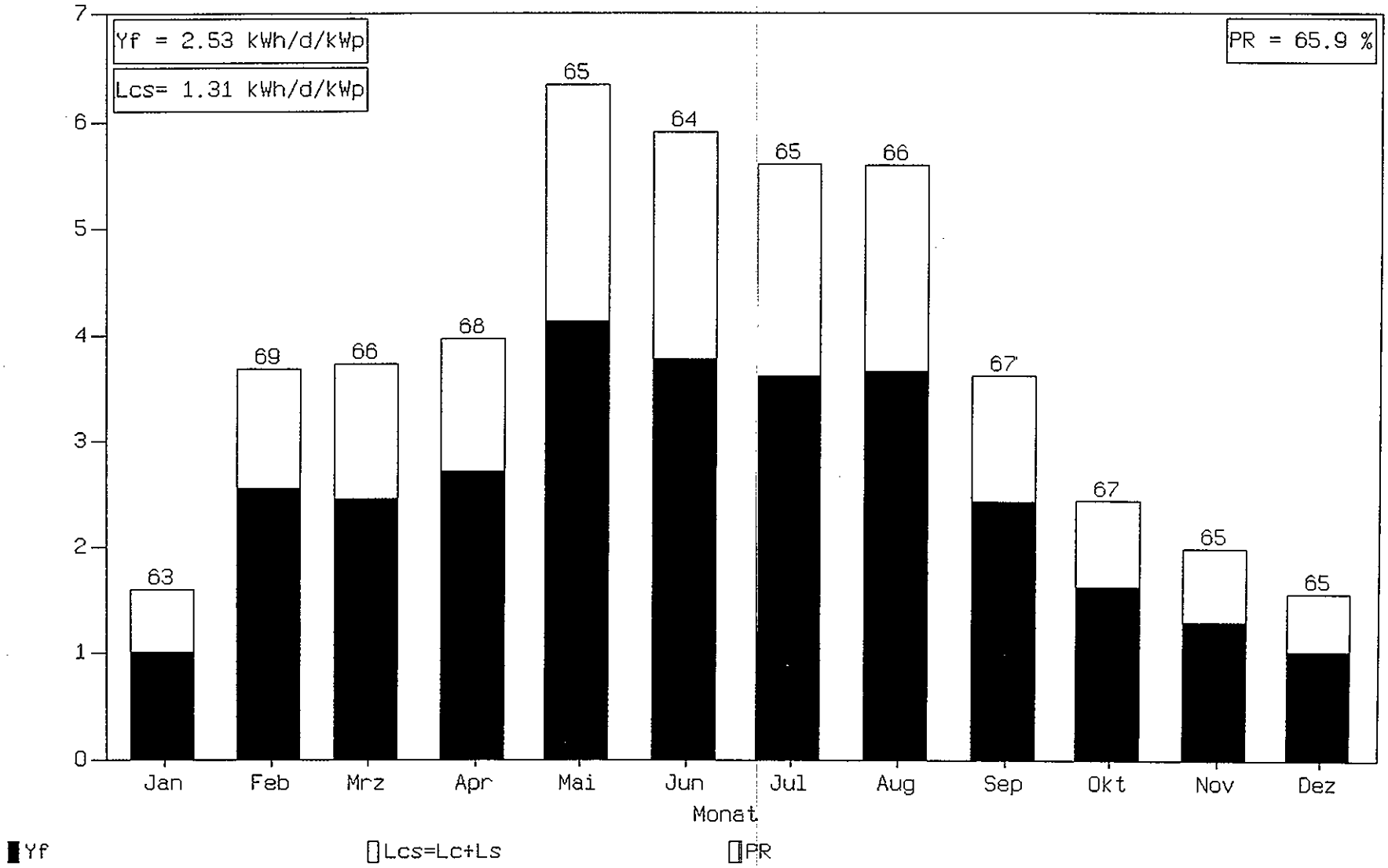
Ingenieurschule Burgdorf

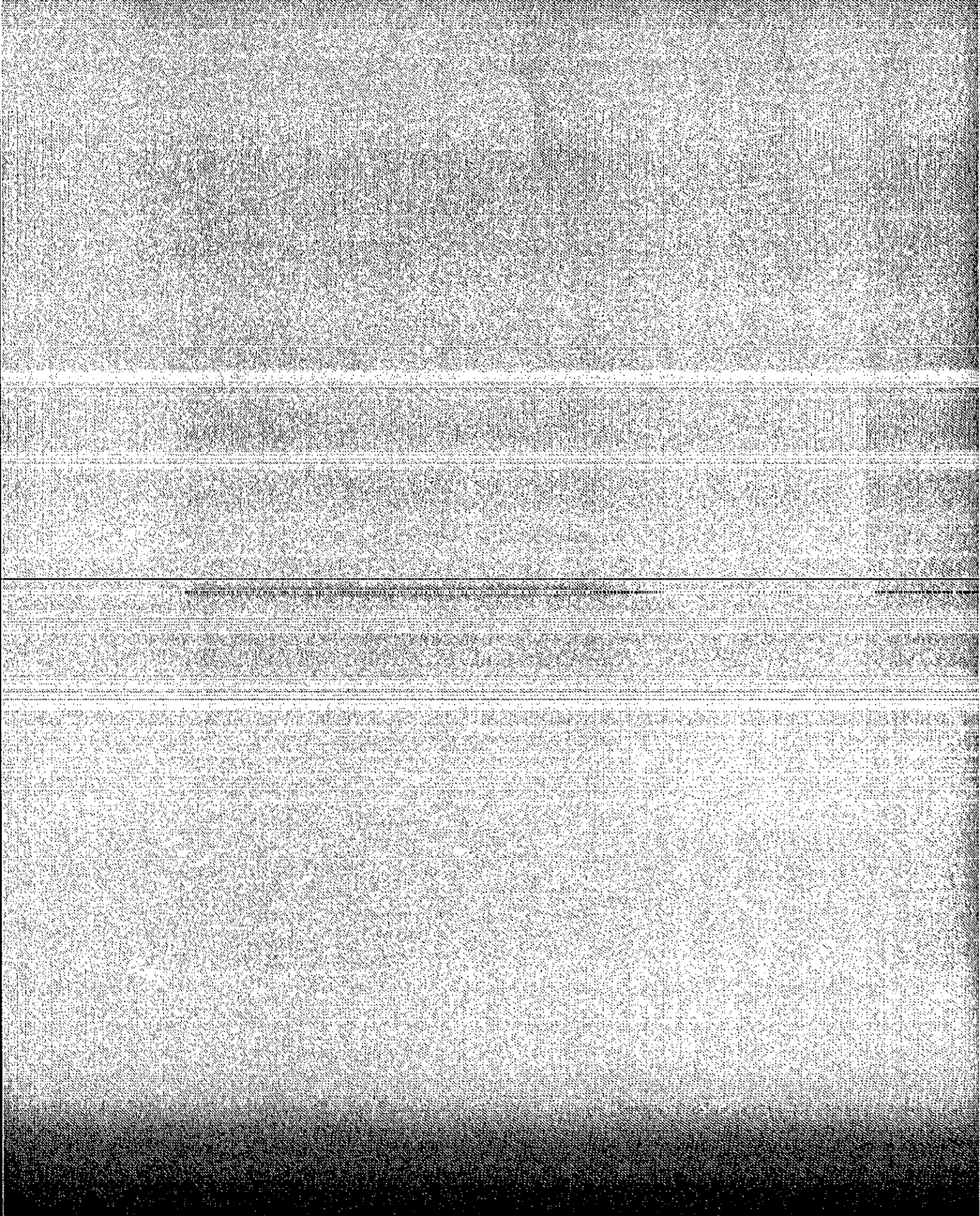
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Firma 4, Burgdorf
Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



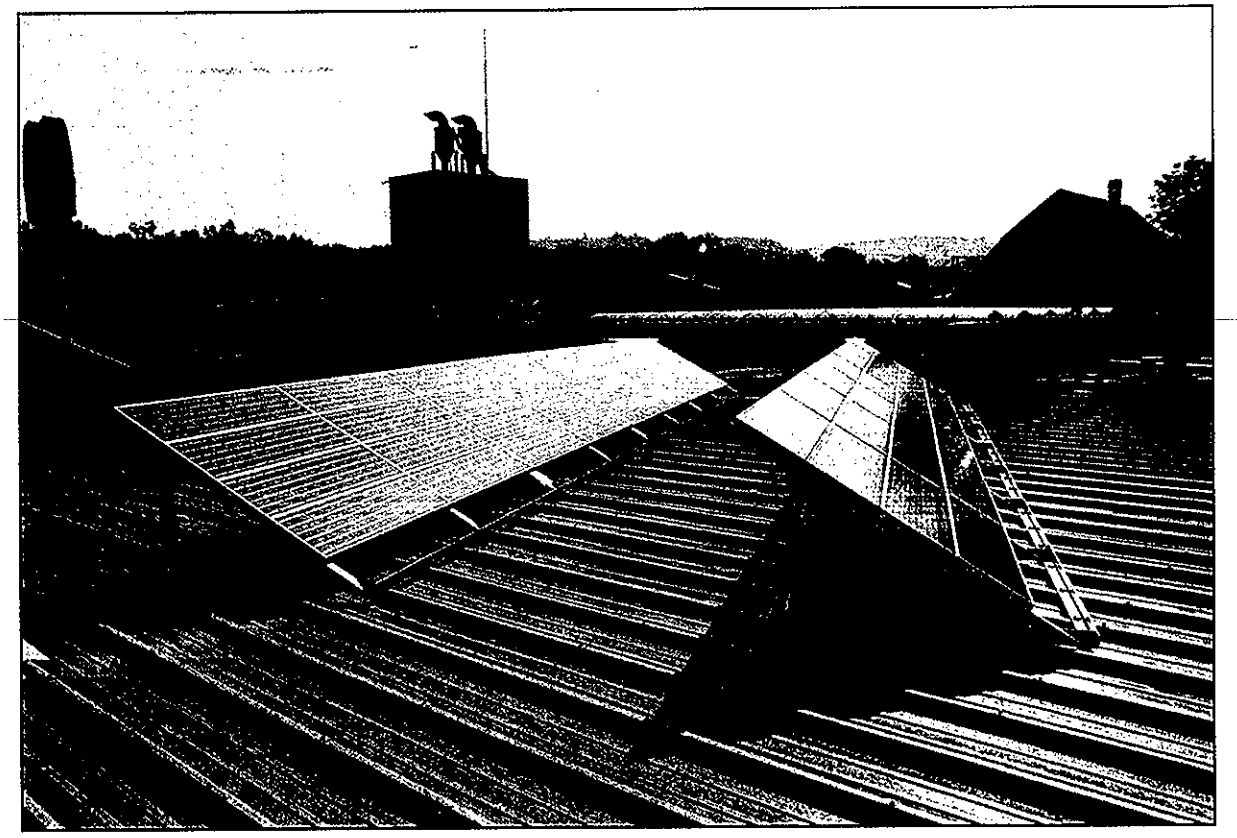


10 Firma 5, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage			
Inbetriebnahme:	01.01.1997		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (60 Stück)		
Feldleistung:	3300 Wp (nominell)	**Neigung:**	30° (Flachdach)
Bruttofläche:	25,6 m^2	**Ausrichtung:**	0° Süd
Wechselrichter:	ASP TopClass 4000/6 Grid III		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung gemessen mit der zentralen Meteomessstelle an der HTA Burgdorf (Pyranometer) und danach die Messdaten mit Hilfe einer eigens entwickelten Software auf die Neigung und Orientierung der Solargeneratorebene umgerechnet
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung



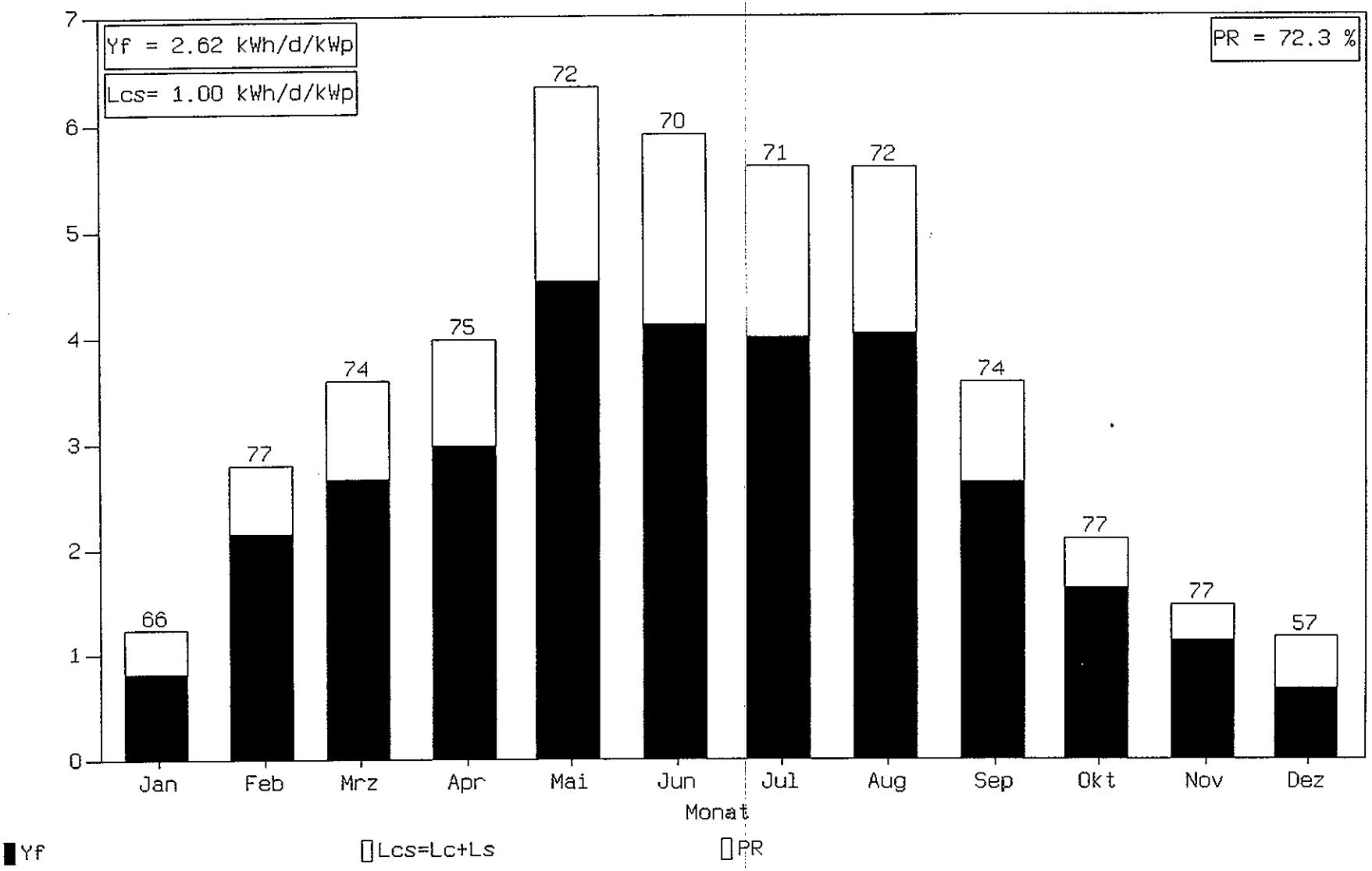
Ingenieurschule Burgdorf

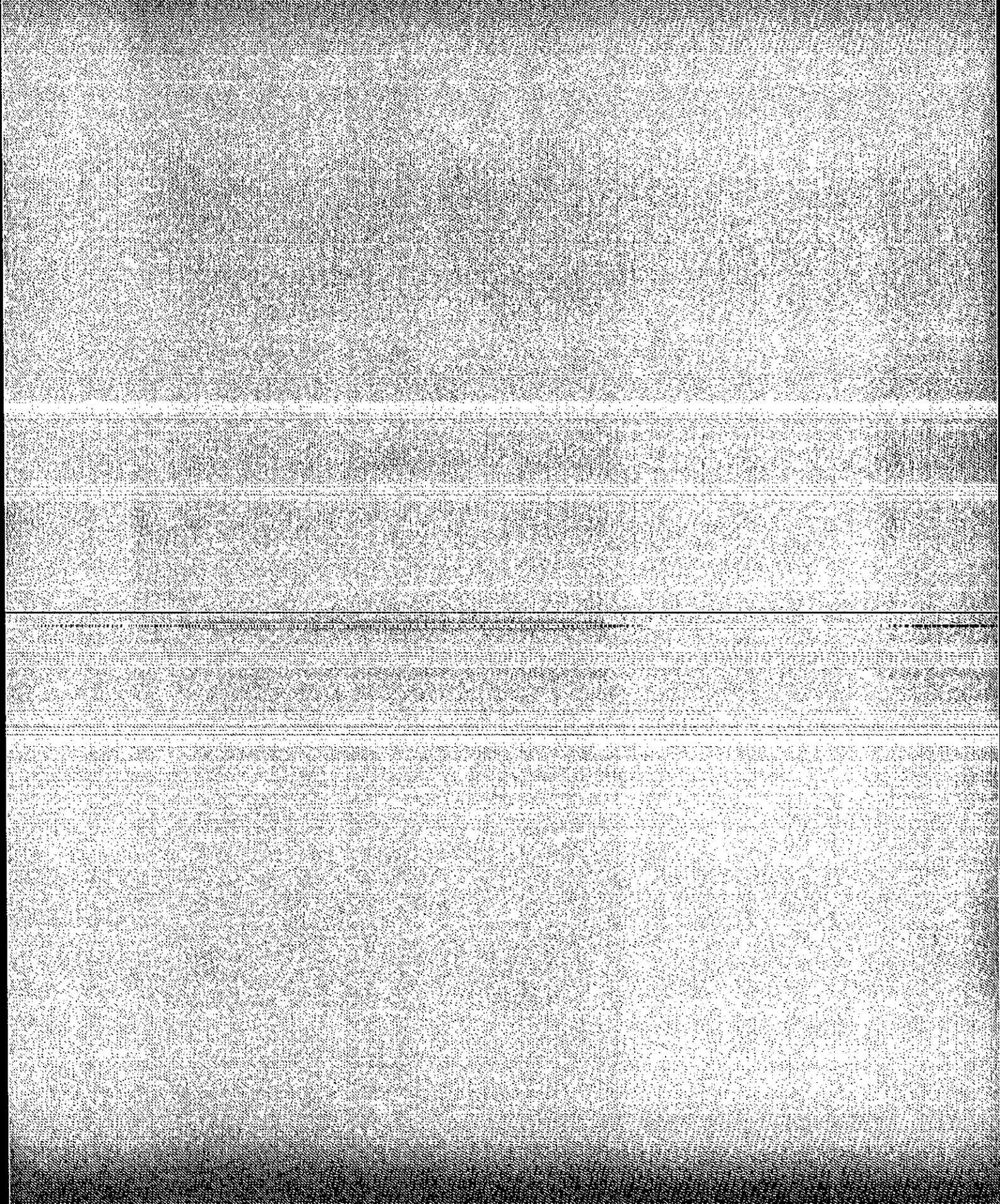
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Firma 5, Burgdorf
Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



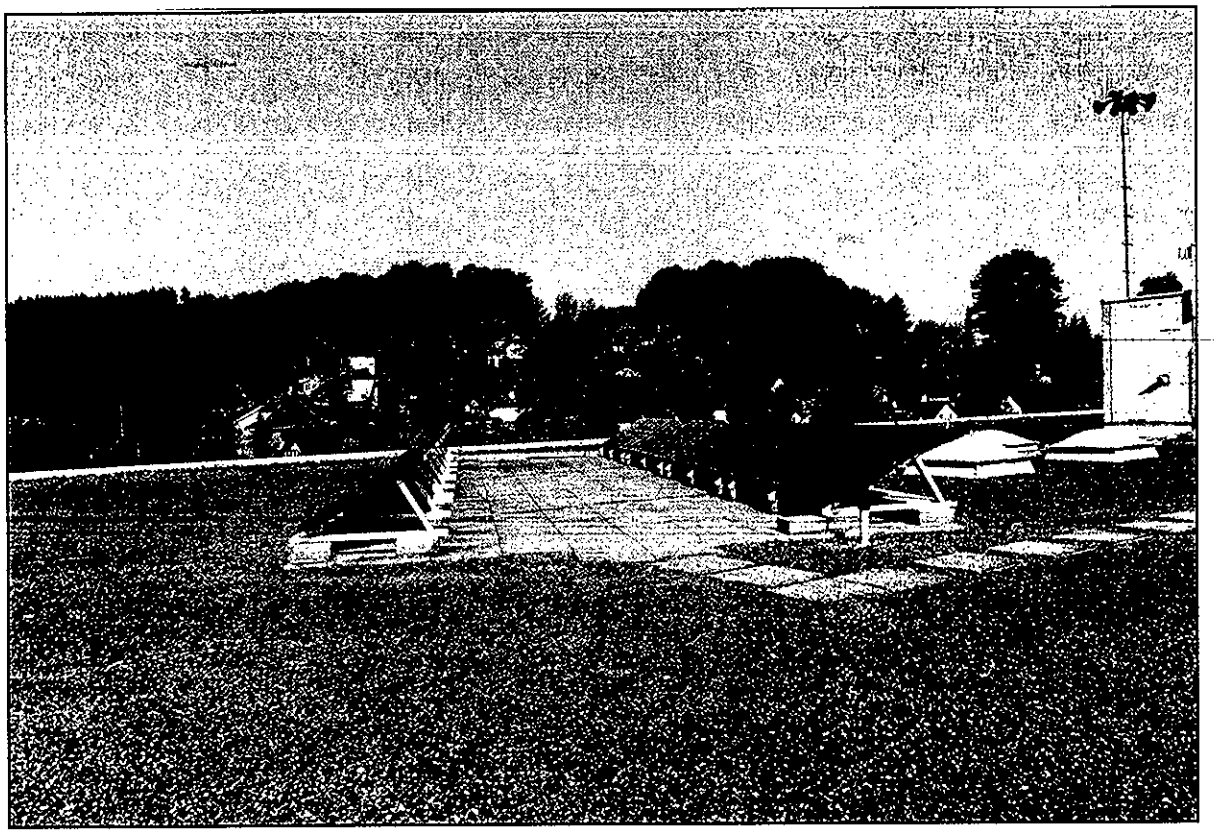


11 GIBBU, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage			
Inbetriebnahme:	01.12.1994		
Solargenerator:			
Module:	Solarex MSX64 (48 Stück)		
Feldleistung:	3072 Wp (nominell)	**Neigung:**	30°/60° (Flachdach)
Bruttofläche:	26,7 m^2	**Ausrichtung:**	0° Süd
Wechselrichter:	Solcon 3400HE		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung gemessen mit der zentralen Meteomessstelle an der HTA Burgdorf (Pyranometer) und danach die Messdaten mit Hilfe einer eigens entwickelten Software auf die Neigung und Orientierung der Solargeneratorebene umgerechnet
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung



Ingenieurschule Burgdorf

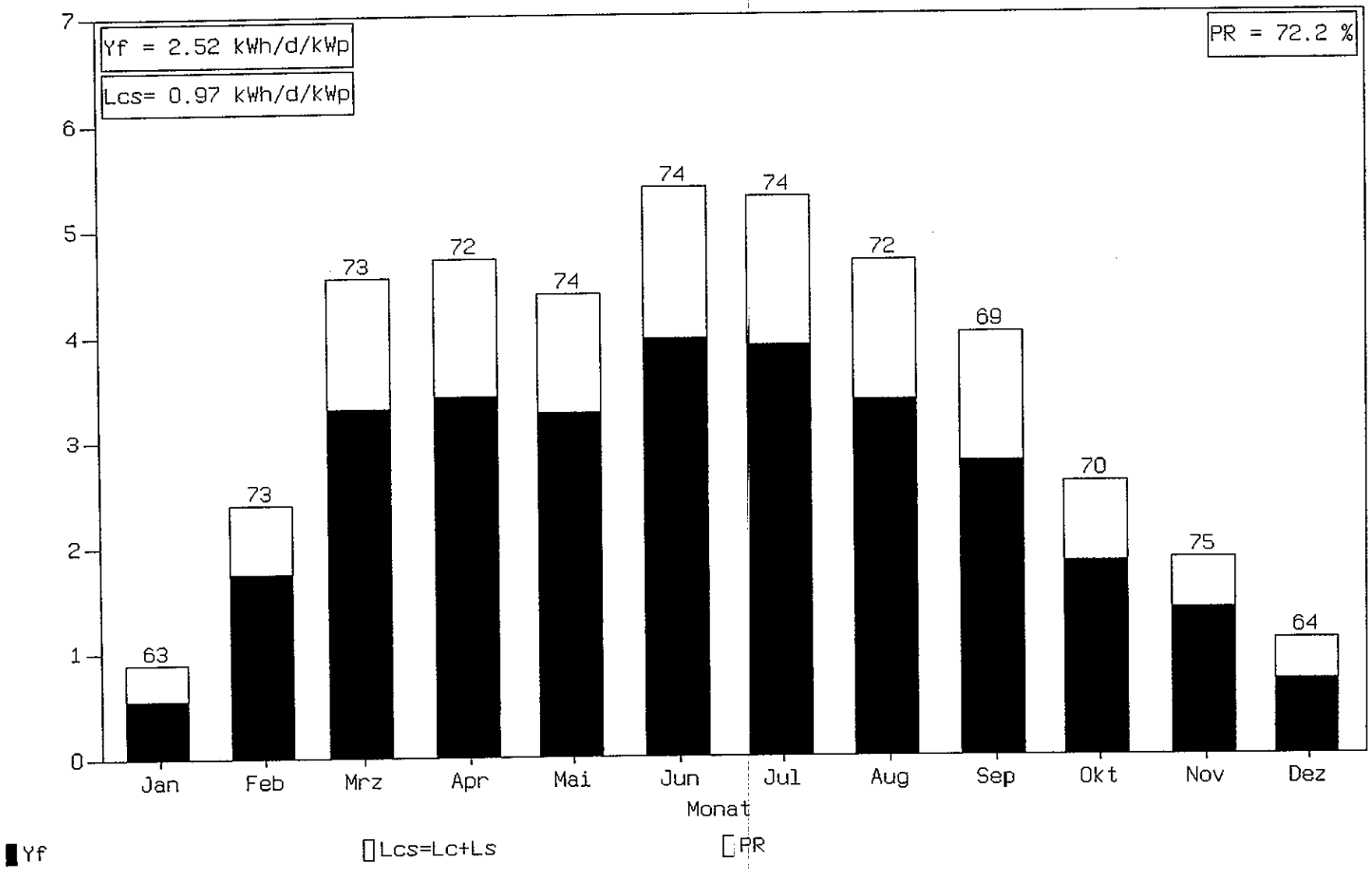
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: GIBBU (Berufsschule), Burgdorf

Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3070Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

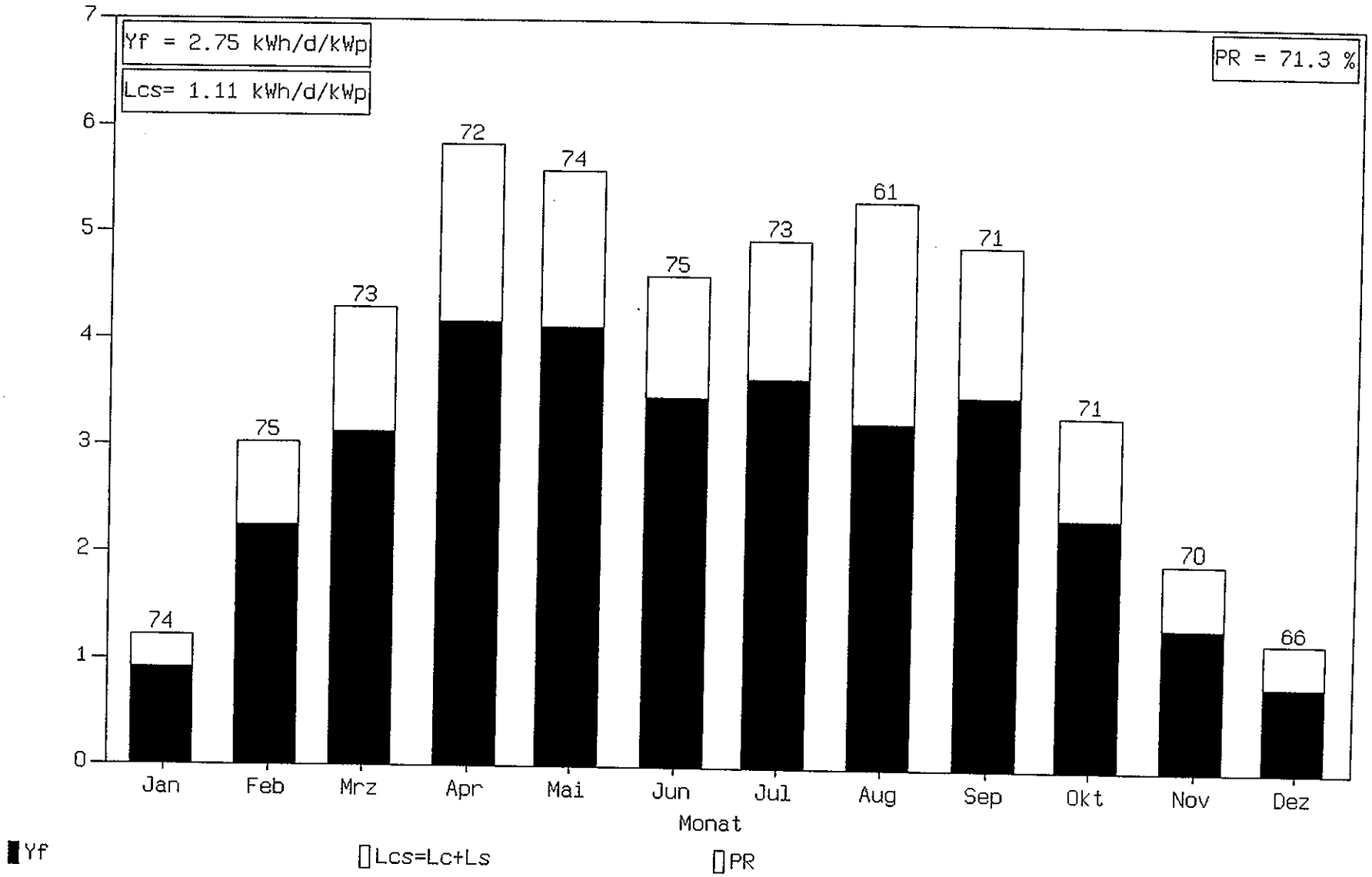
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: GIBBU (Berufsschule), Burgdorf

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3070Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

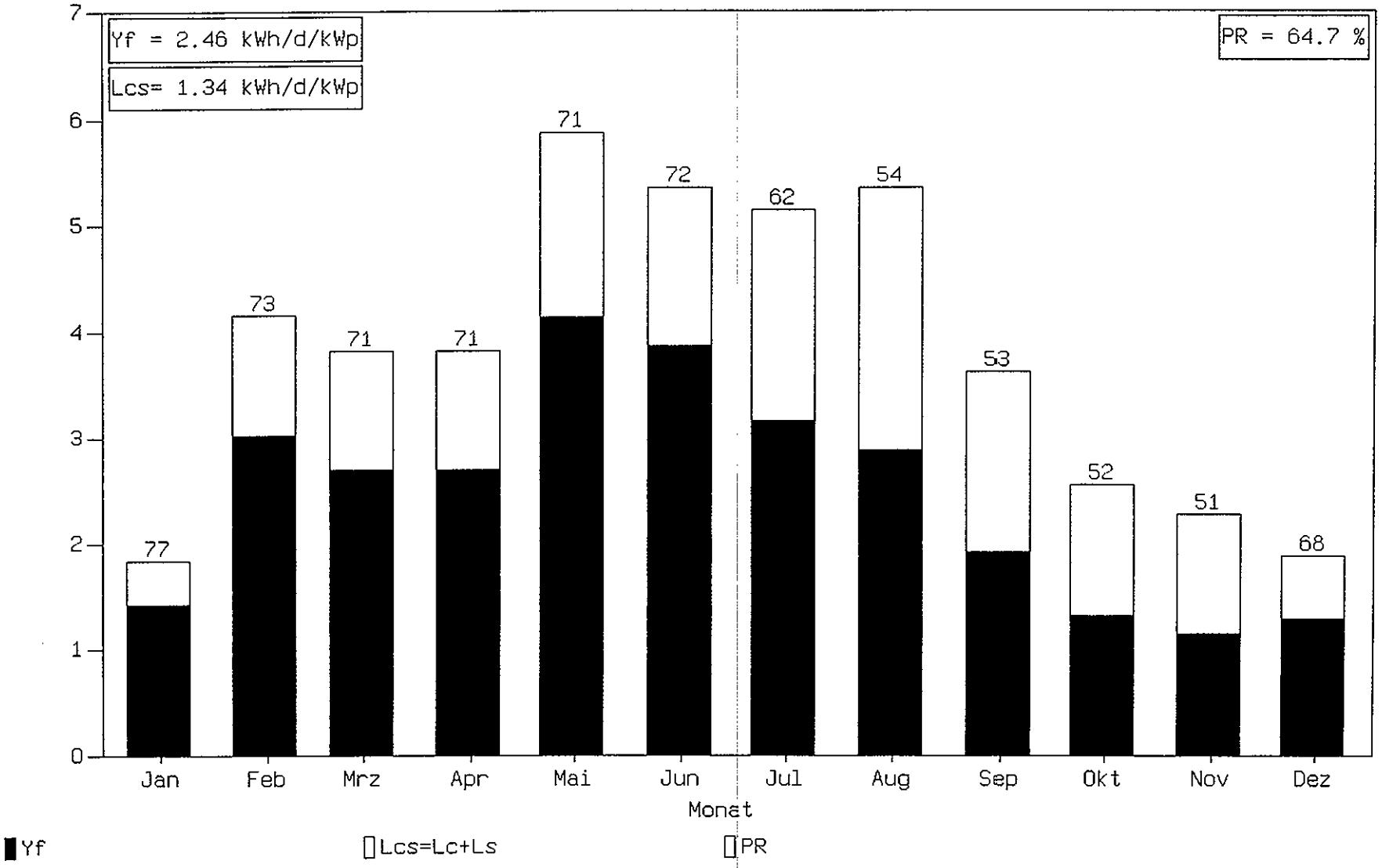
Labor für Photovoltaik

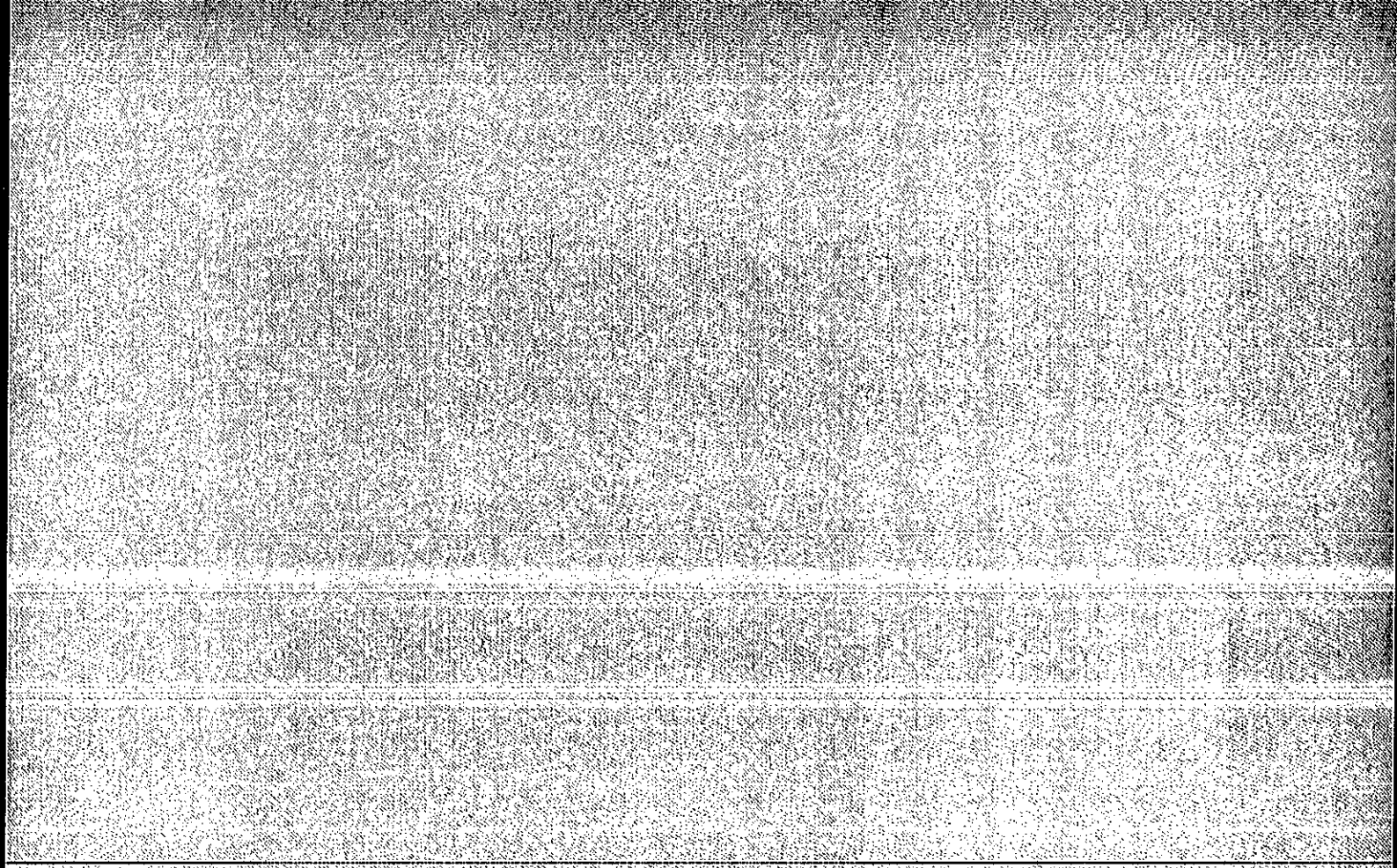
Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: GIBBU (Berufsschule), Burgdorf

Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3070Wp)



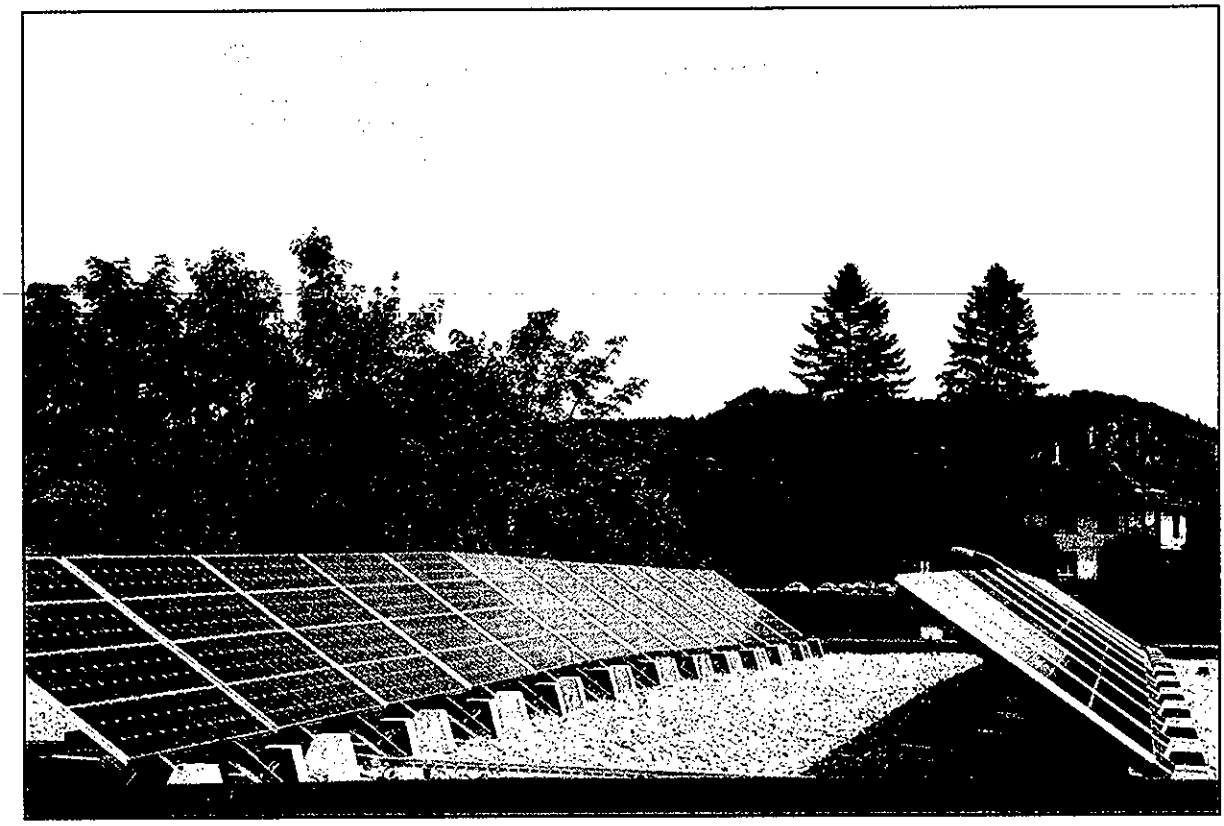


12-17 Gsteighof 1 - 6, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage			
Inbetriebnahme:	01.08.1996		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (60 Stück)		
Feldleistung:	3300 Wp (nominell)	**Neigung:**	35° (Flachdach)
Bruttofläche:	25,6 m²	**Ausrichtung:**	0° Süd
Wechselrichter:	SolarMaxS		
Messgrössen:			

- Sonneneinstrahlung gemessen mit der zentralen Meteomessstelle an der HTA Burgdorf (Pyranometer) und danach die Messdaten mit Hilfe einer eigens entwickelten Software auf die Neigung und Orientierung der Solargeneratorebene umgerechnet
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung

Hinweis: Die gesamte PV-Anlage Gsteighof besteht aus 6 Teilanlagen mit den oben genannten technischen Daten.



Ingenieurschule Burgdorf

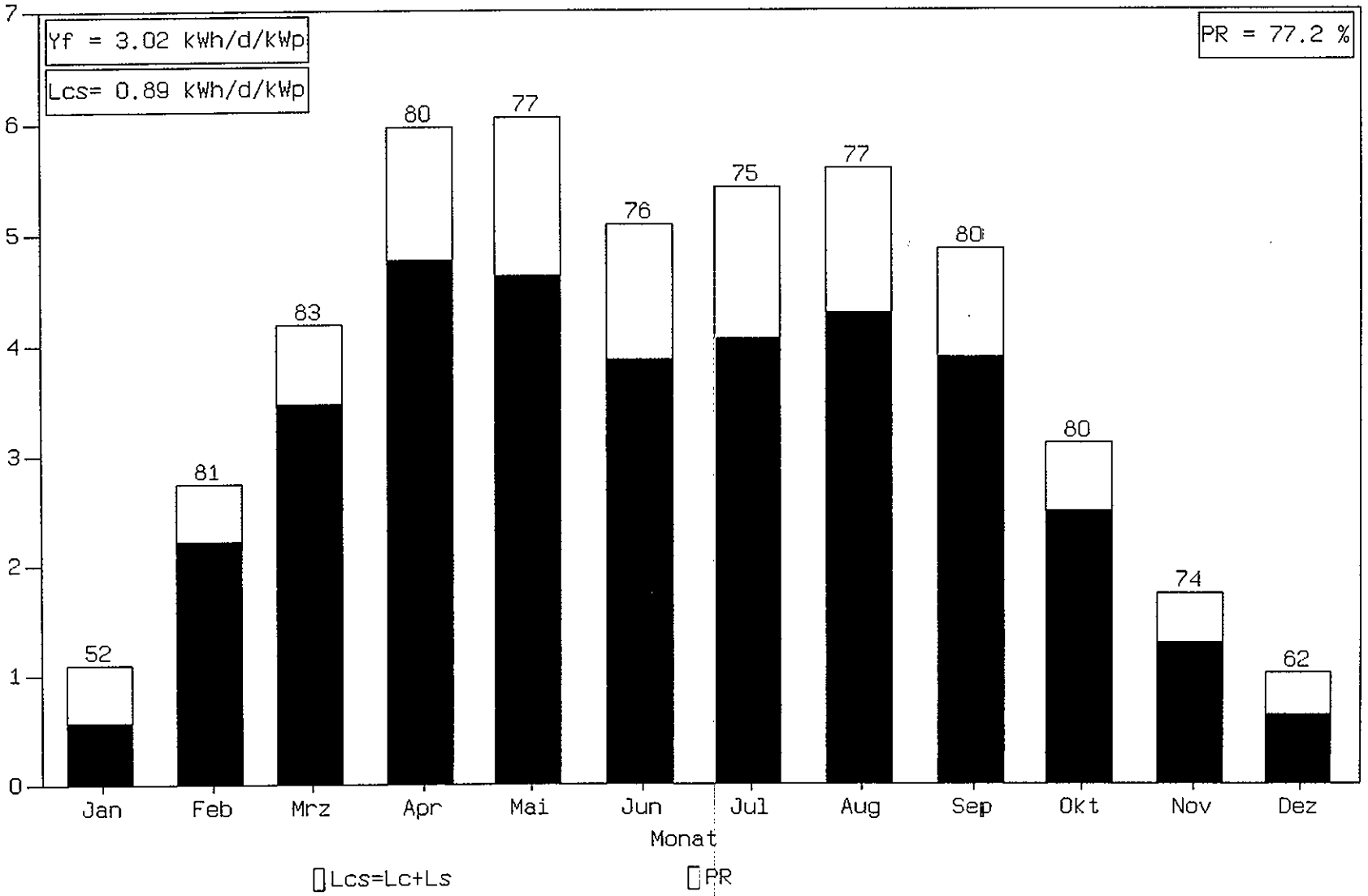
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gsteighof 1, Burgdorf

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



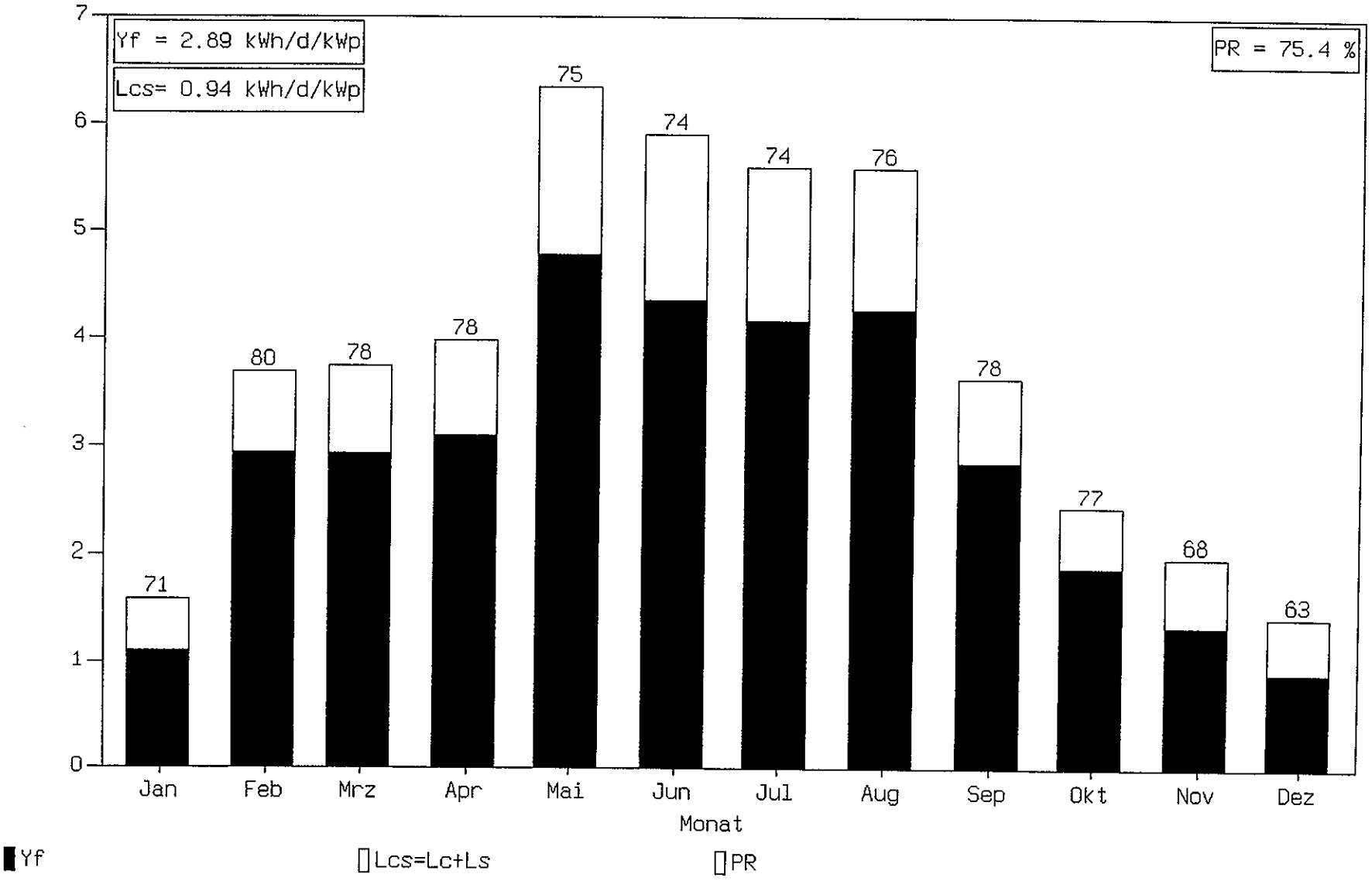
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gsteighof 1, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

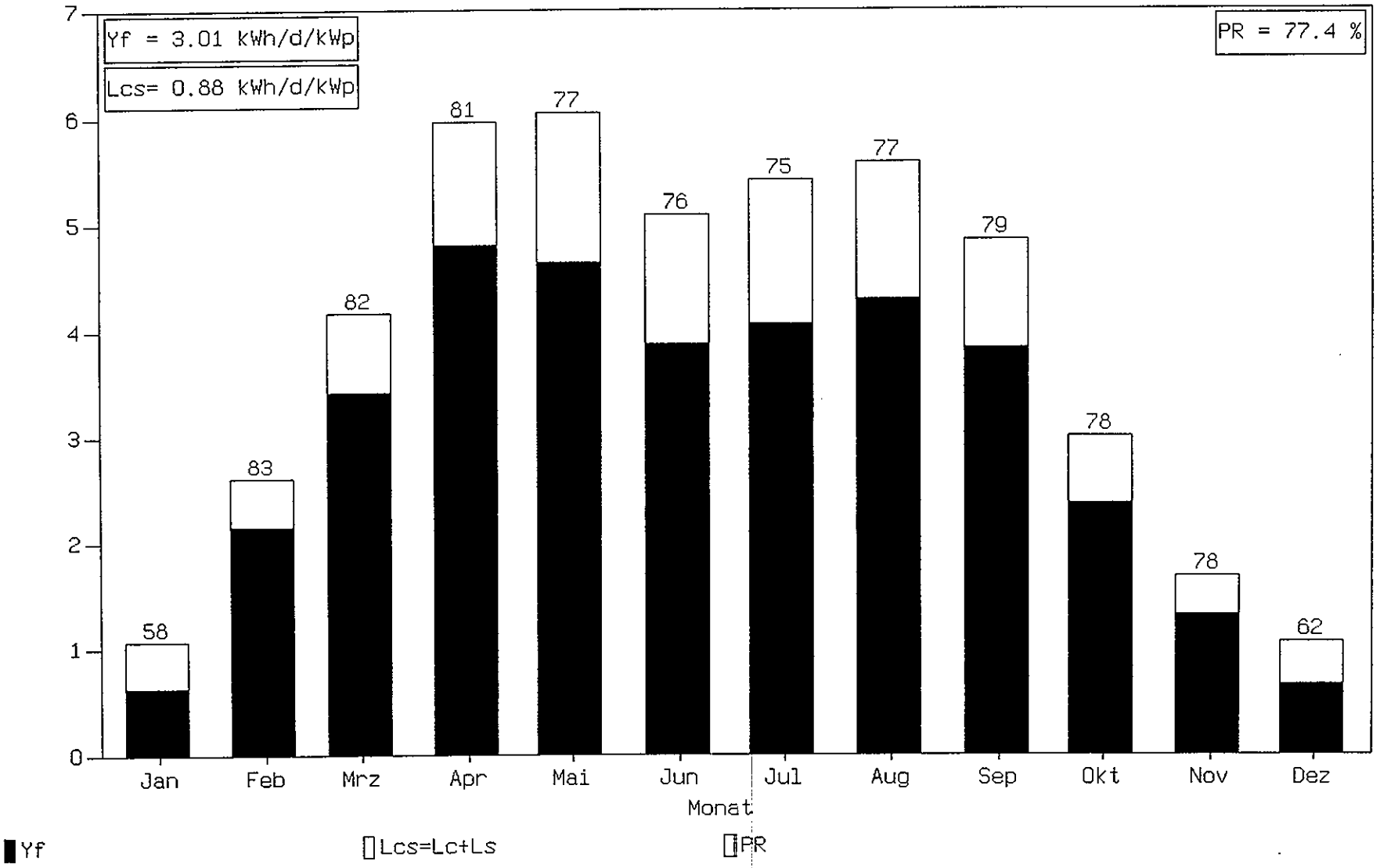
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gsteighof 2, Burgdorf

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



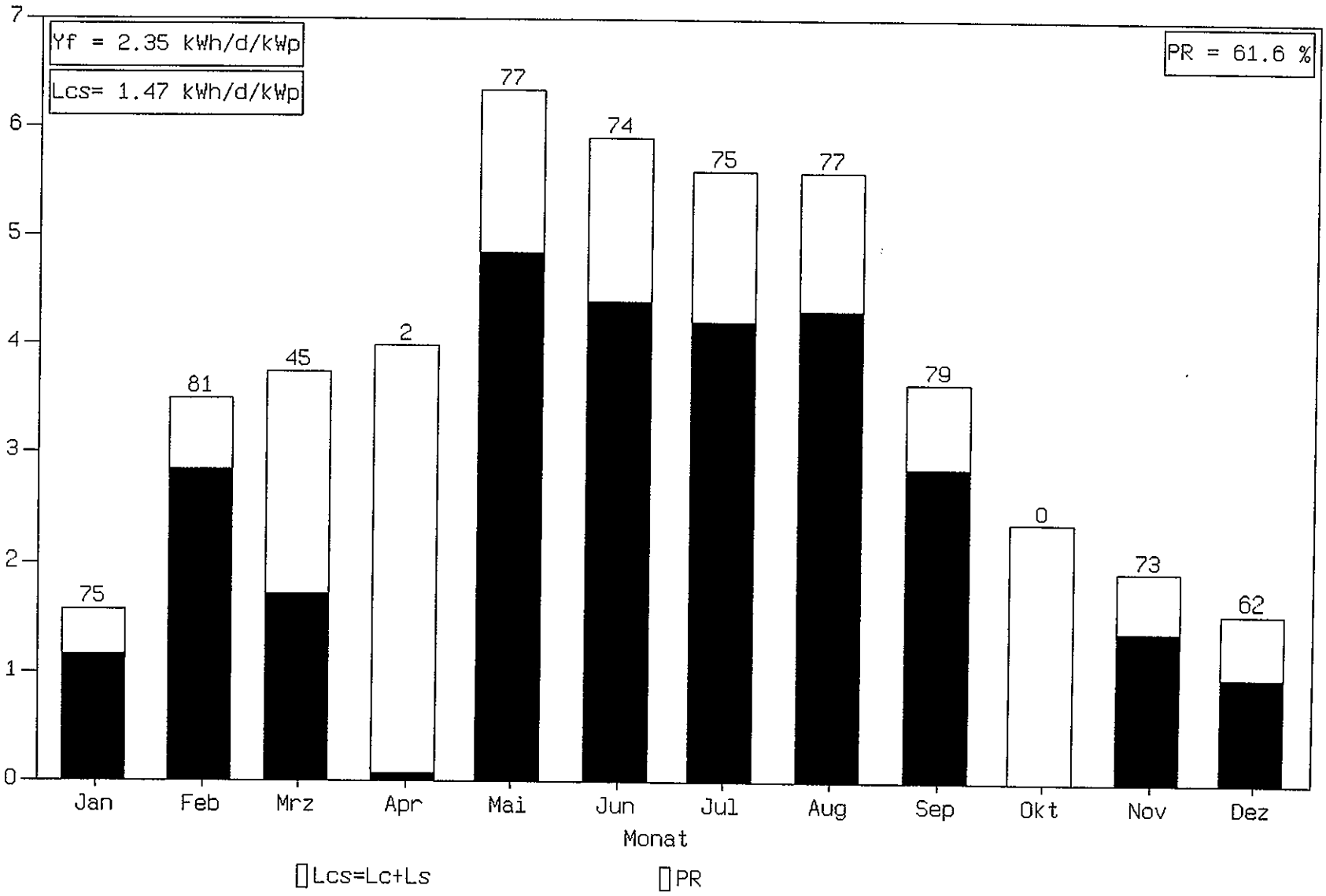
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gsteighof 2, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



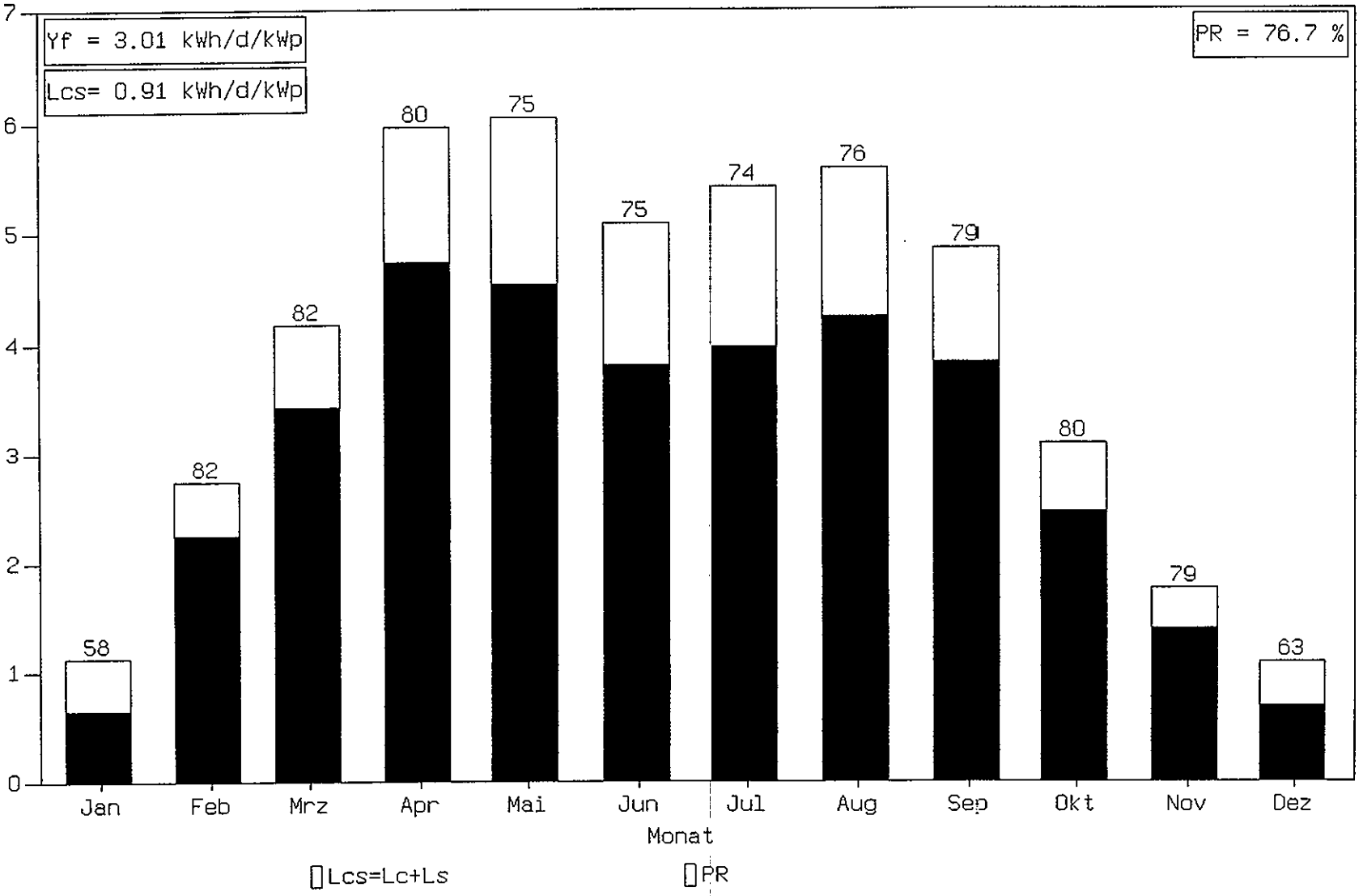
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gsteighof 3, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



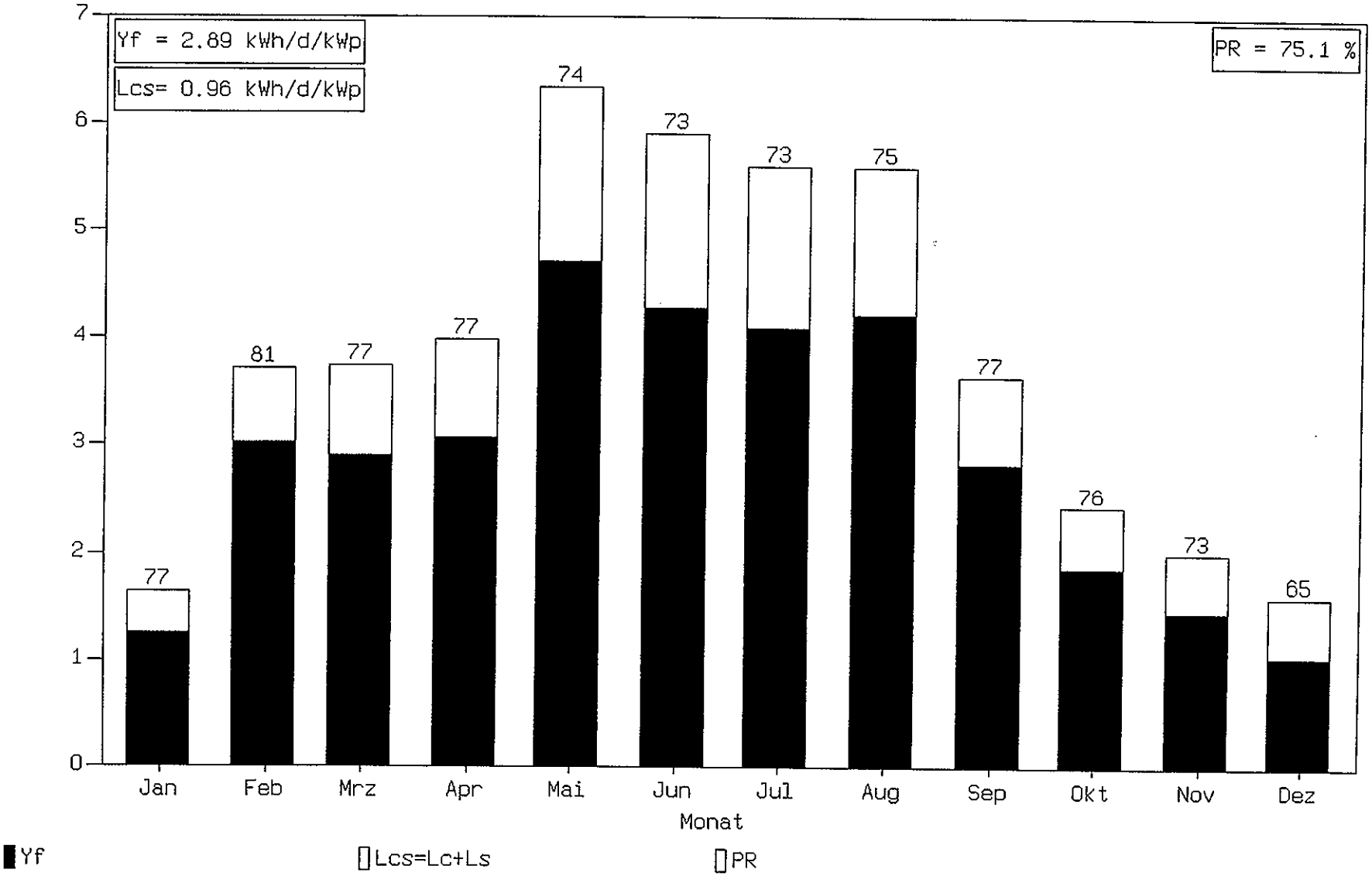
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gsteighof 3, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

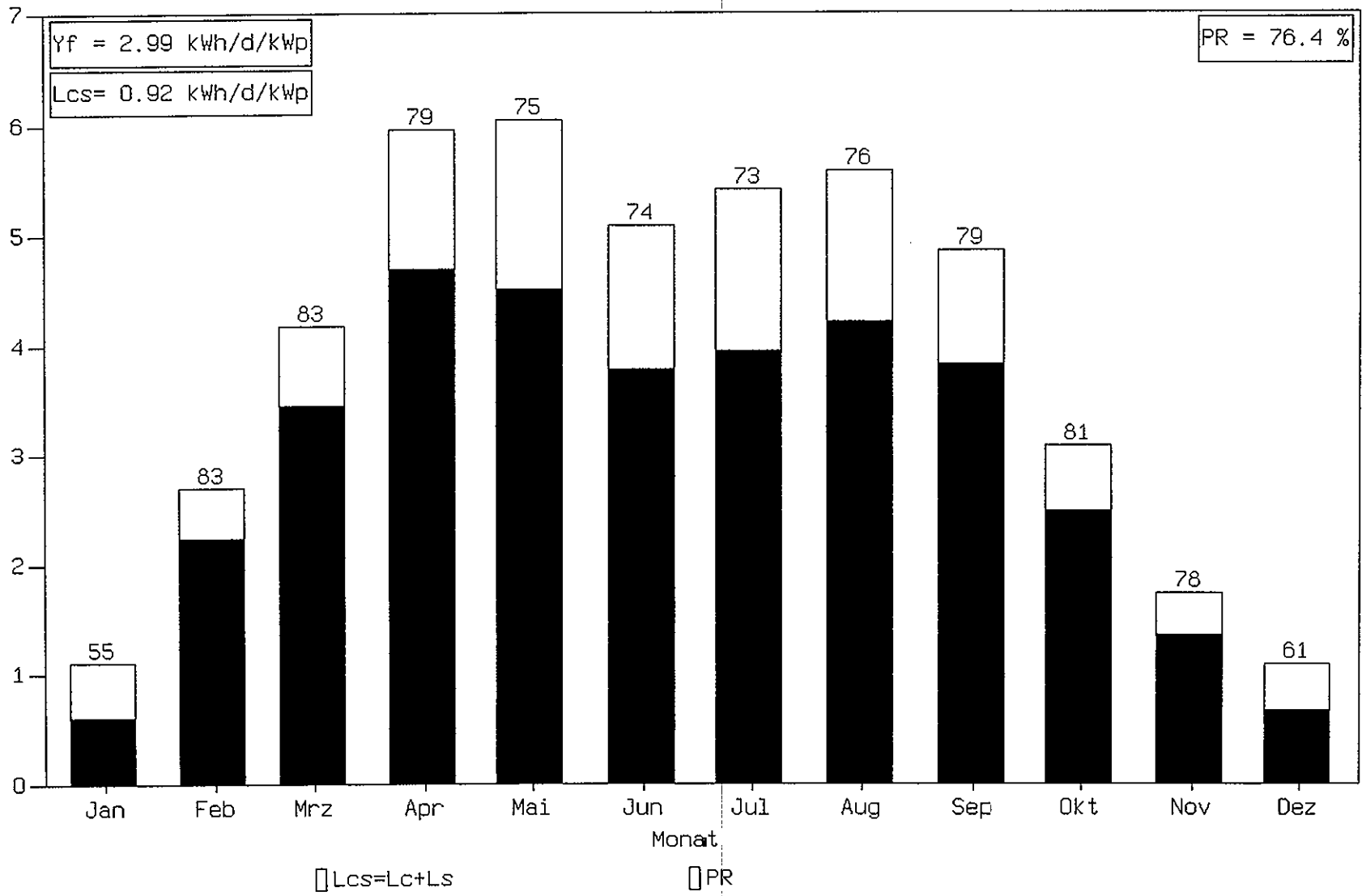
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gsteighof 4, Burgdorf

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



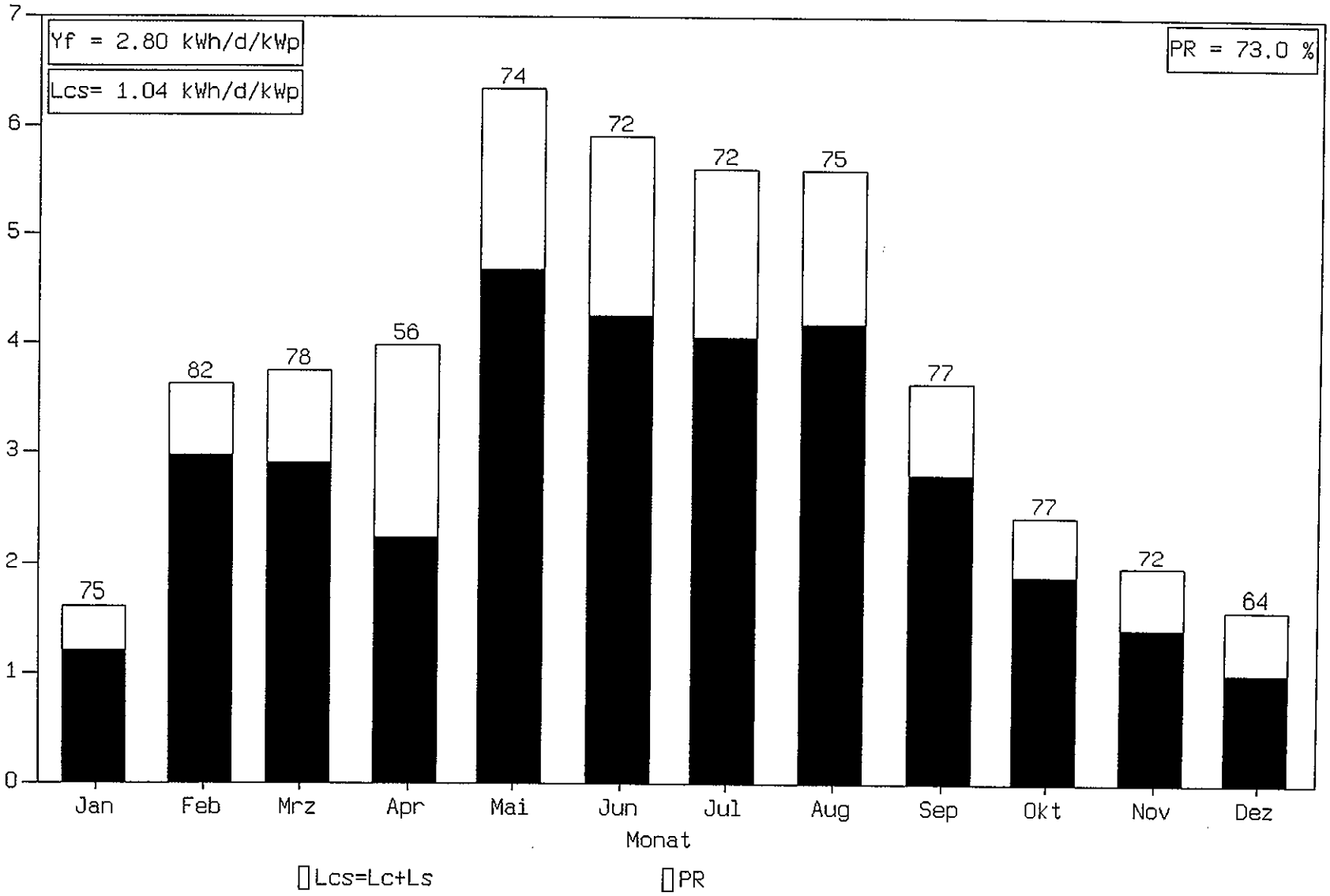
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gsteighof 4, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

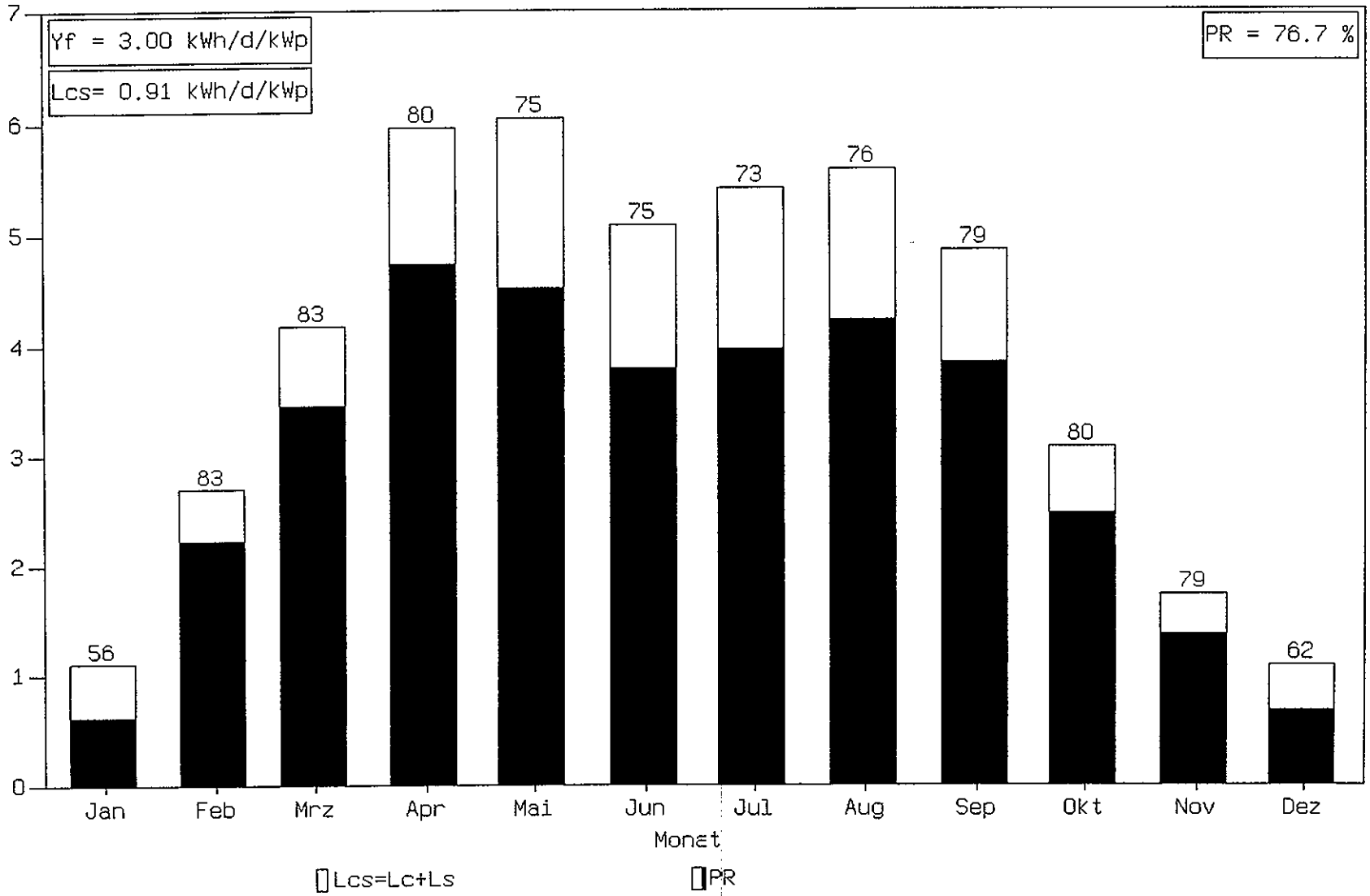
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gsteighof 5, Burgdorf

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



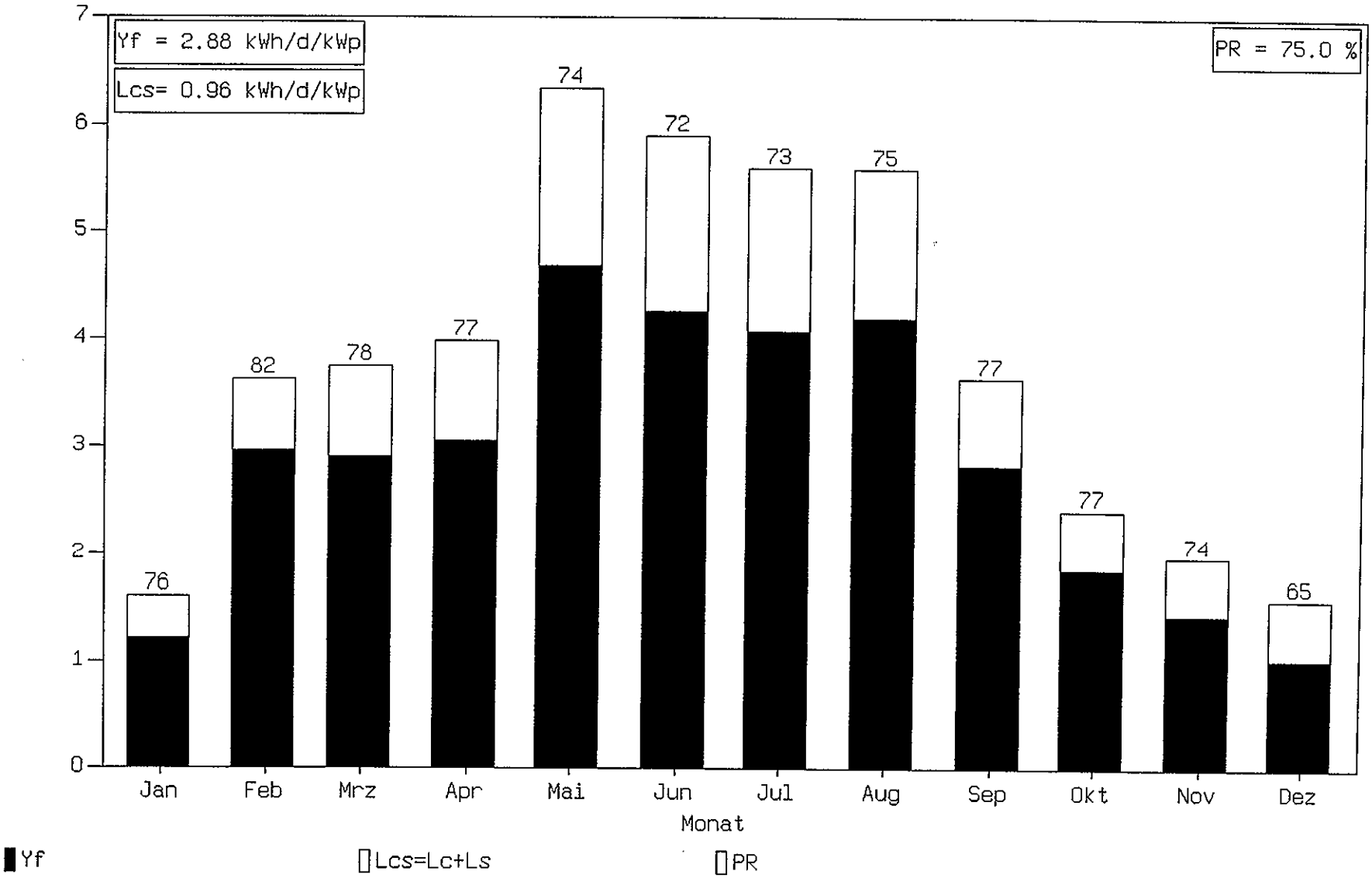
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gsteighof 5, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

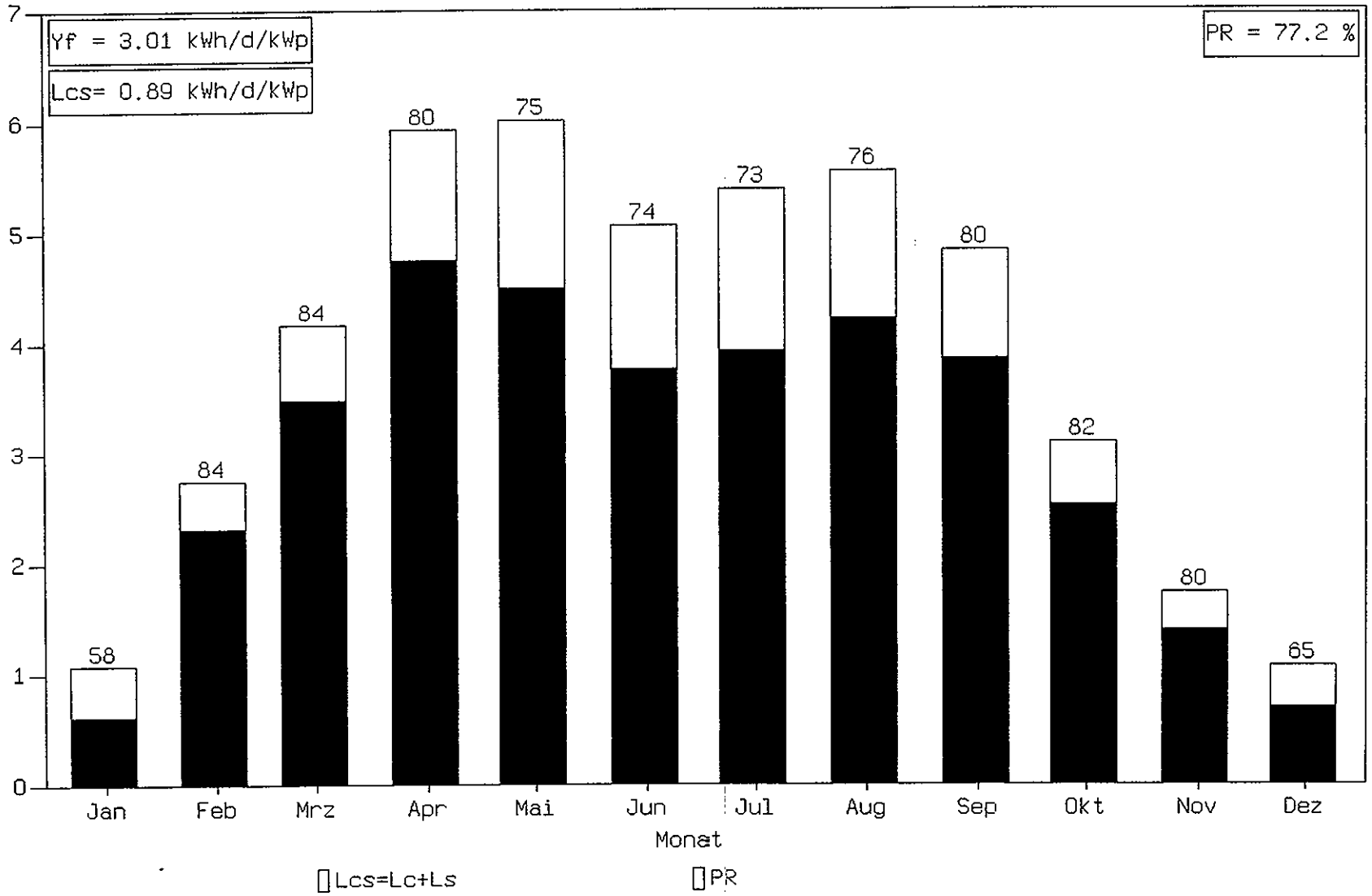
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gsteighof 6, Burgdorf

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



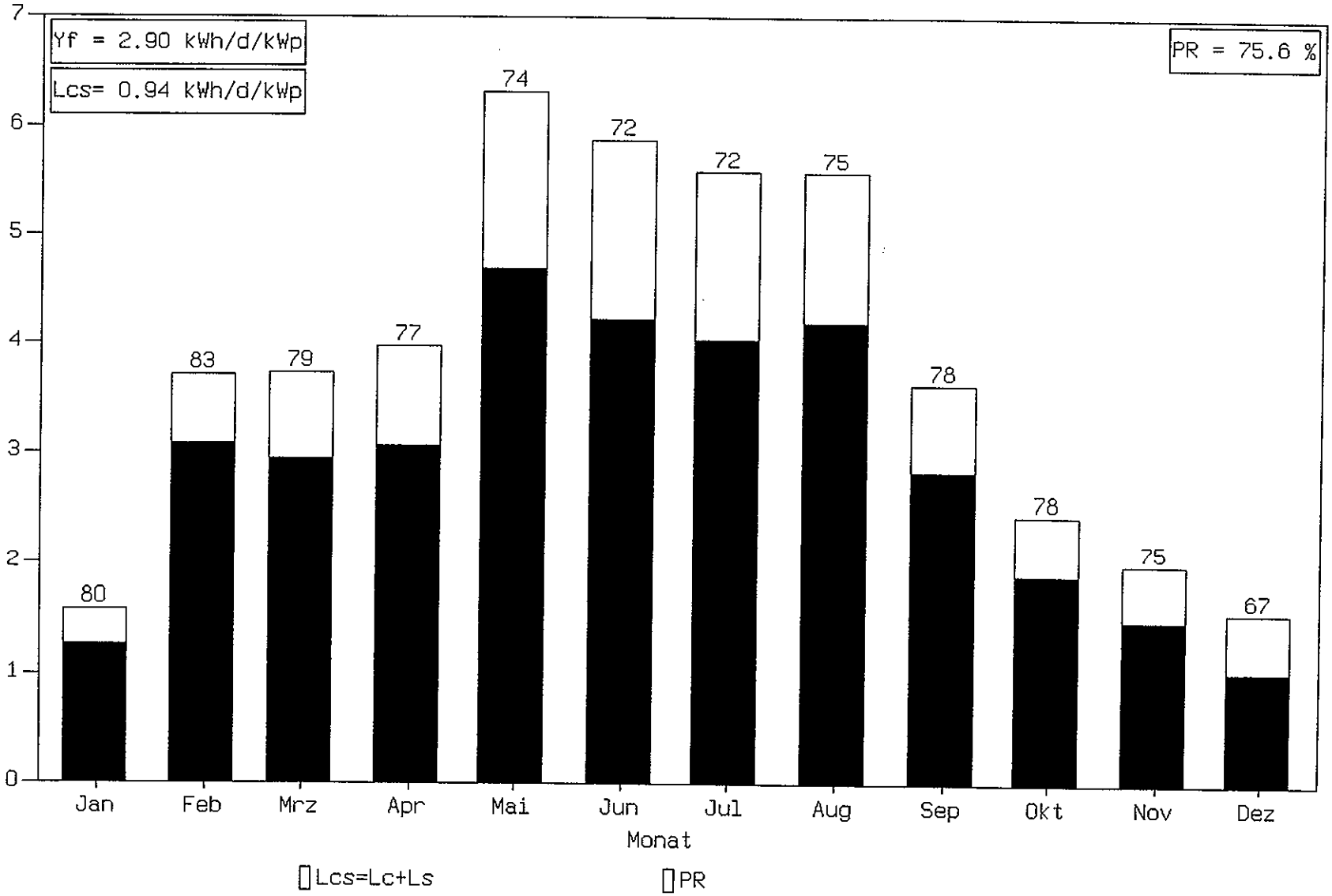
Ingenieurschule Burgdorf

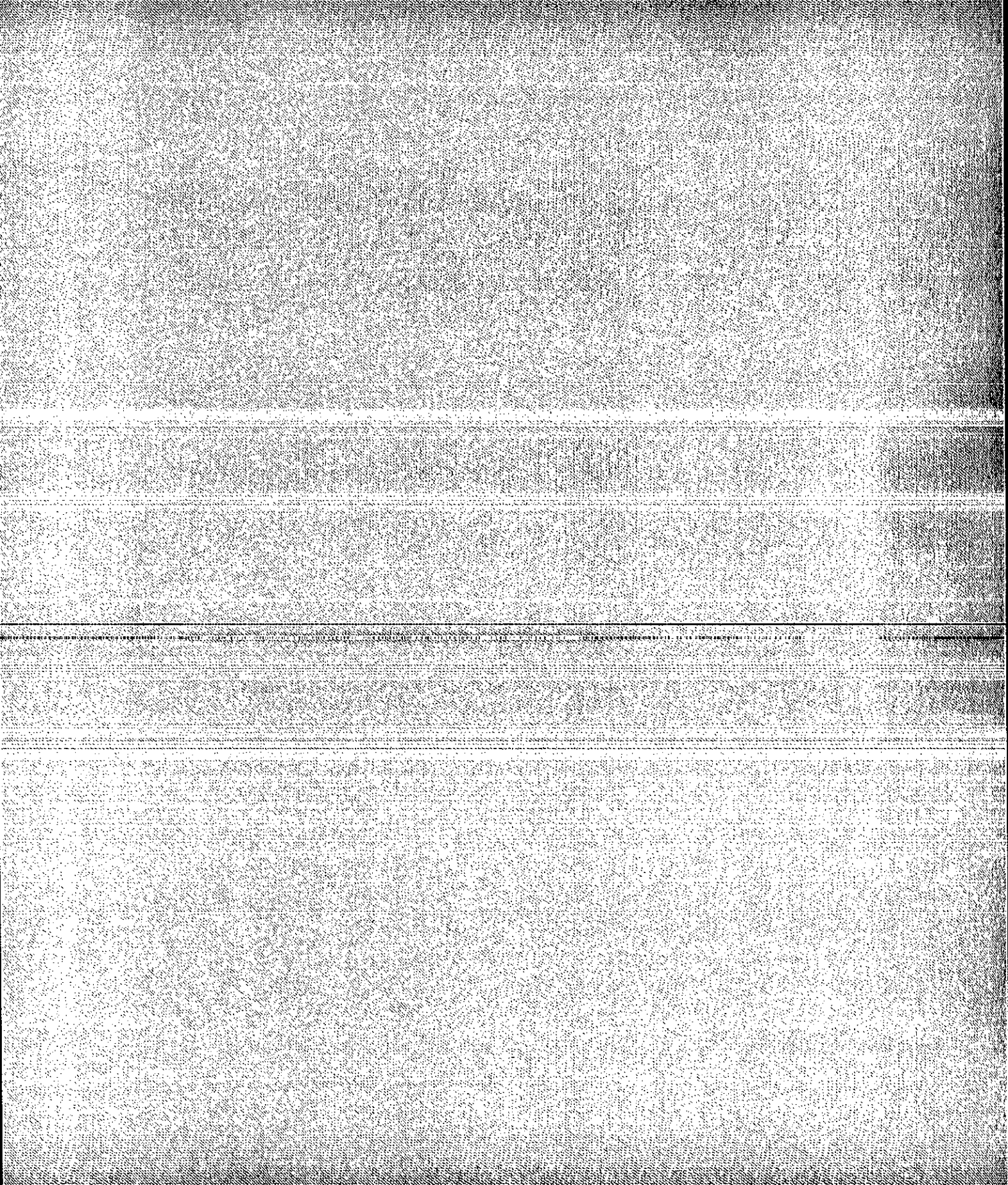
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gsteighof 6, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



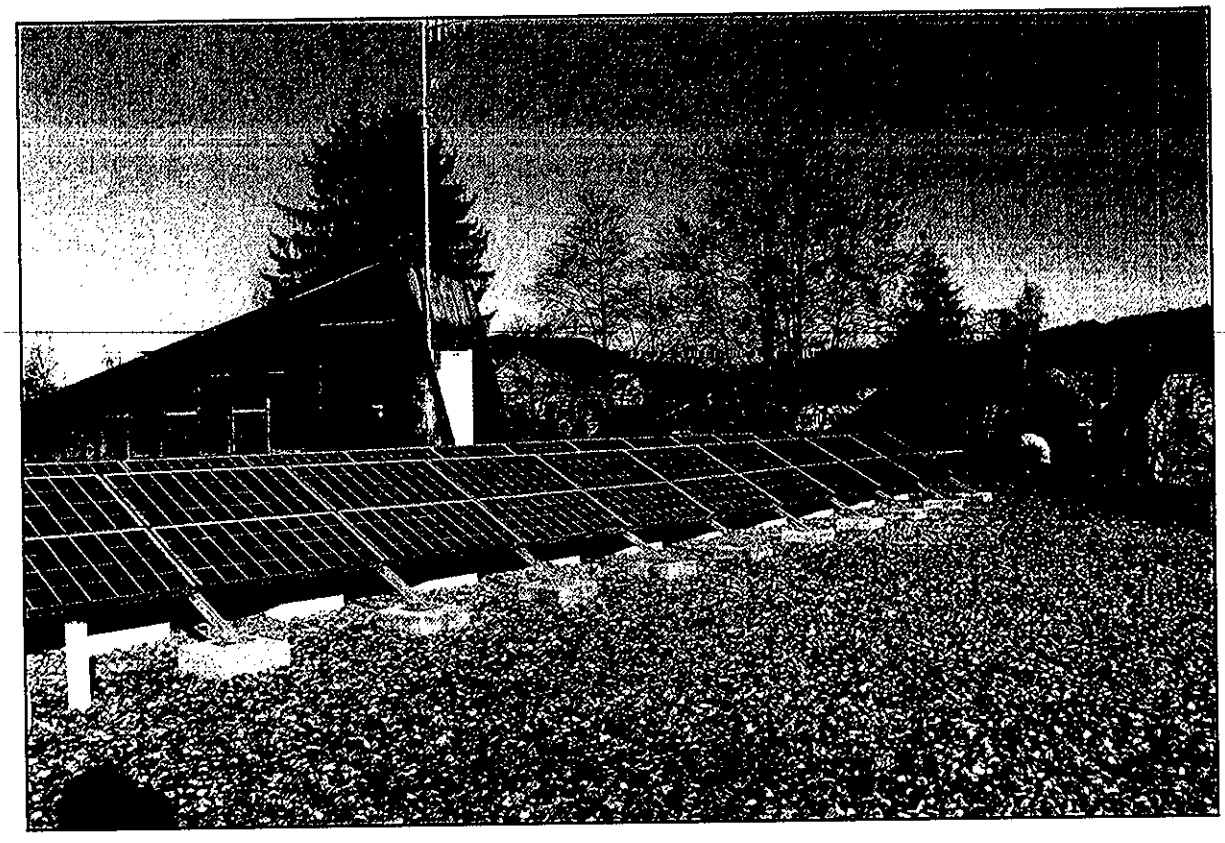


18 Gymnasium, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage			
Inbetriebnahme:	31.05.1994		
Solargenerator:			
Module:	Kyocera LA361K51 (60 Stück)		
Feldleistung:	3060 Wp (nominell)	**Neigung:**	30° (Flachdach)
Bruttofläche:	26,3 m^2	**Ausrichtung:**	0° Süd
Wechselrichter:	ASP TopClass 2500/6 Grid II		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung gemessen mit der zentralen Meteomessstelle an der HTA Burgdorf (Pyranometer) und danach die Messdaten mit Hilfe einer eigens entwickelten Software auf die Neigung und Orientierung der Solargeneratorebene umgerechnet
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung



Ingenieurschule Burgdorf

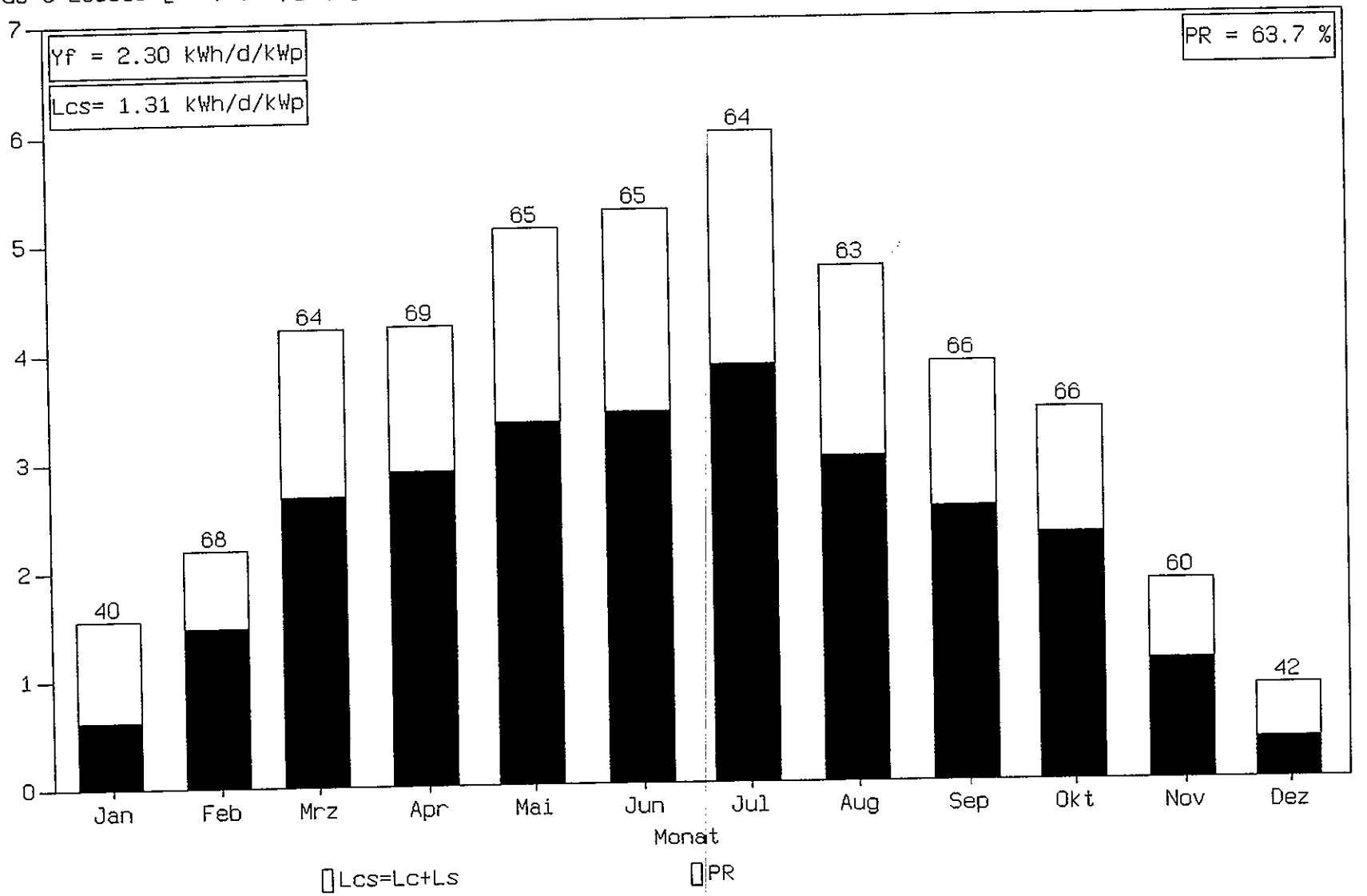
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gymnasium, Burgdorf (ADEV)

Jahr: 1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

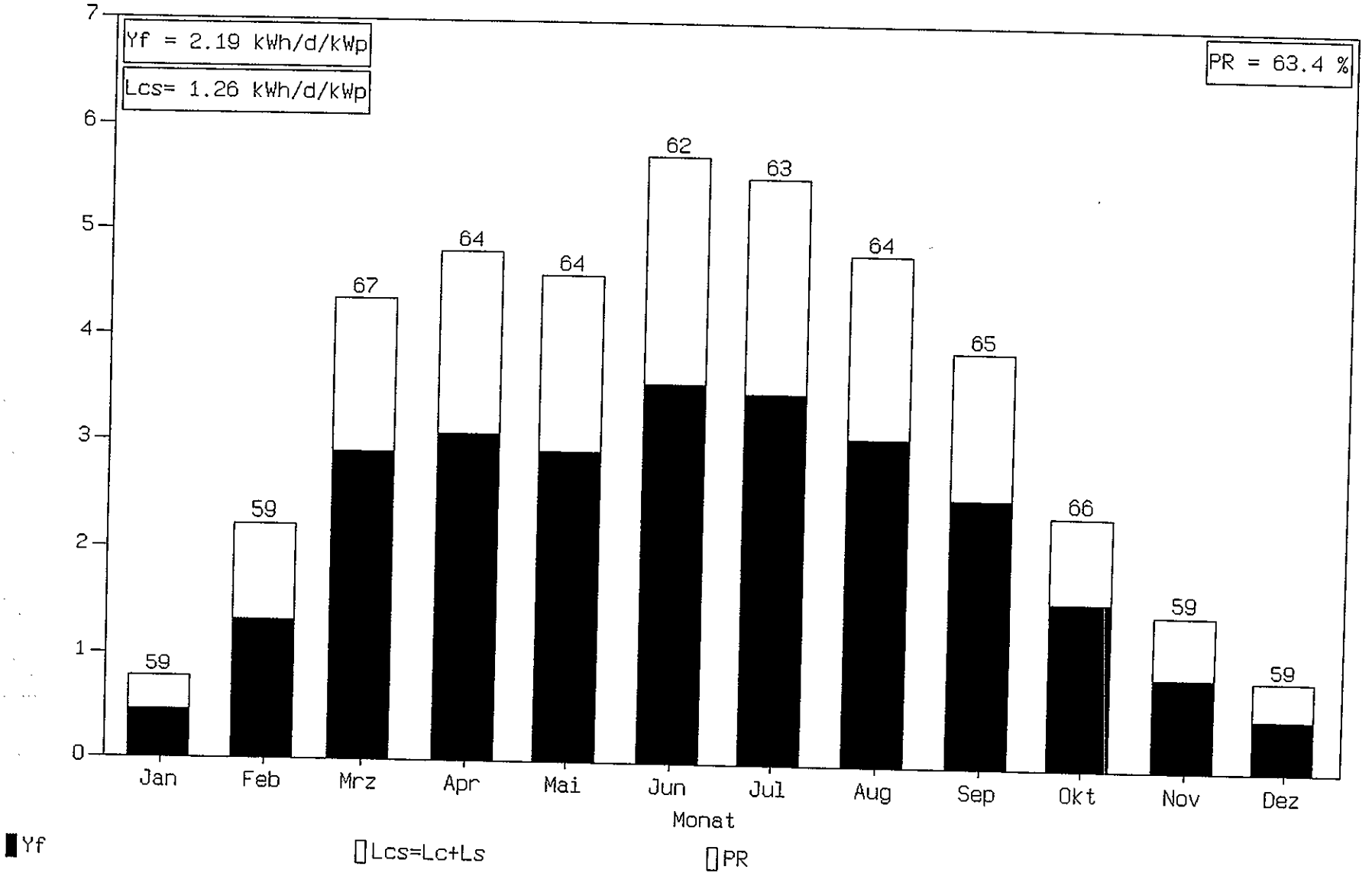
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gymnasium, Burgdorf (ADEV)

Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

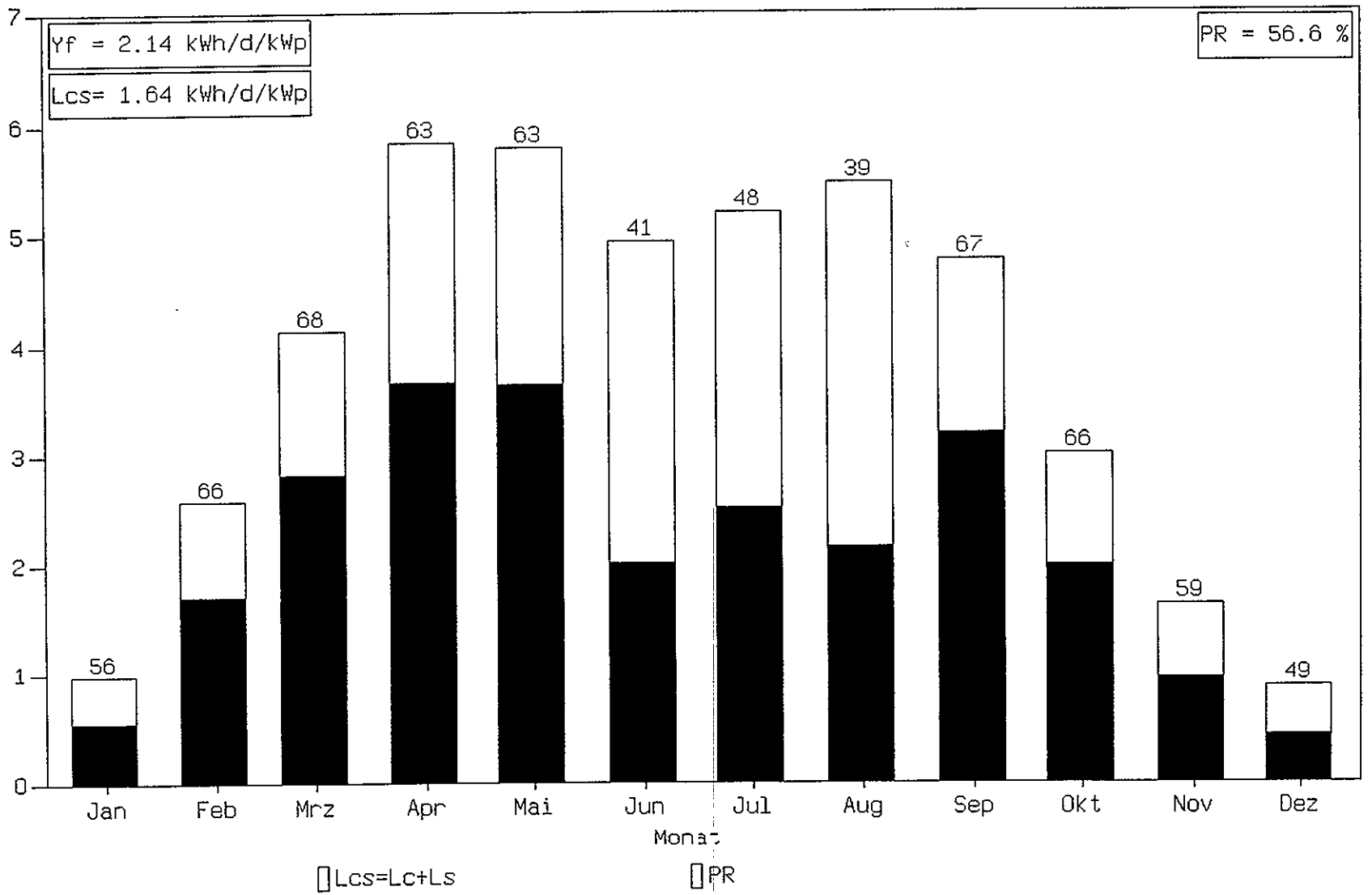
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gymnasium, Burgdorf (ADEV)

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

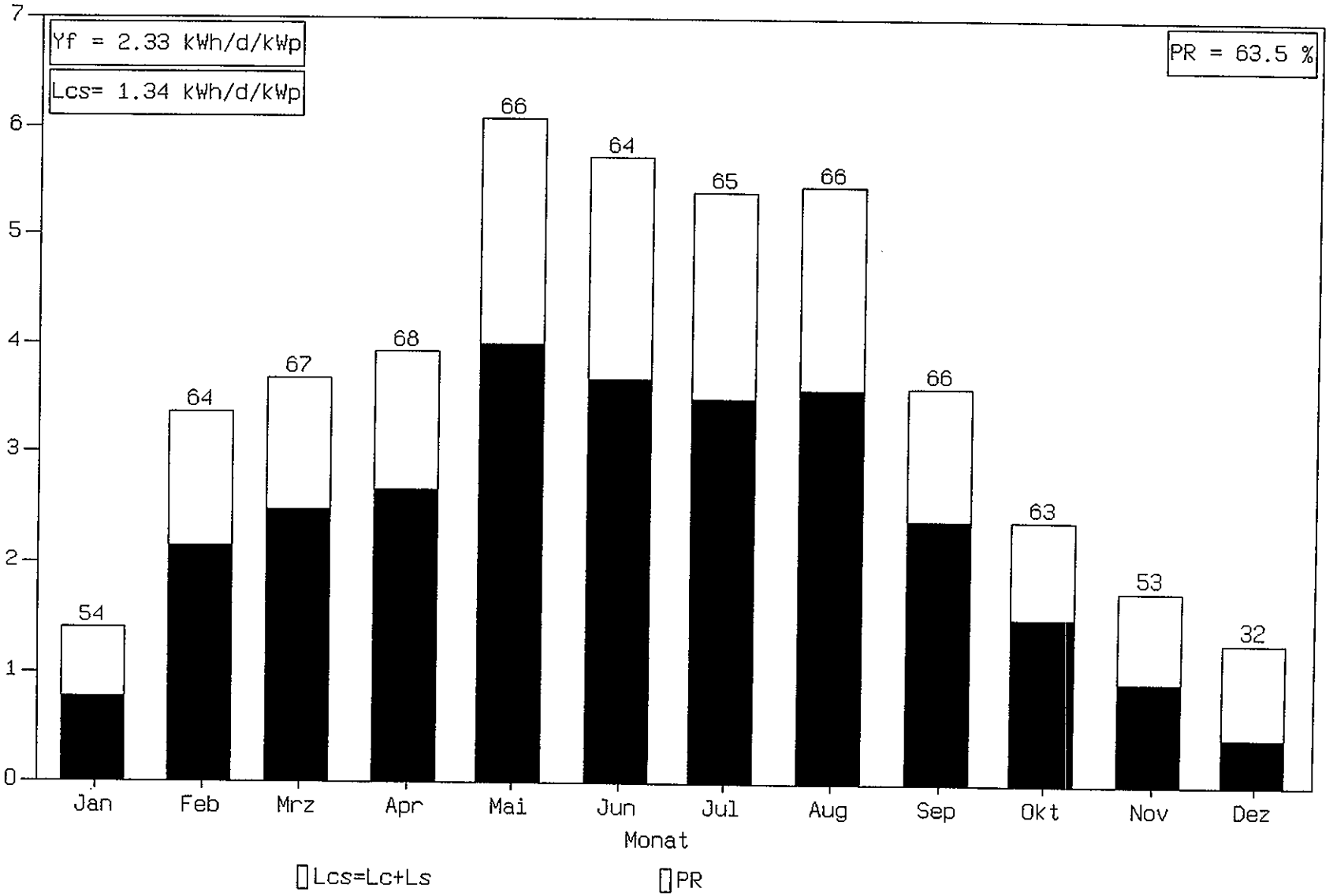
Labor für Photovoltaik

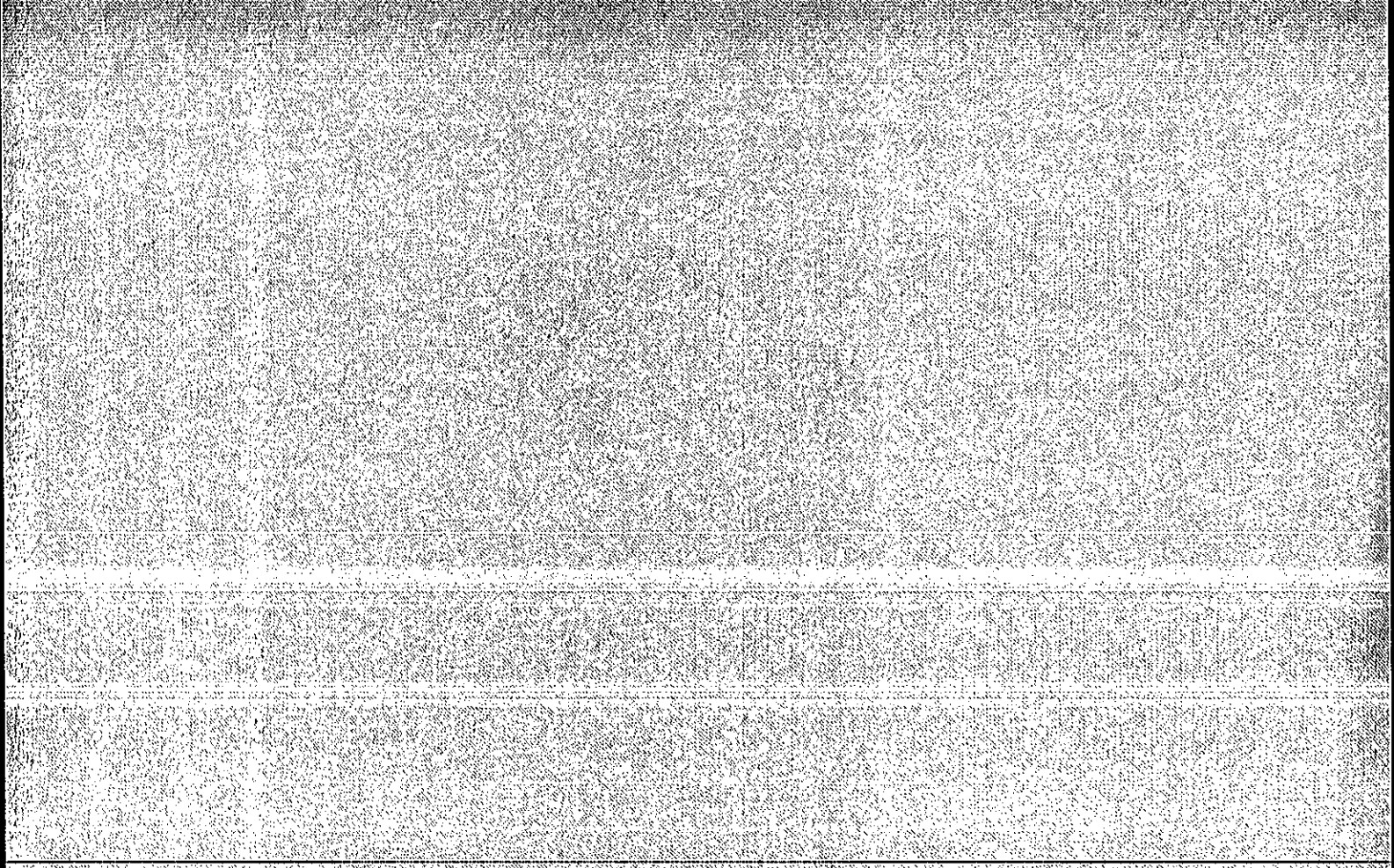
Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gymnasium, Burgdorf (ADEV)

Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)





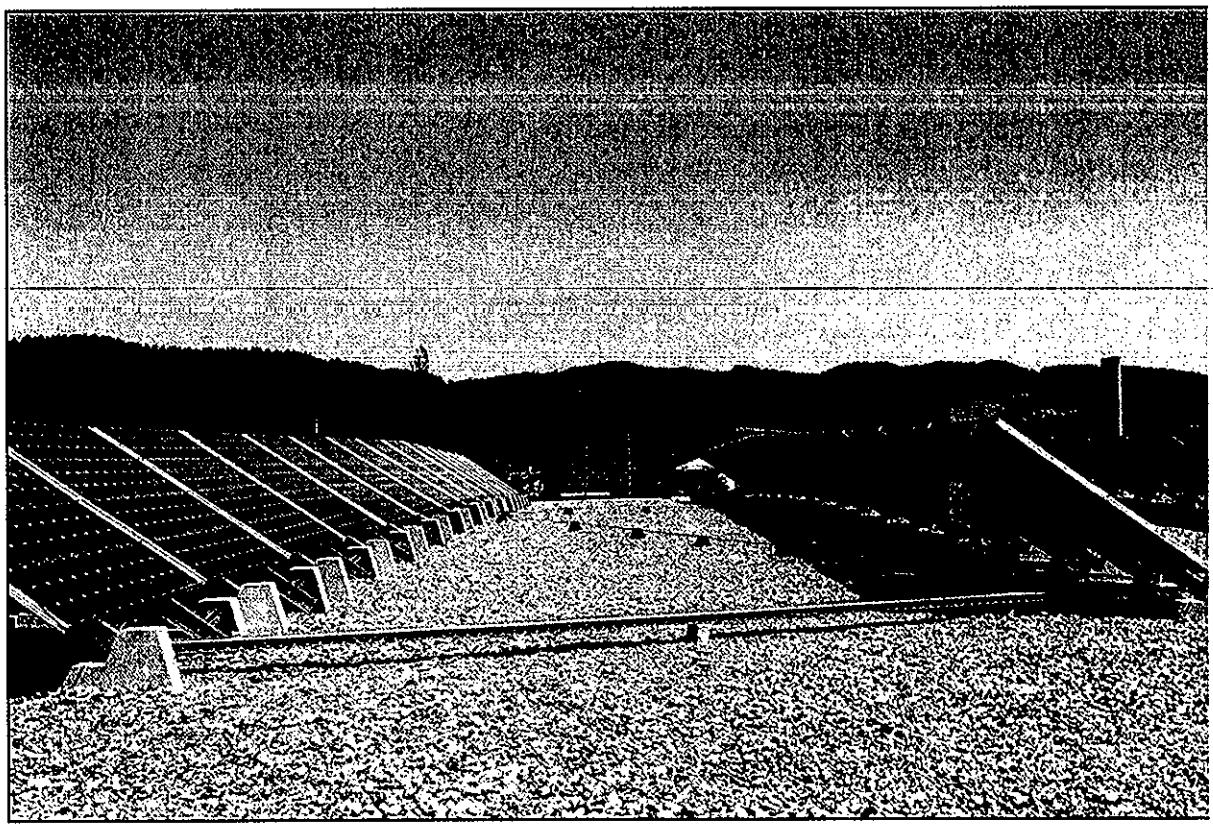
19-24 Lindenfeld 1 - 6, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage			
Inbetriebnahme:	01.11.1995		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (60 Stück)		
Feldleistung:	3180 Wp (nominell)	**Neigung:**	35° (Flachdach)
Bruttofläche:	25,6 m^2	**Ausrichtung:**	0° Süd
Wechselrichter:	SolarMaxS		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung gemessen mit der zentralen Meteomessstelle an der HTA Burgdorf (Pyranometer) und danach die Messdaten mit Hilfe einer eigens entwickelten Software auf die Neigung und Orientierung der Solargeneratorebene umgerechnet
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung

Hinweis: Die gesamte PV-Anlage Lindenfeld besteht aus 6 Teilanlagen mit den oben genannten technischen Daten.



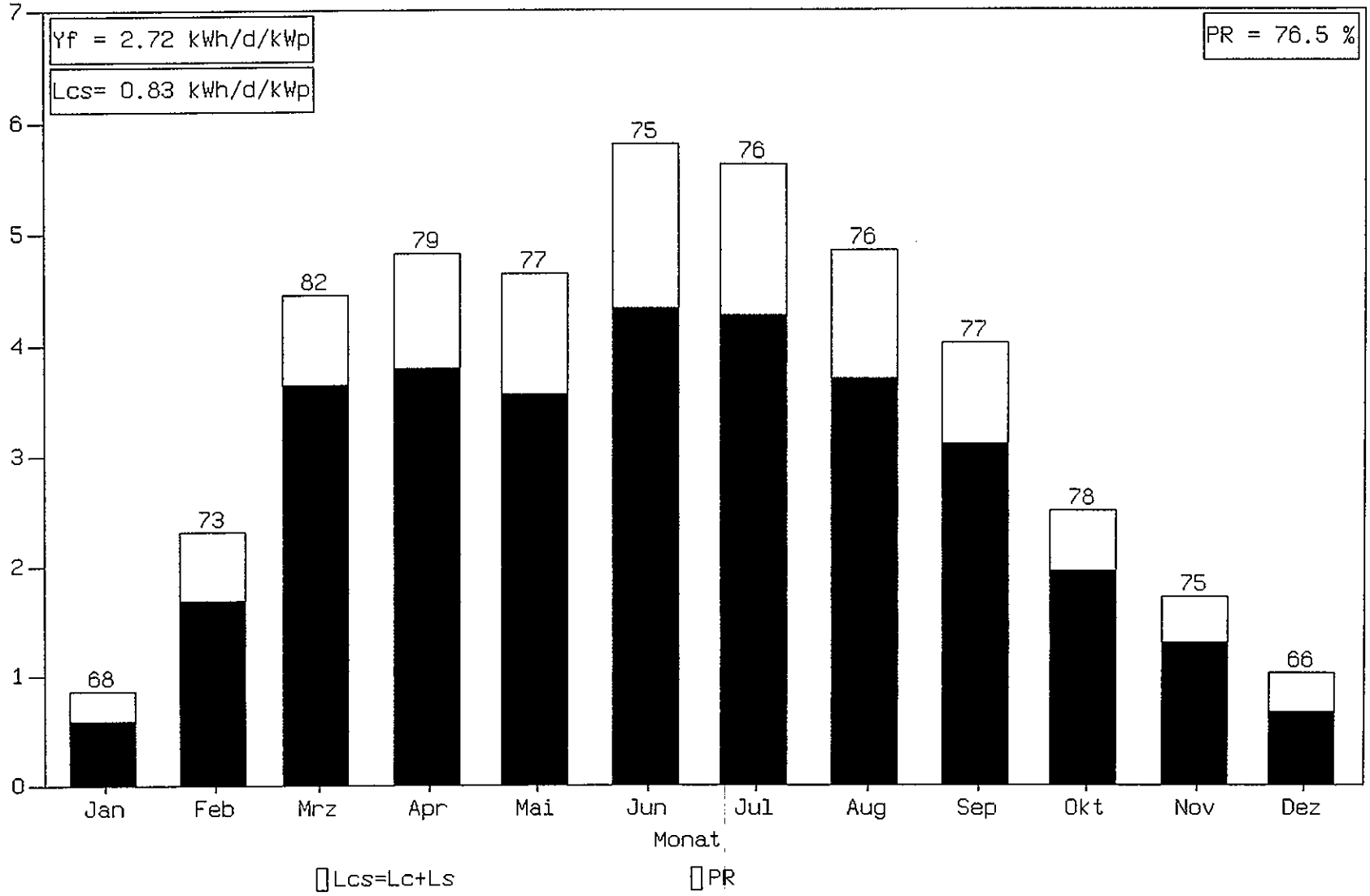
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 1, Burgdorf Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



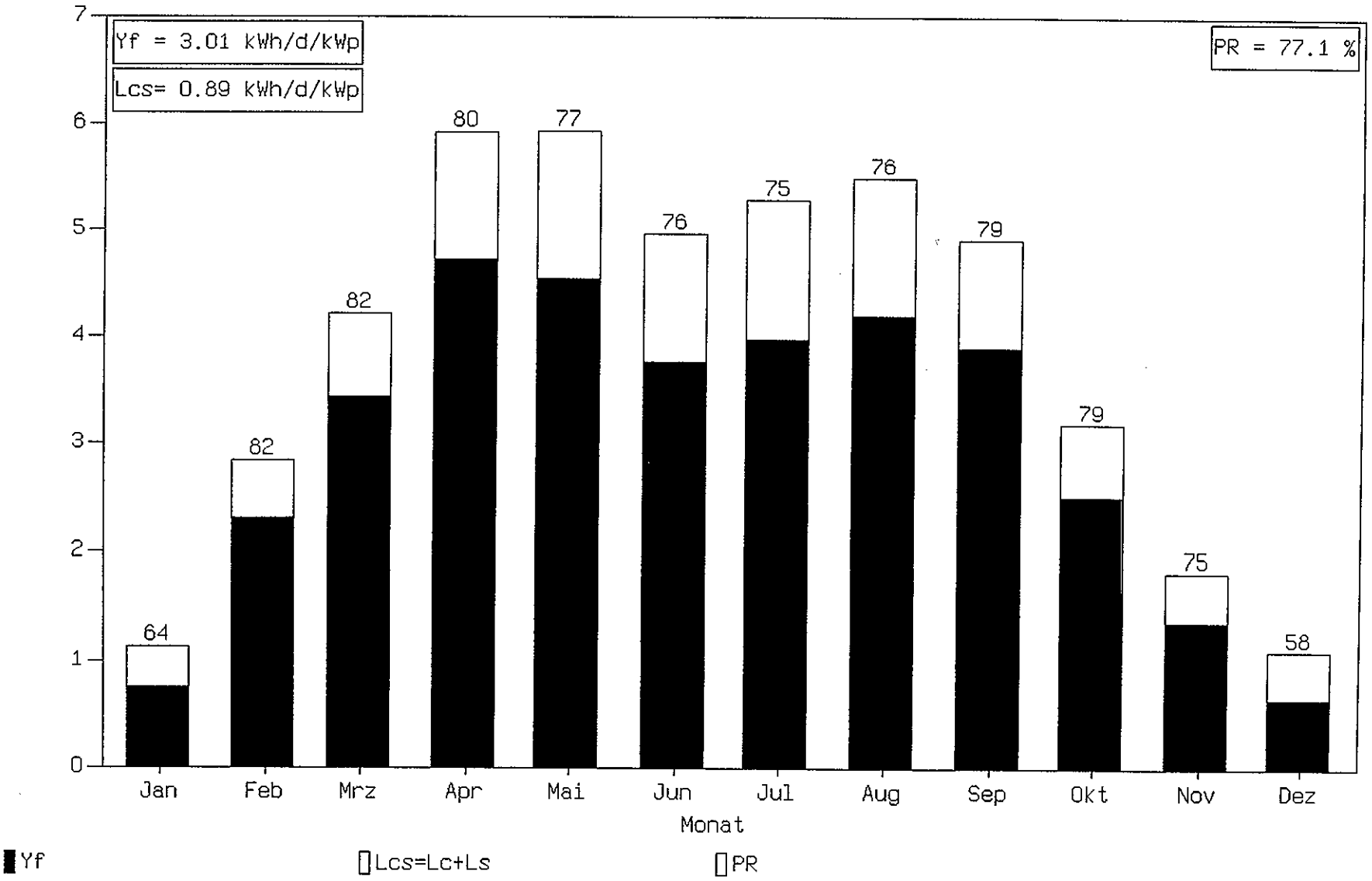
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 1, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



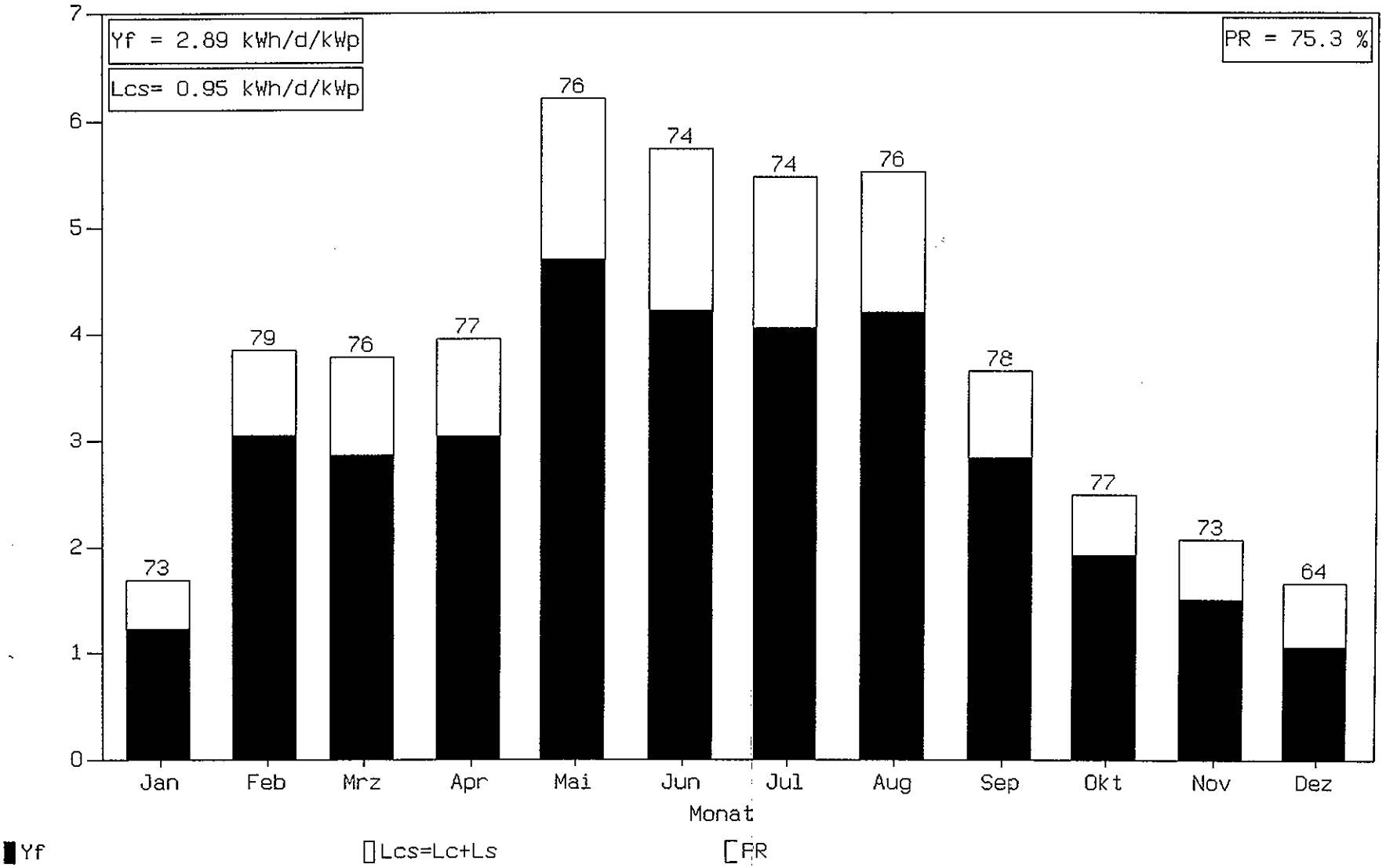
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 1, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



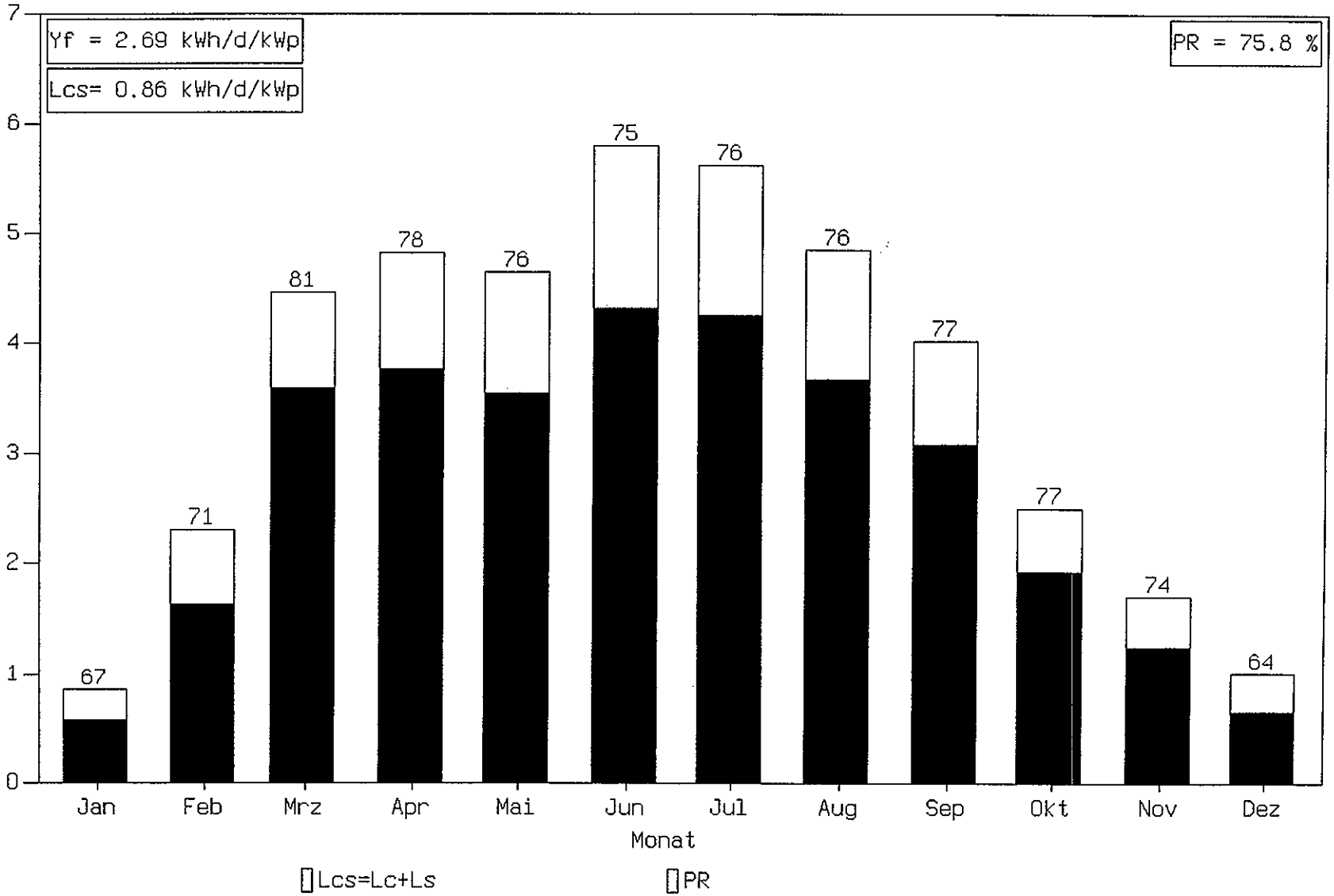
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 2, Burgdorf Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



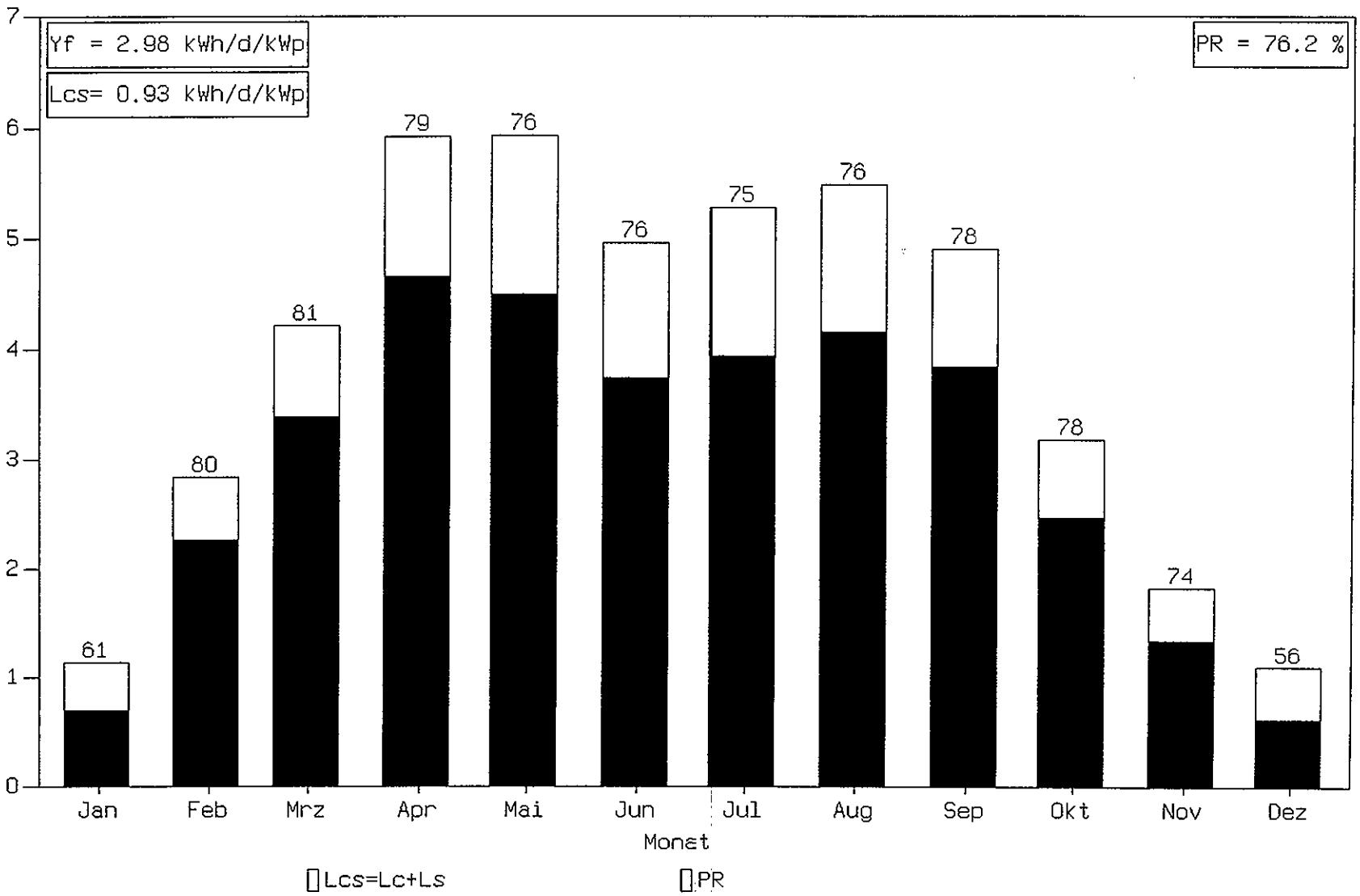
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 2, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



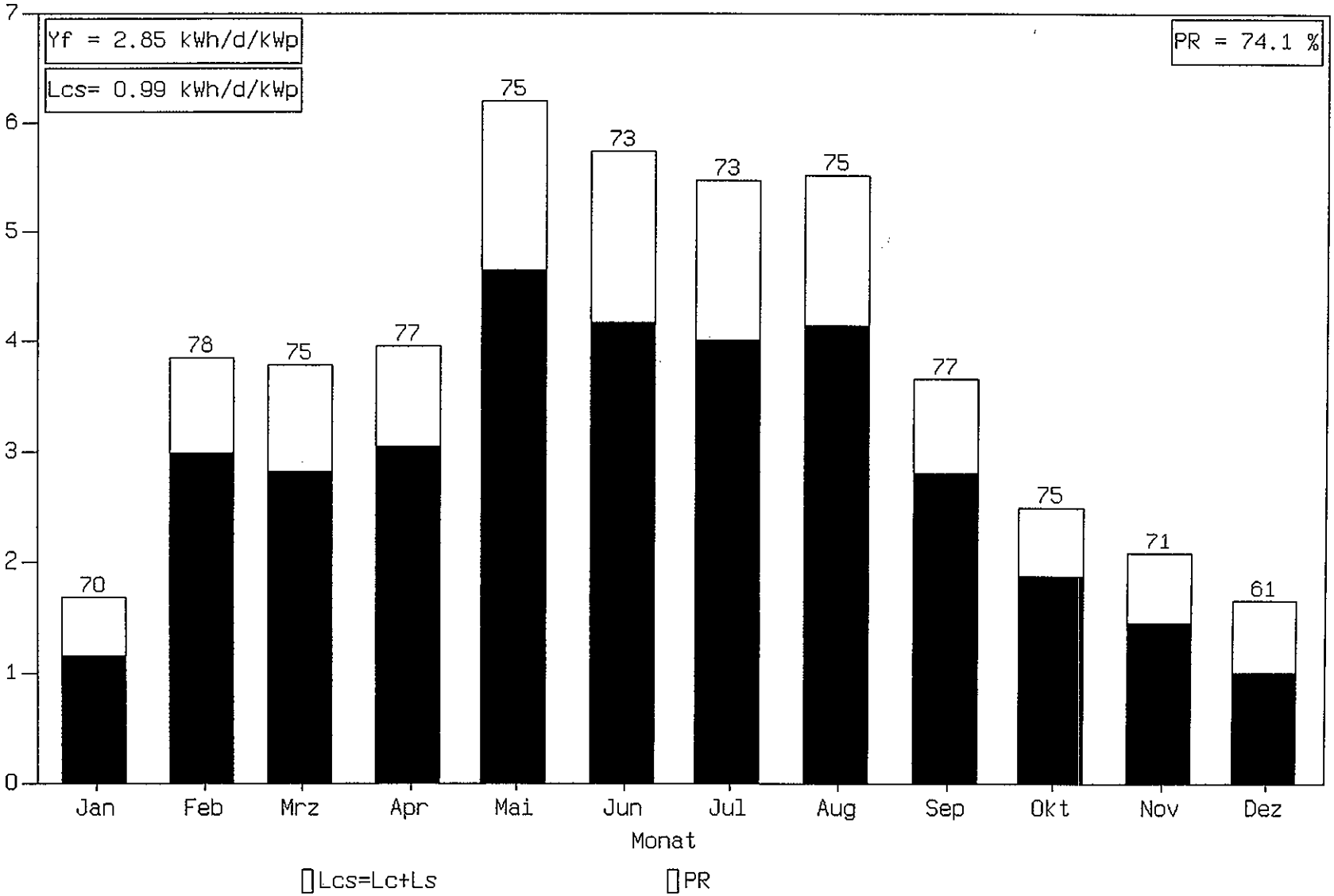
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 2, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



Yf Lcs=Lc+Ls PR

Ingenieurschule Burgdorf

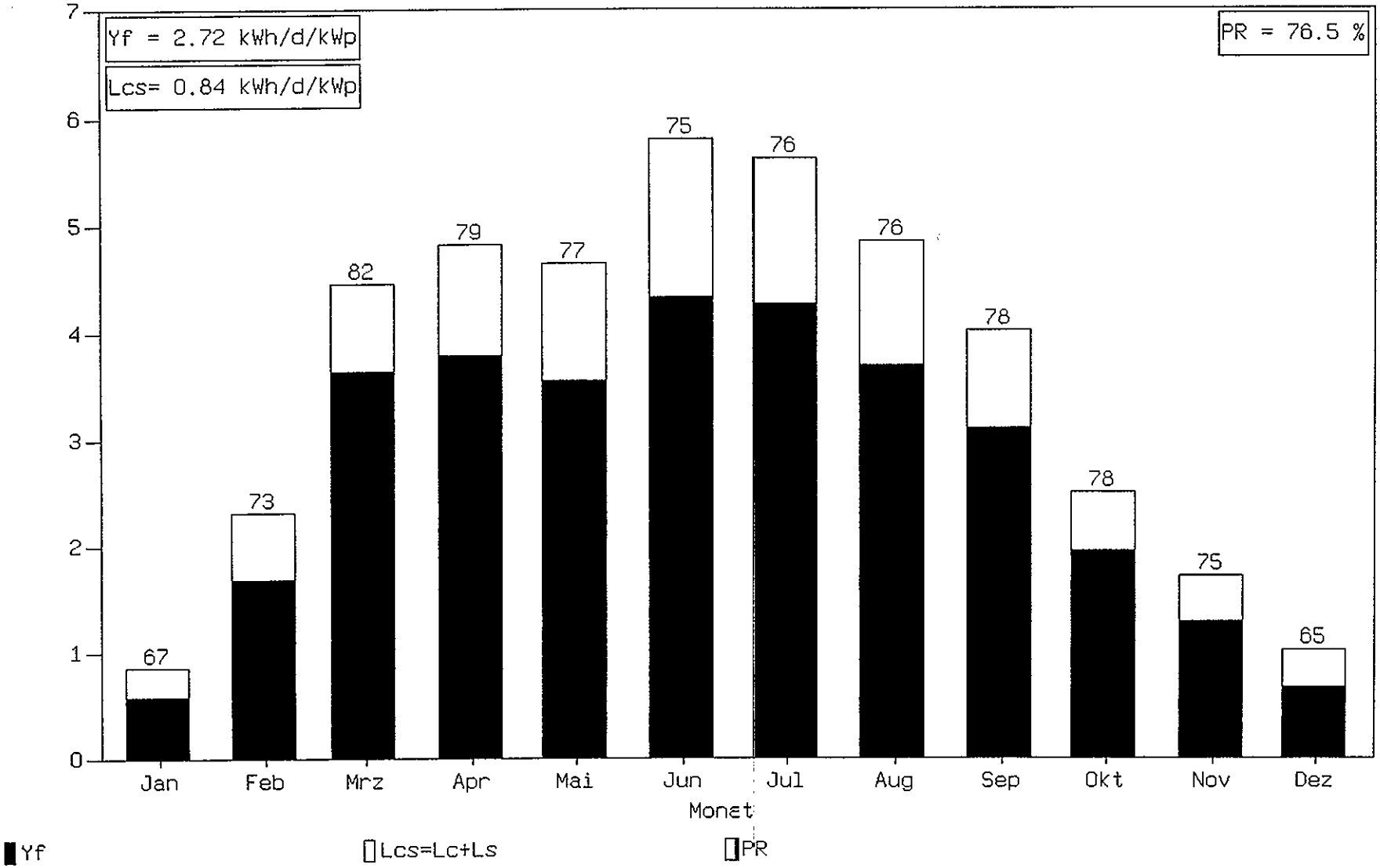
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 3, Burgdorf

Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



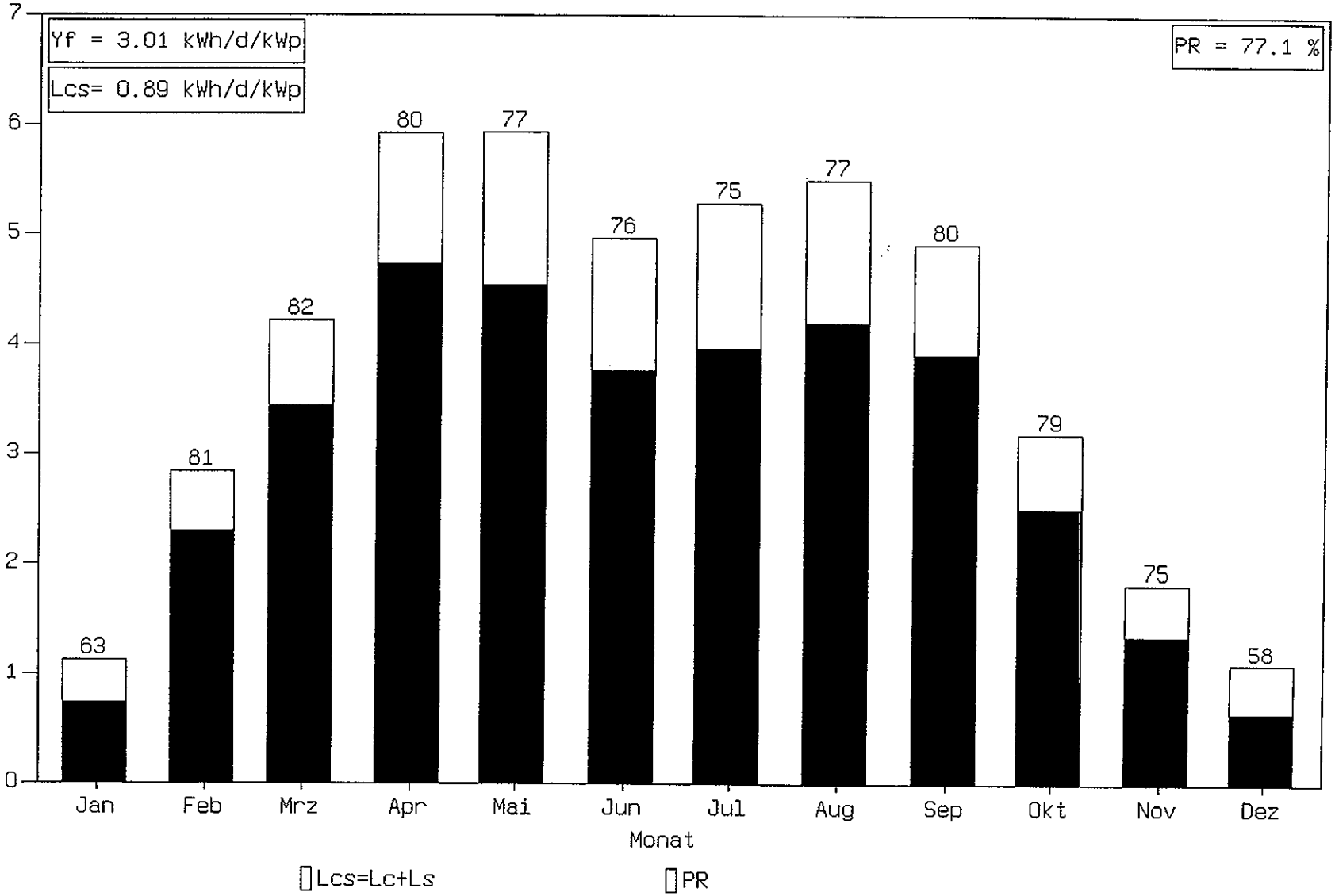
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 3, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

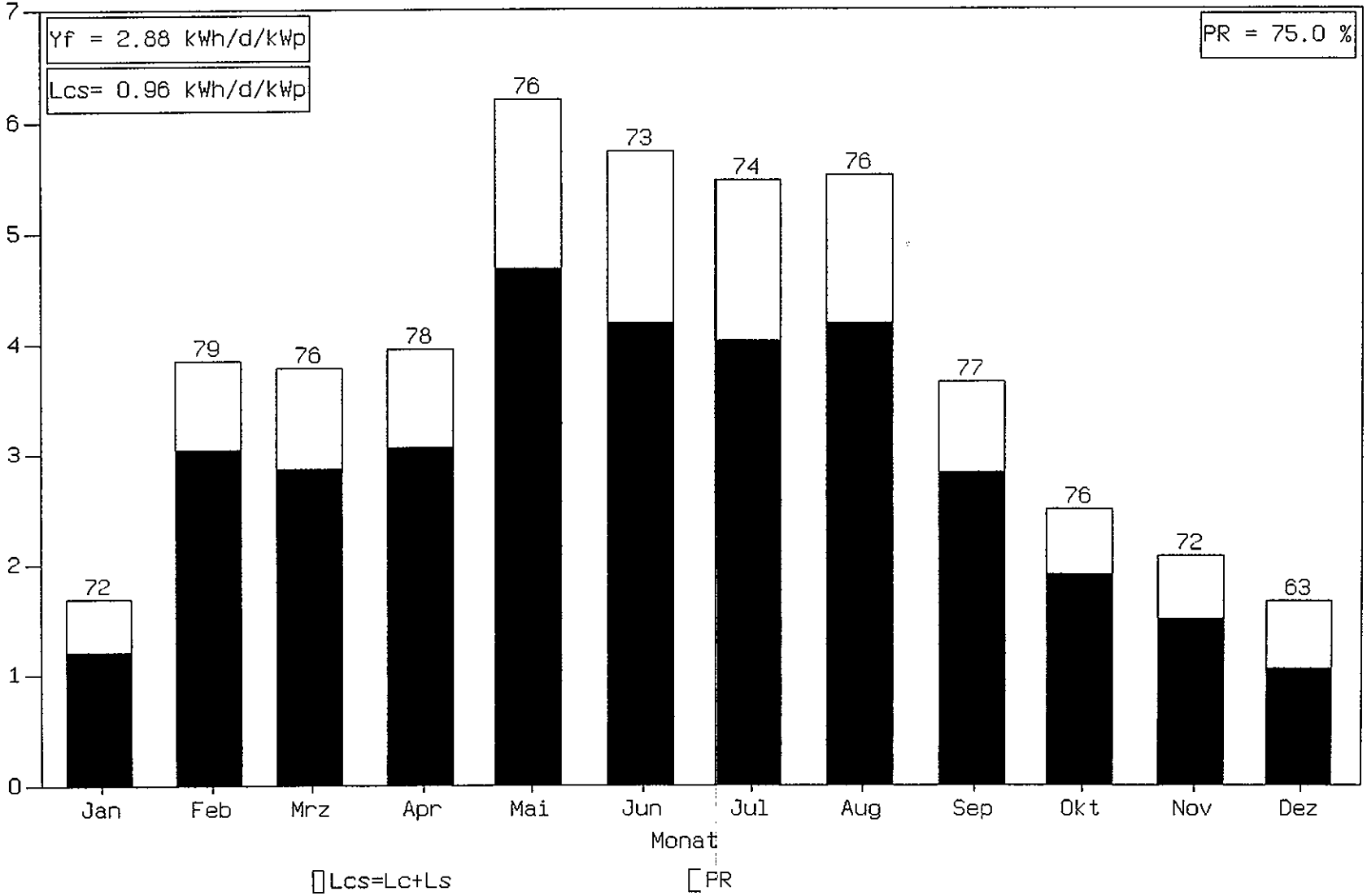
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 3, Burgdorf

Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



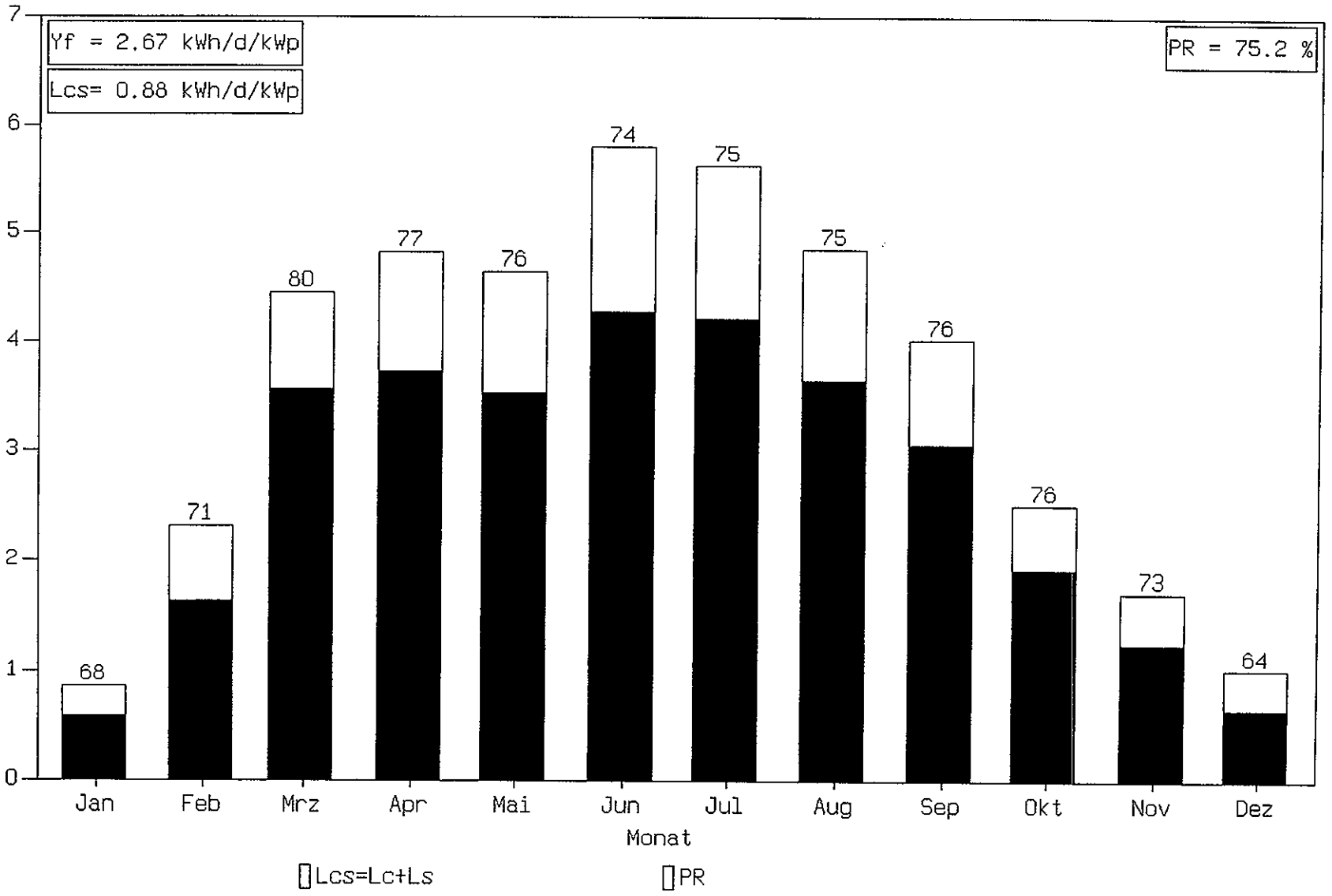
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 4, Burgdorf Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



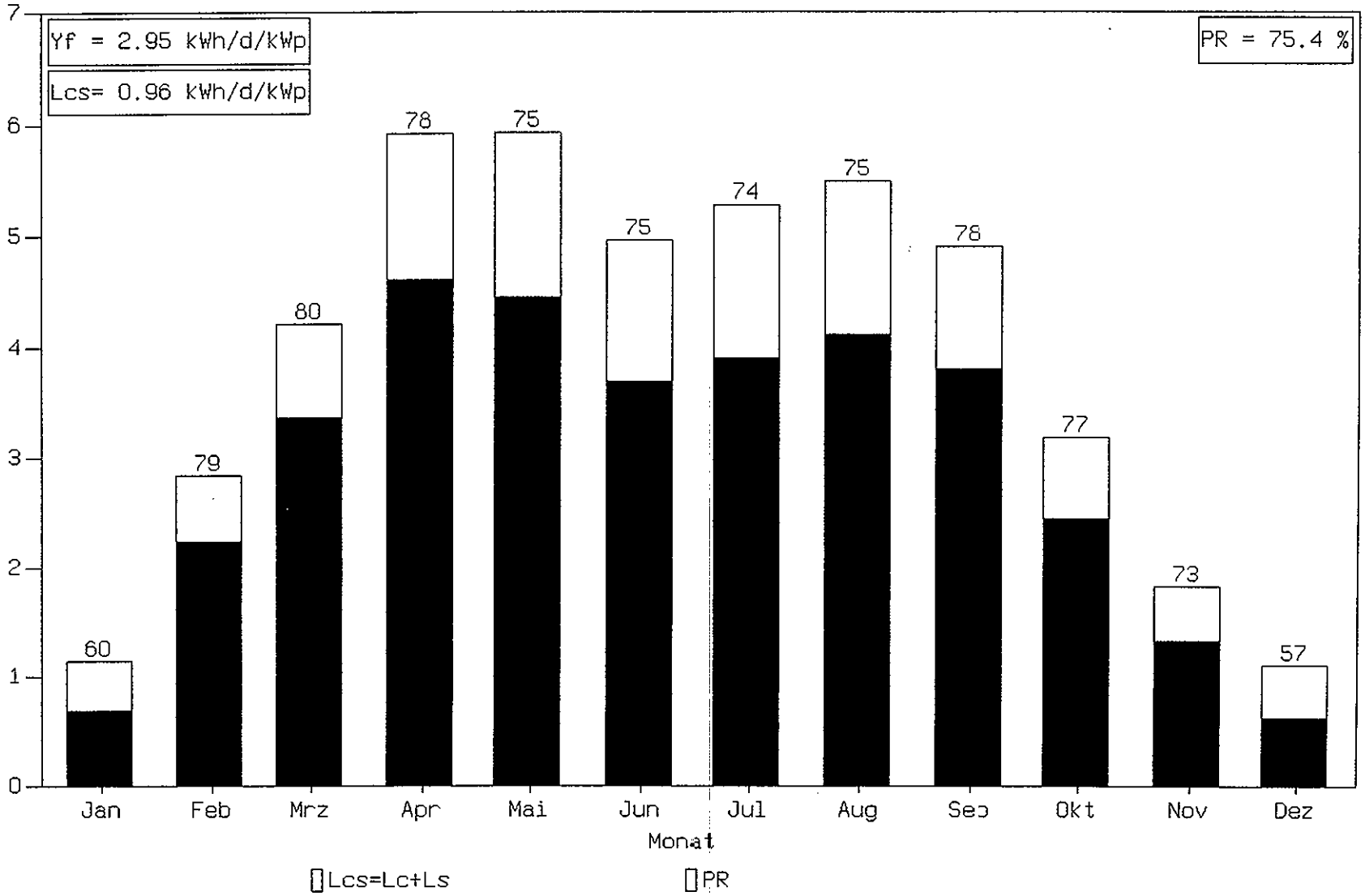
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 4, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



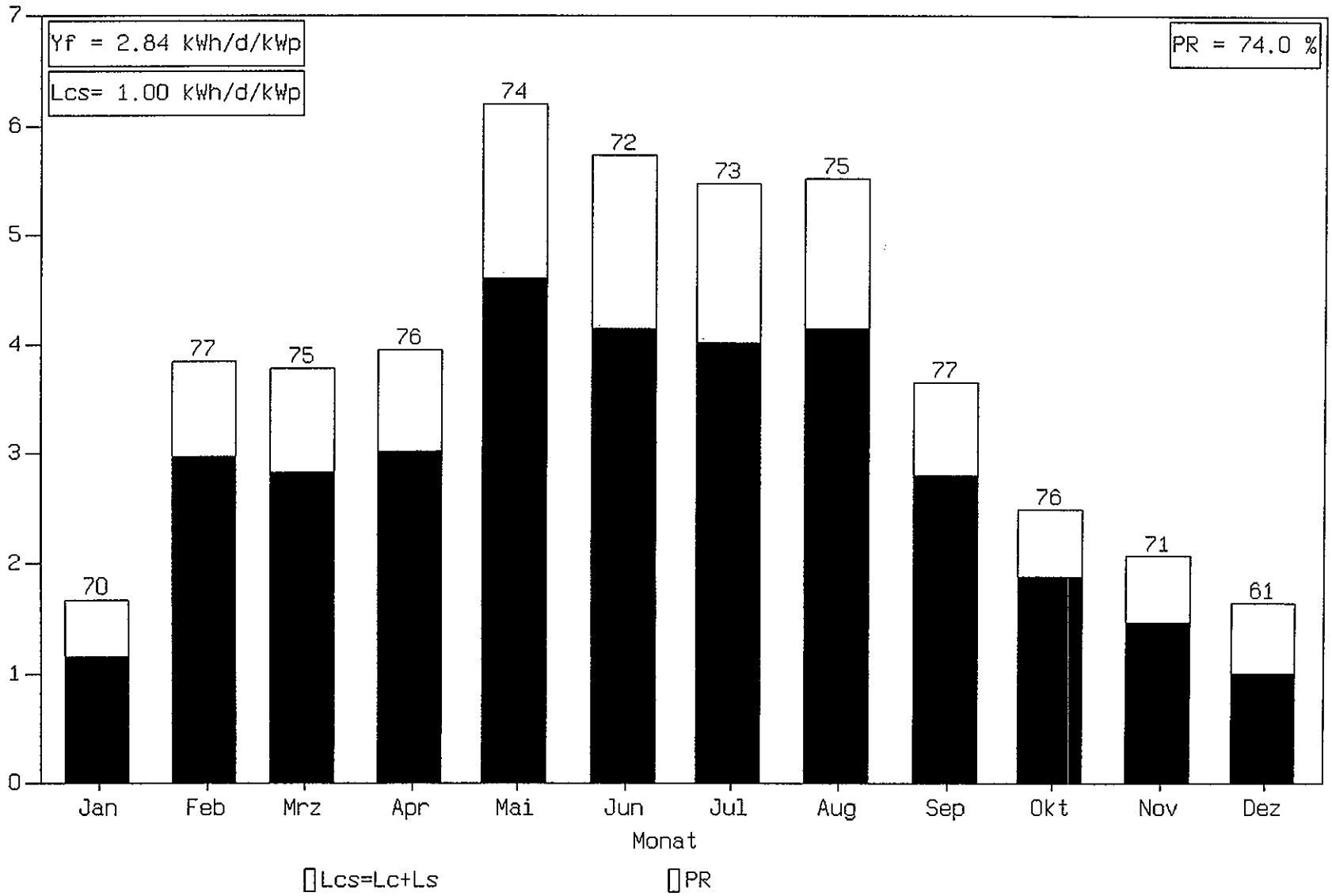
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 4, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

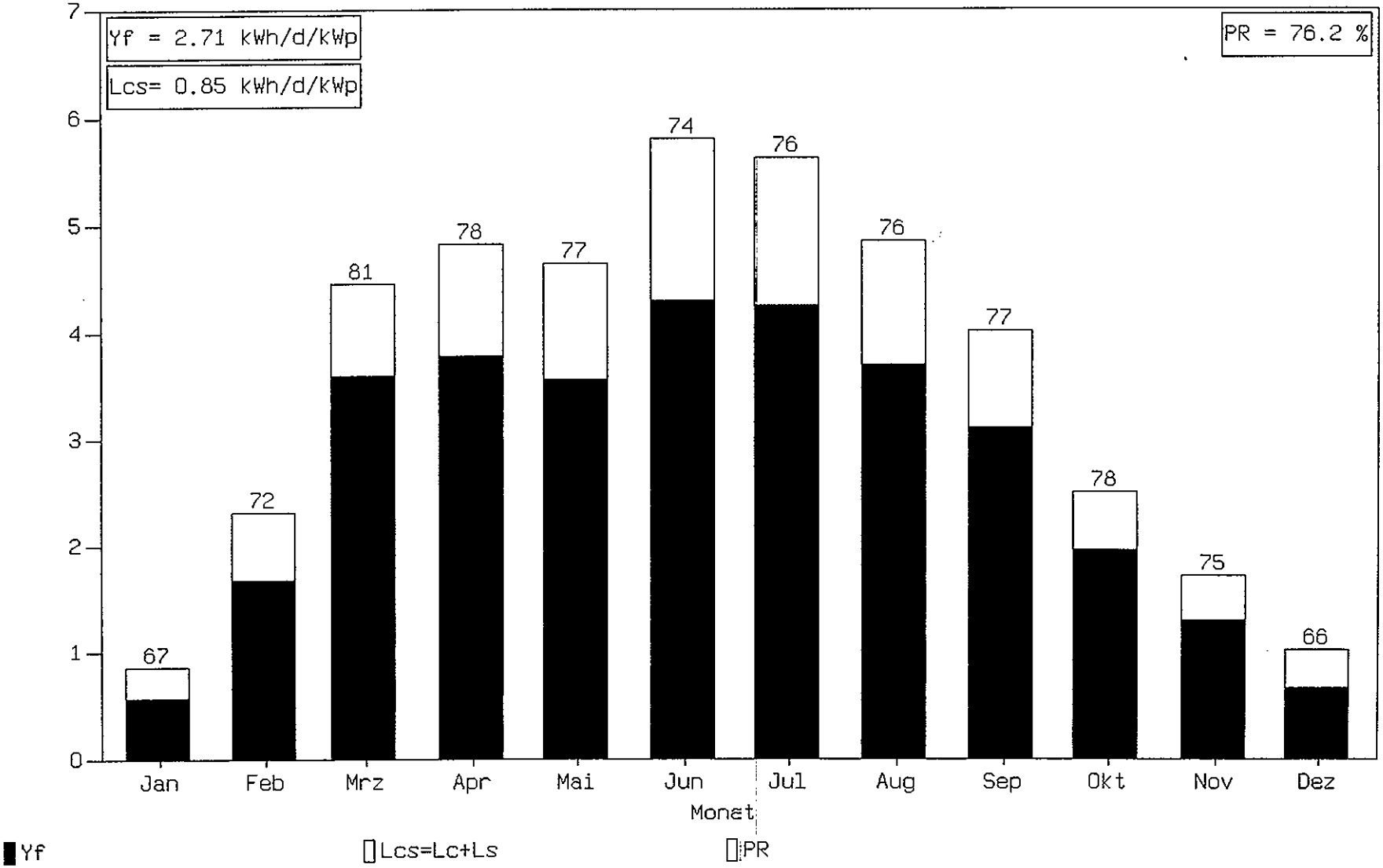
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 5, Burgdorf

Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



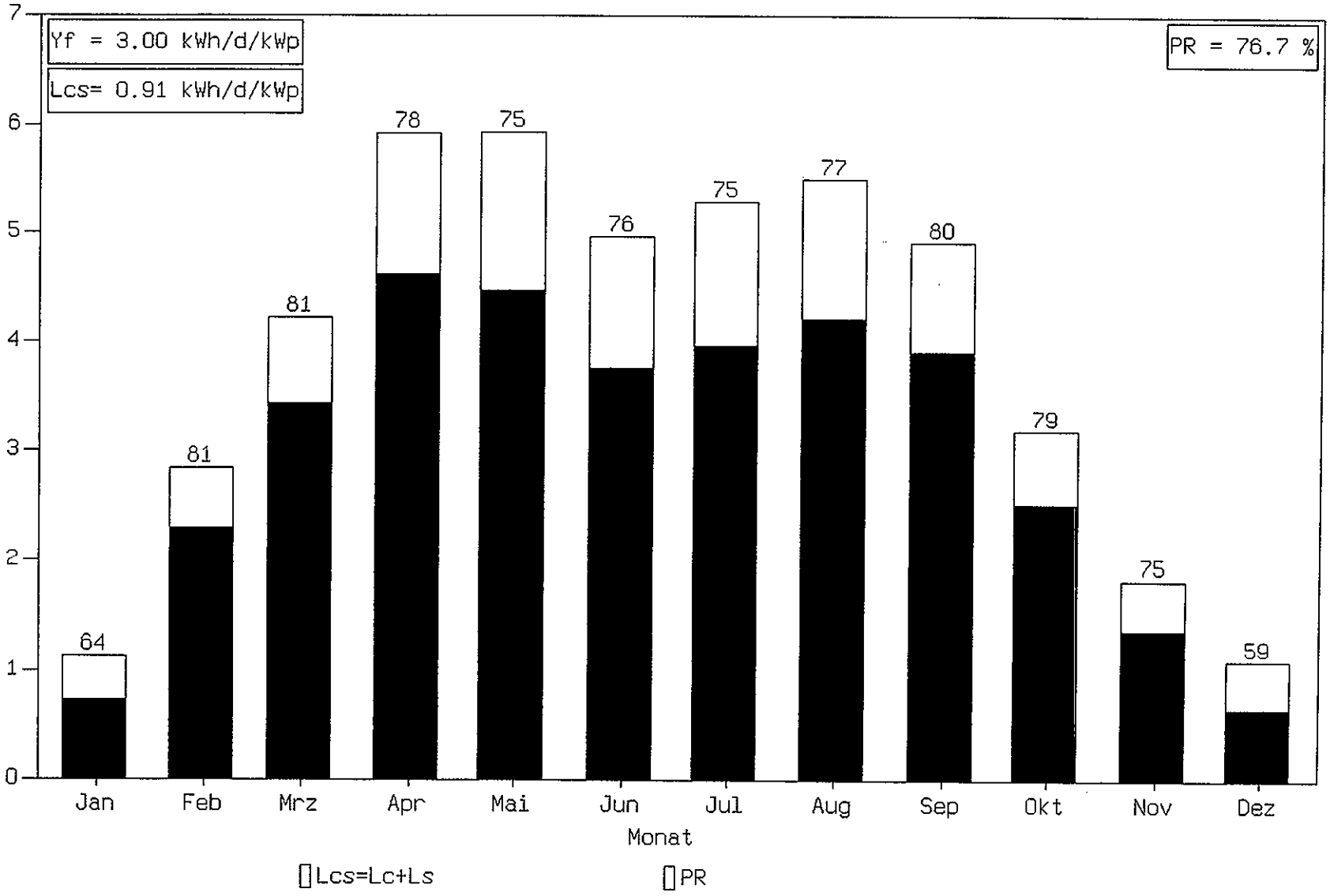
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 5, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

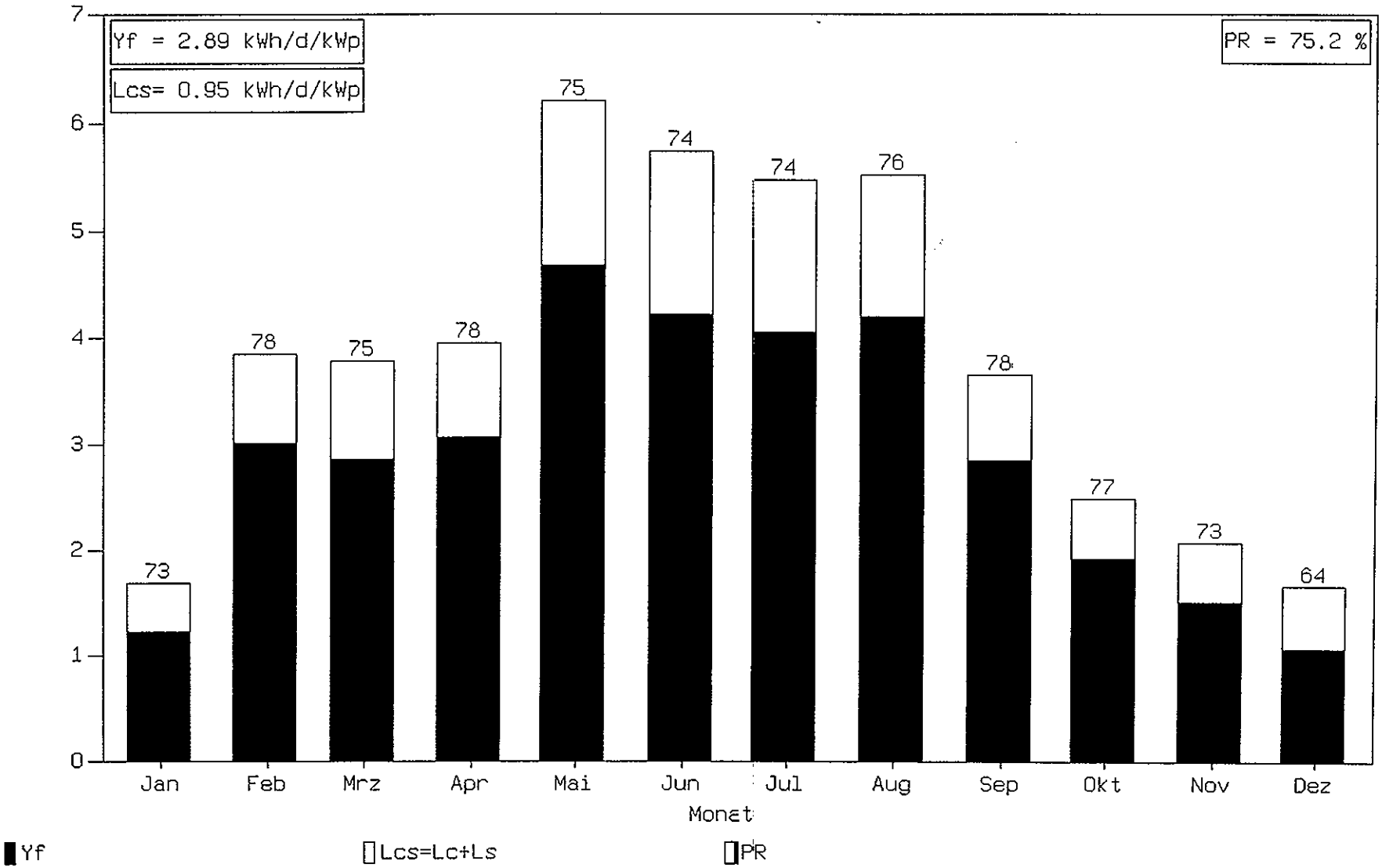
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 5, Burgdorf

Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



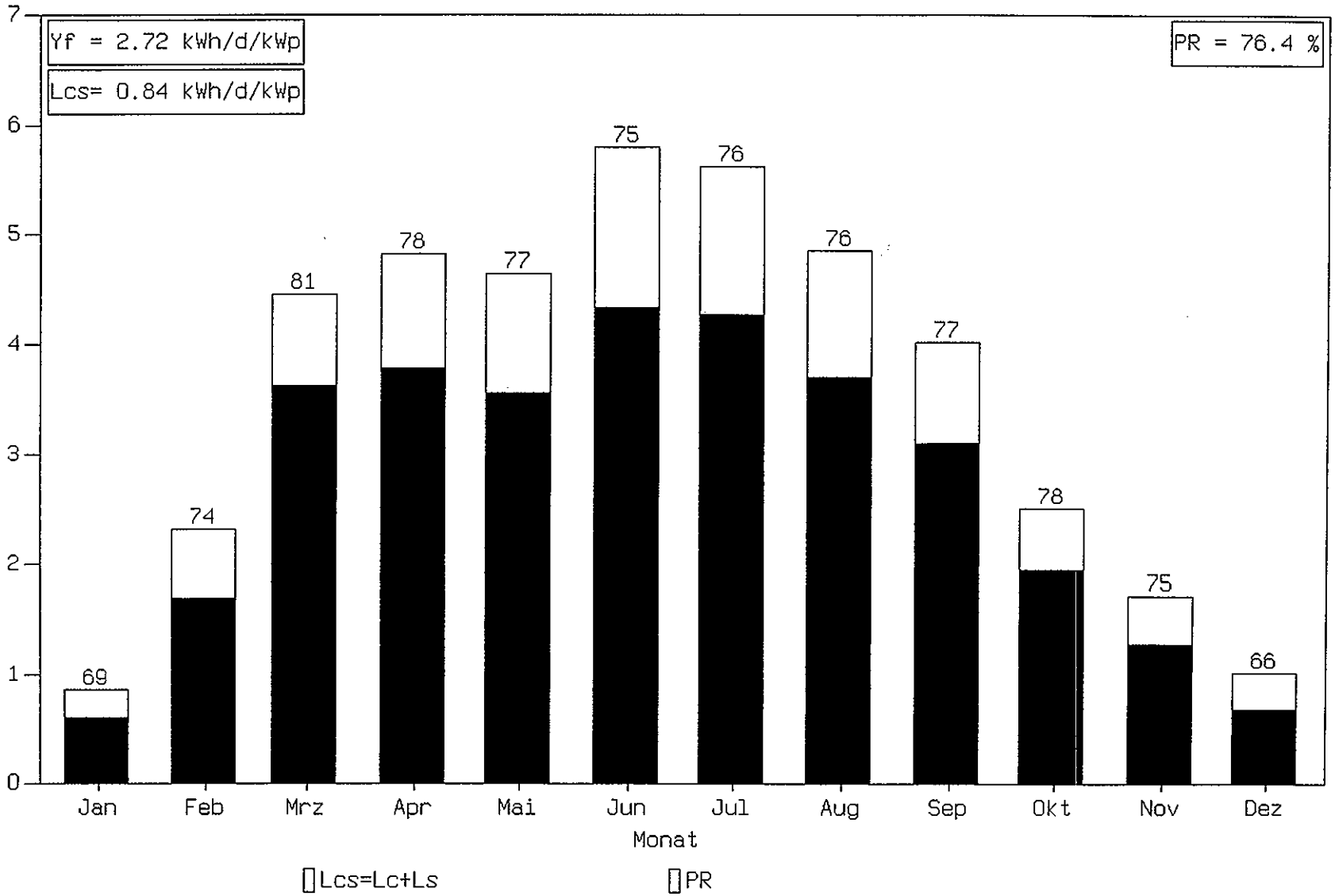
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 6, Burgdorf Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

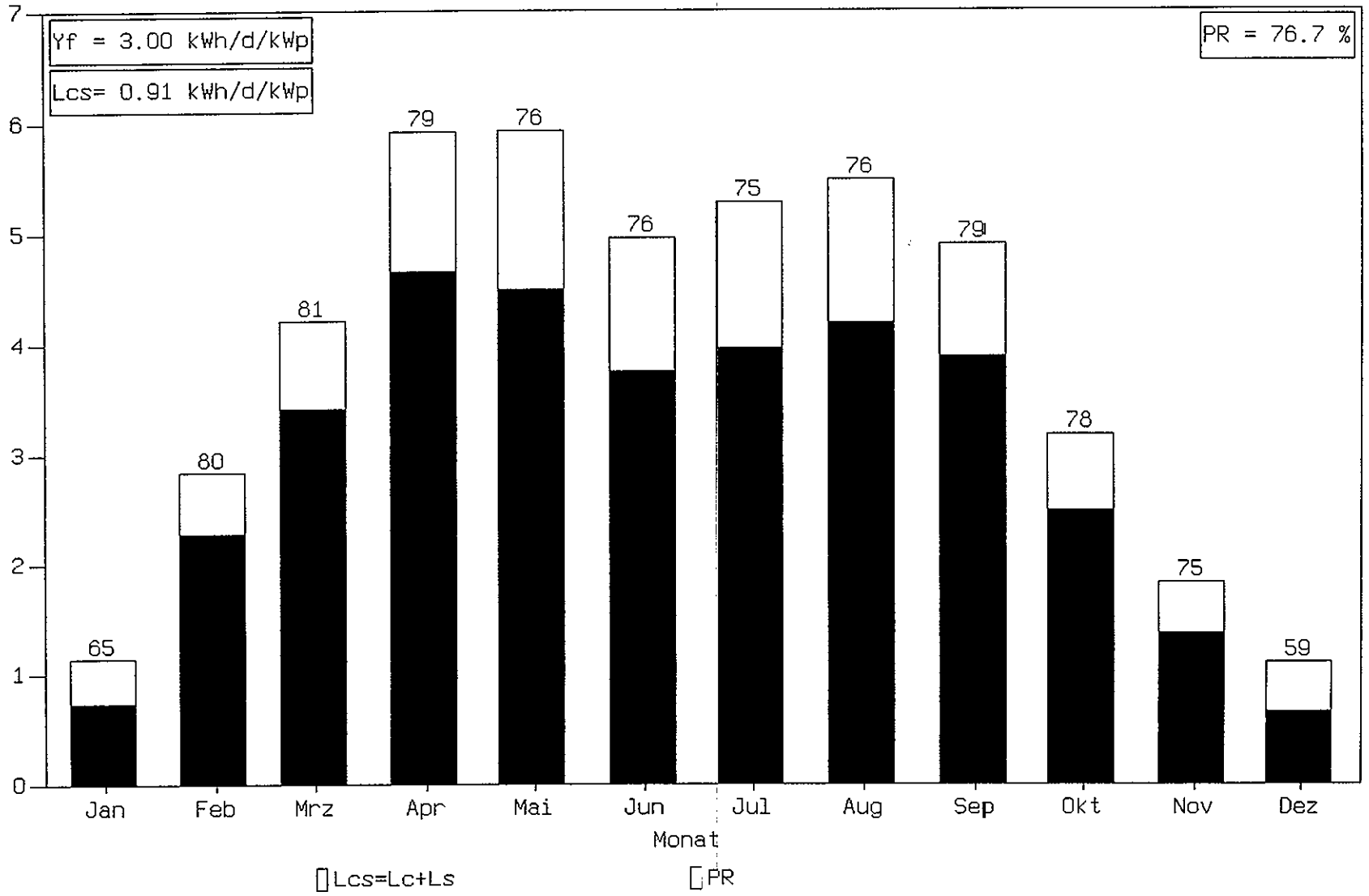
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 6, Burgdorf

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)



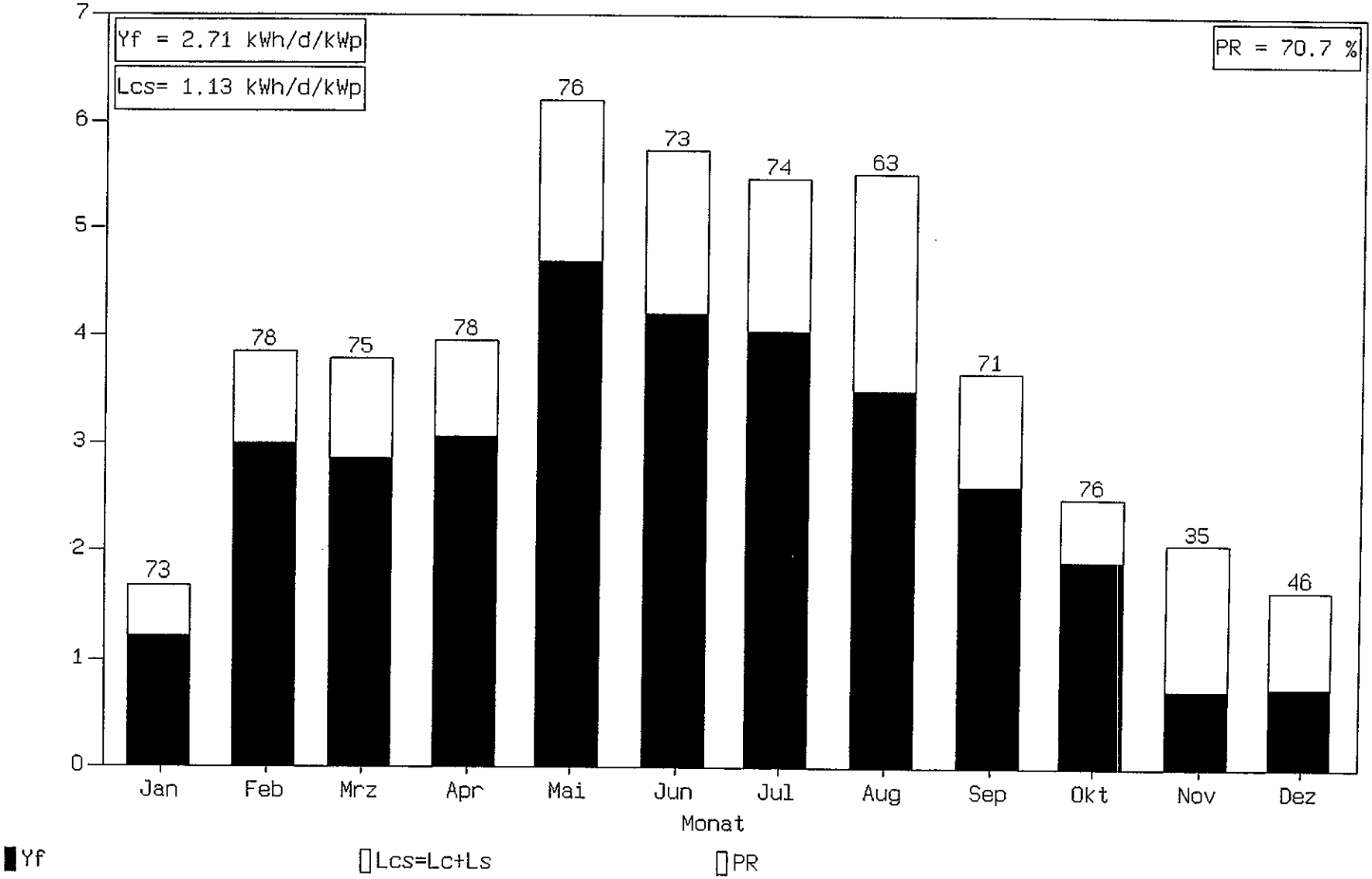
Ingenieurschule Burgdorf

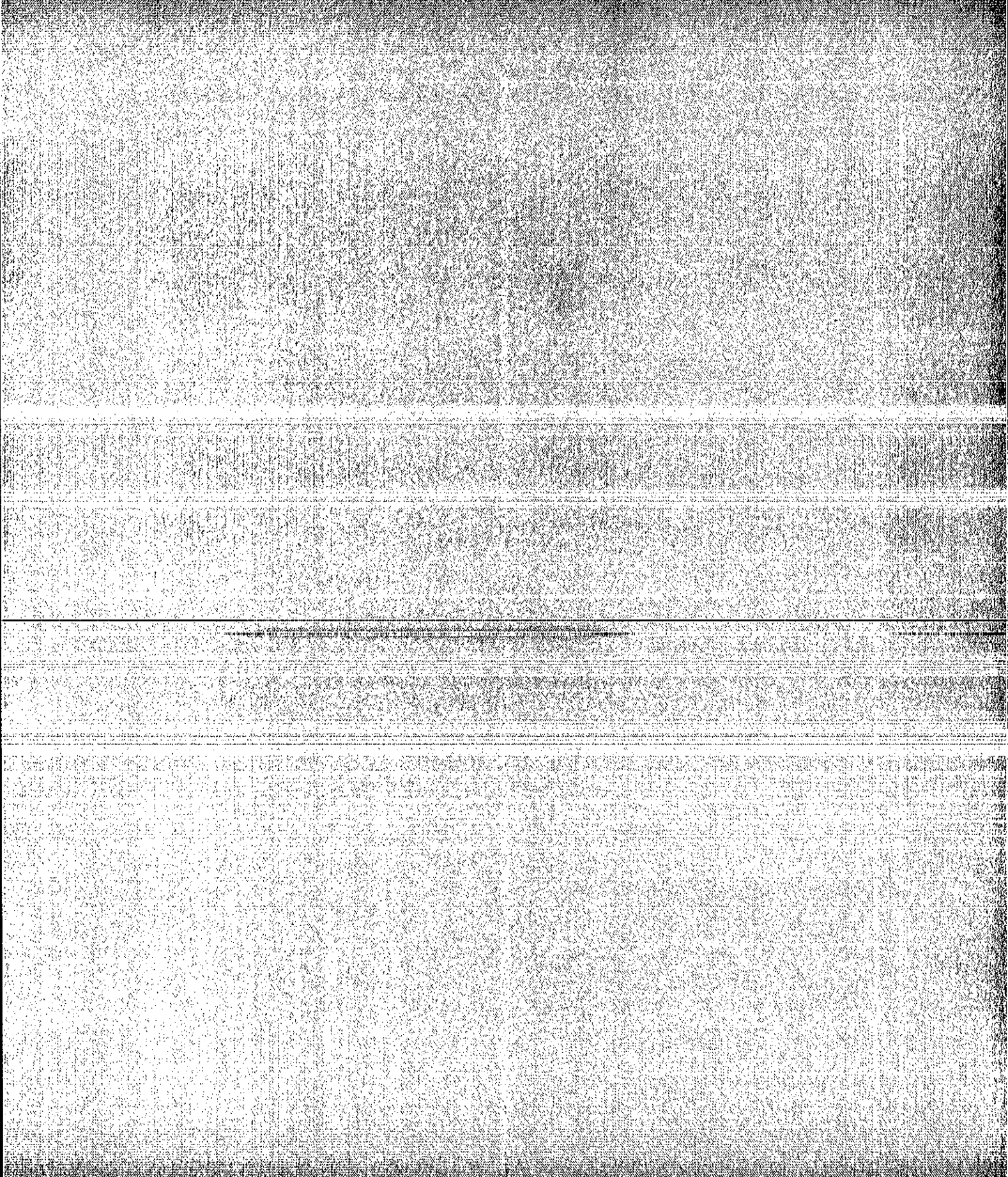
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Lindenfeld 6, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3300Wp)





25 Privathaus 2, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage			
Inbetriebnahme:	01.08.1991		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (60 Stück)		
Feldleistung:	3180 Wp (nominell)	**Neigung:**	45° (Schrägdach)
Bruttofläche:	25,6 m²	**Ausrichtung:**	45° West
Wechselrichter:	Solcon 3300		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung gemessen mit der zentralen Meteomessstelle an der HTA Burgdorf (Pyranometer) und danach die Messdaten mit Hilfe einer eigens entwickelten Software auf die Neigung und Orientierung der Solargeneratorebene umgerechnet
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung



Ingenieurschule Burgdorf

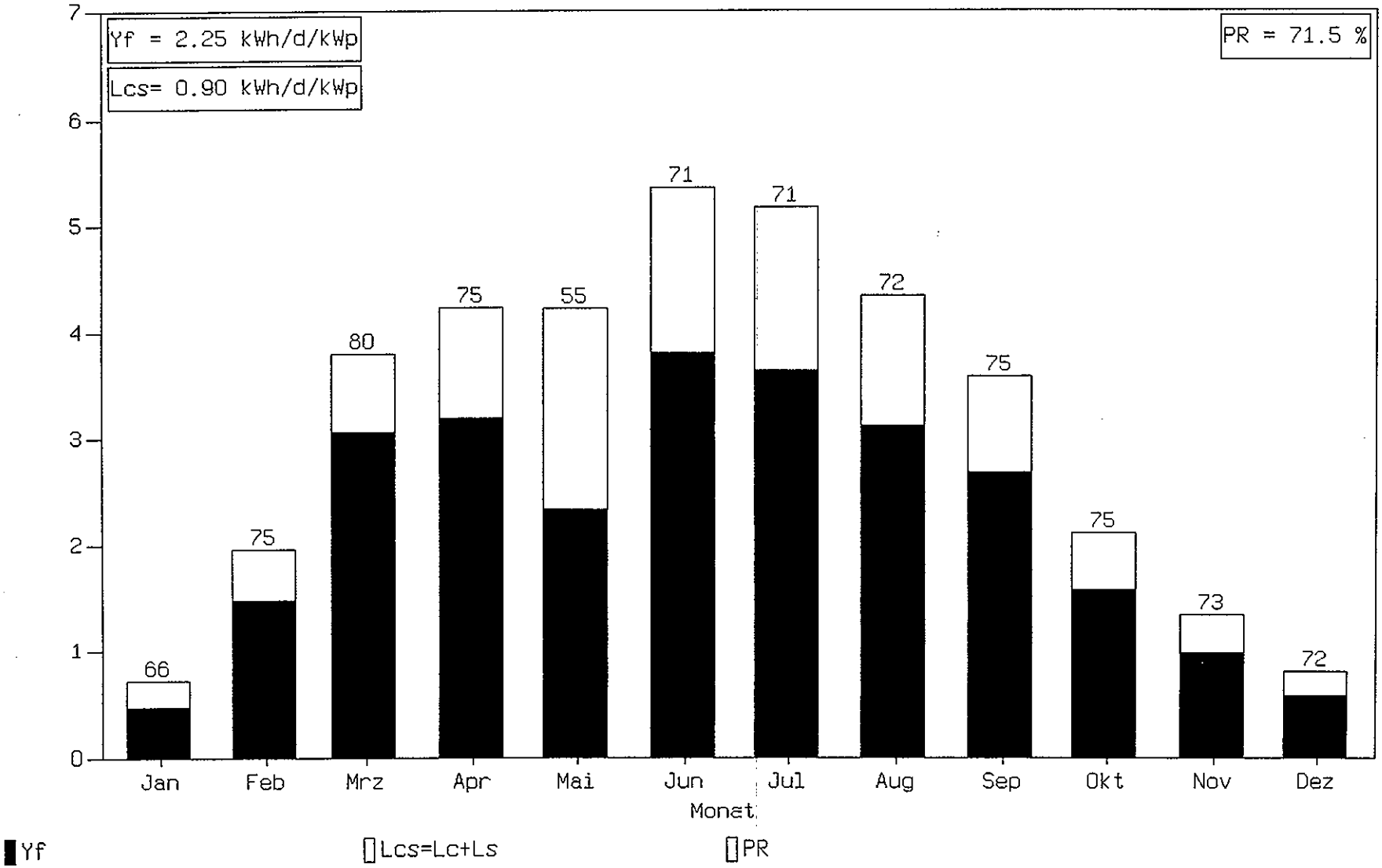
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Privathaus 2, Burgdorf

Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



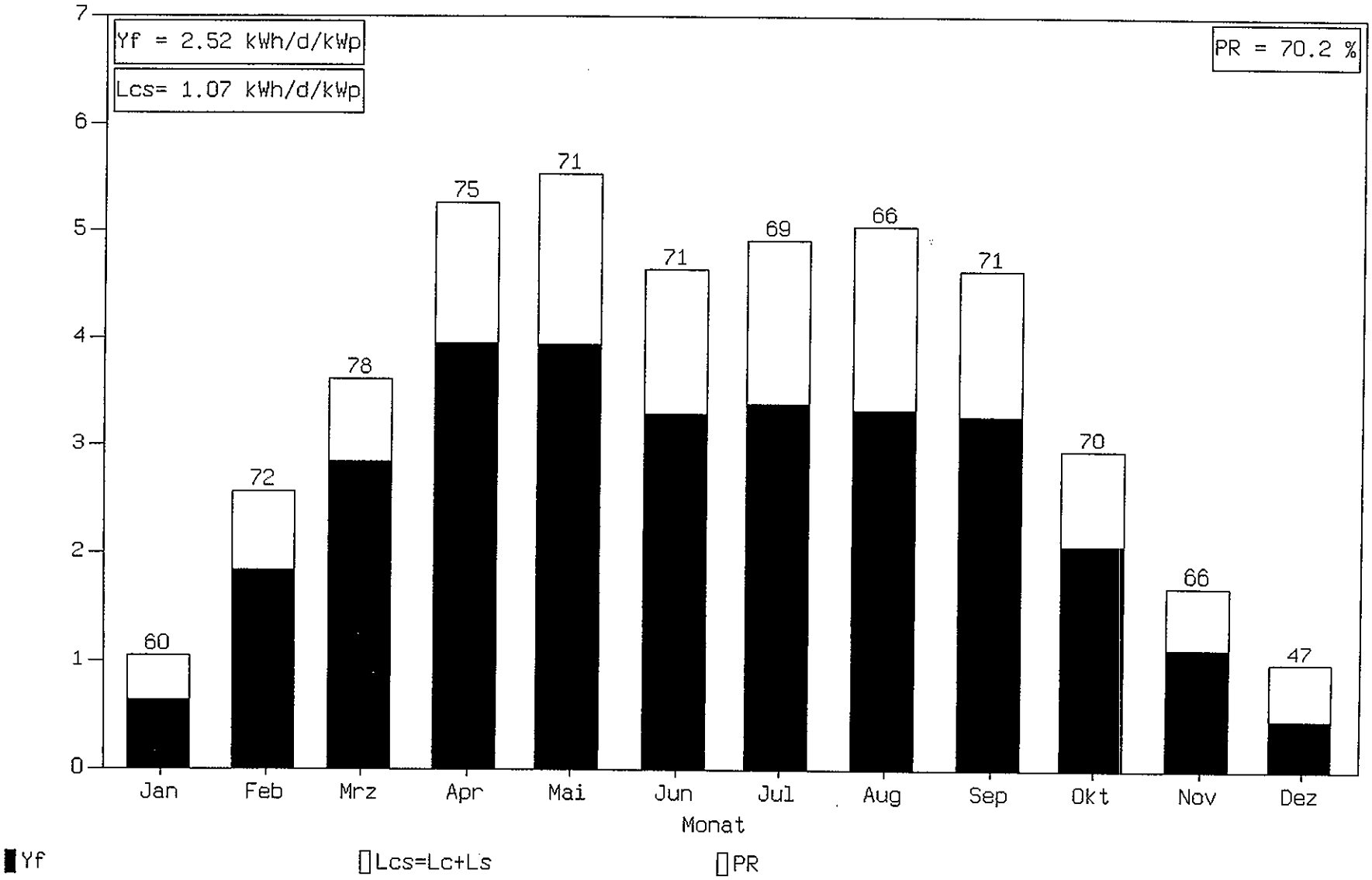
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Privathaus 2, Burgdorf
Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



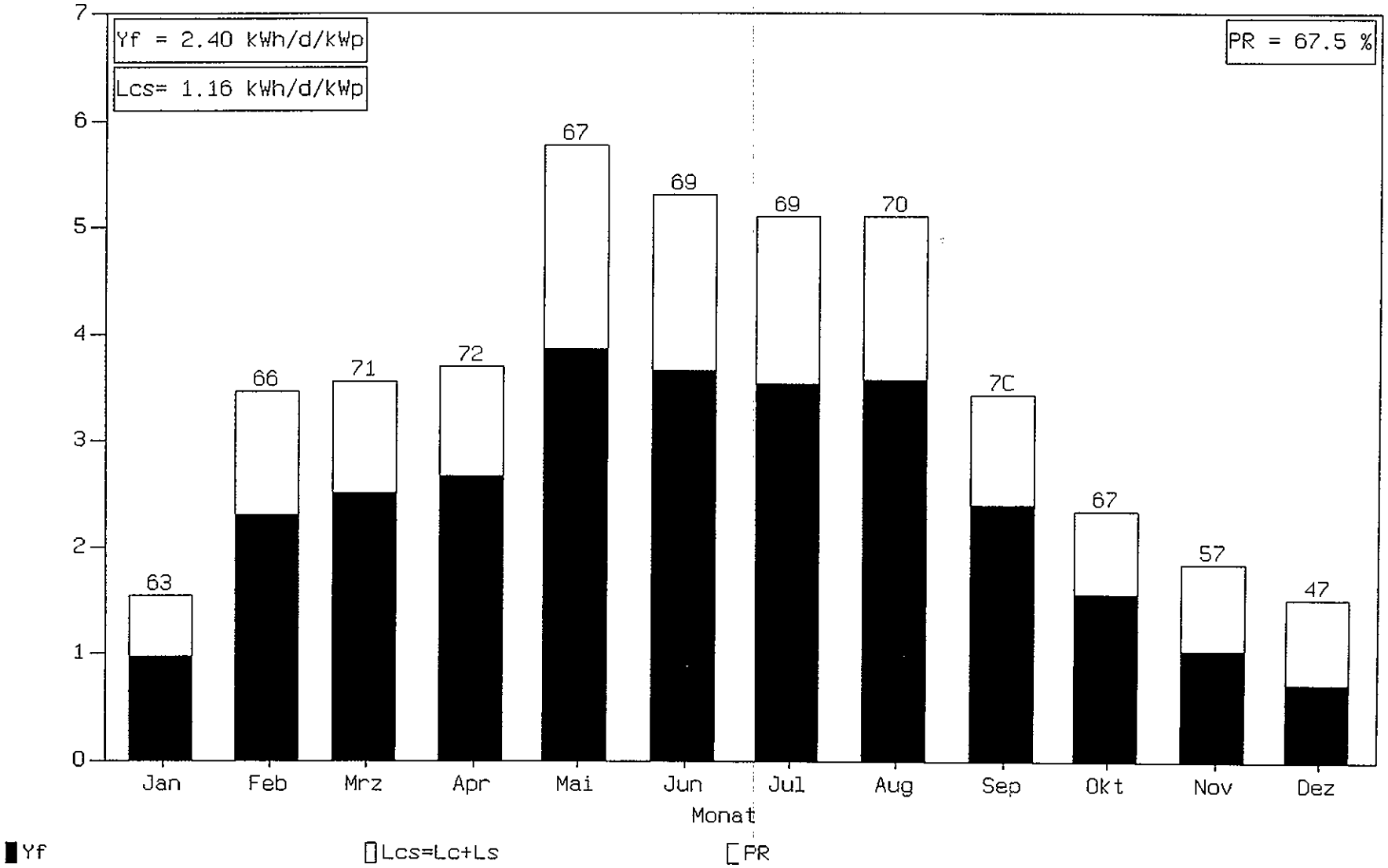
Ingenieurschule Burgdorf

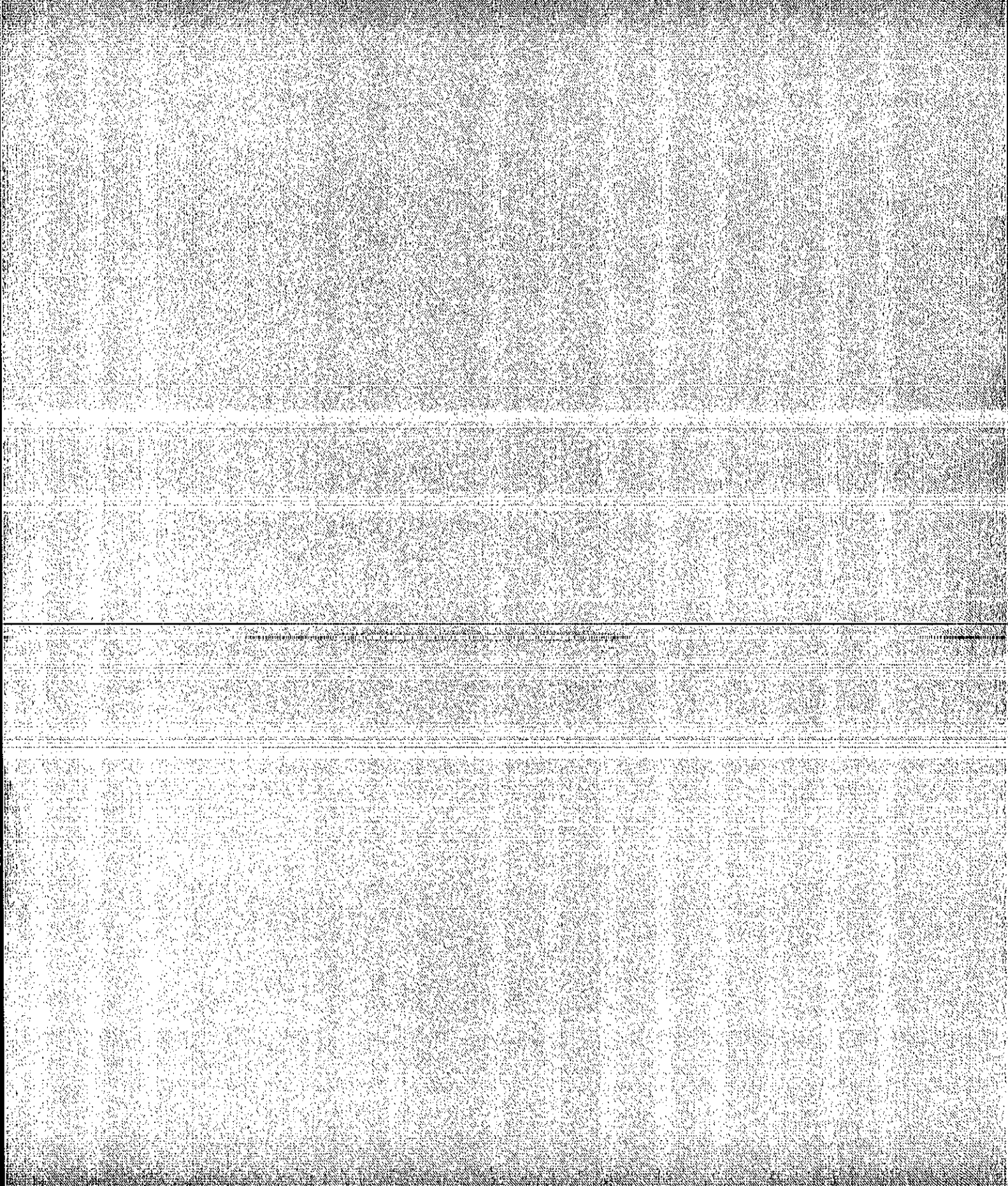
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Privathaus 2, Burgdorf
Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)





26 Privathaus 3, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage			
Inbetriebnahme:	01.11.1991		
Solargenerator:			
Module:	Solarex MSX60 (24 Stück)		
Feldleistung:	1440 Wp (nominell)	**Neigung:**	38° (Dachkante)
Bruttofläche:	13,4 m²	**Ausrichtung:**	30° Ost
Wechselrichter:	PV-WR 1500		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung gemessen mit der zentralen Meteomessstelle an der HTA Burgdorf (Pyranometer) und danach die Messdaten mit Hilfe einer eigens entwickelten Software auf die Neigung und Orientierung der Solargeneratorebene umgerechnet
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung



Ingenieurschule Burgdorf

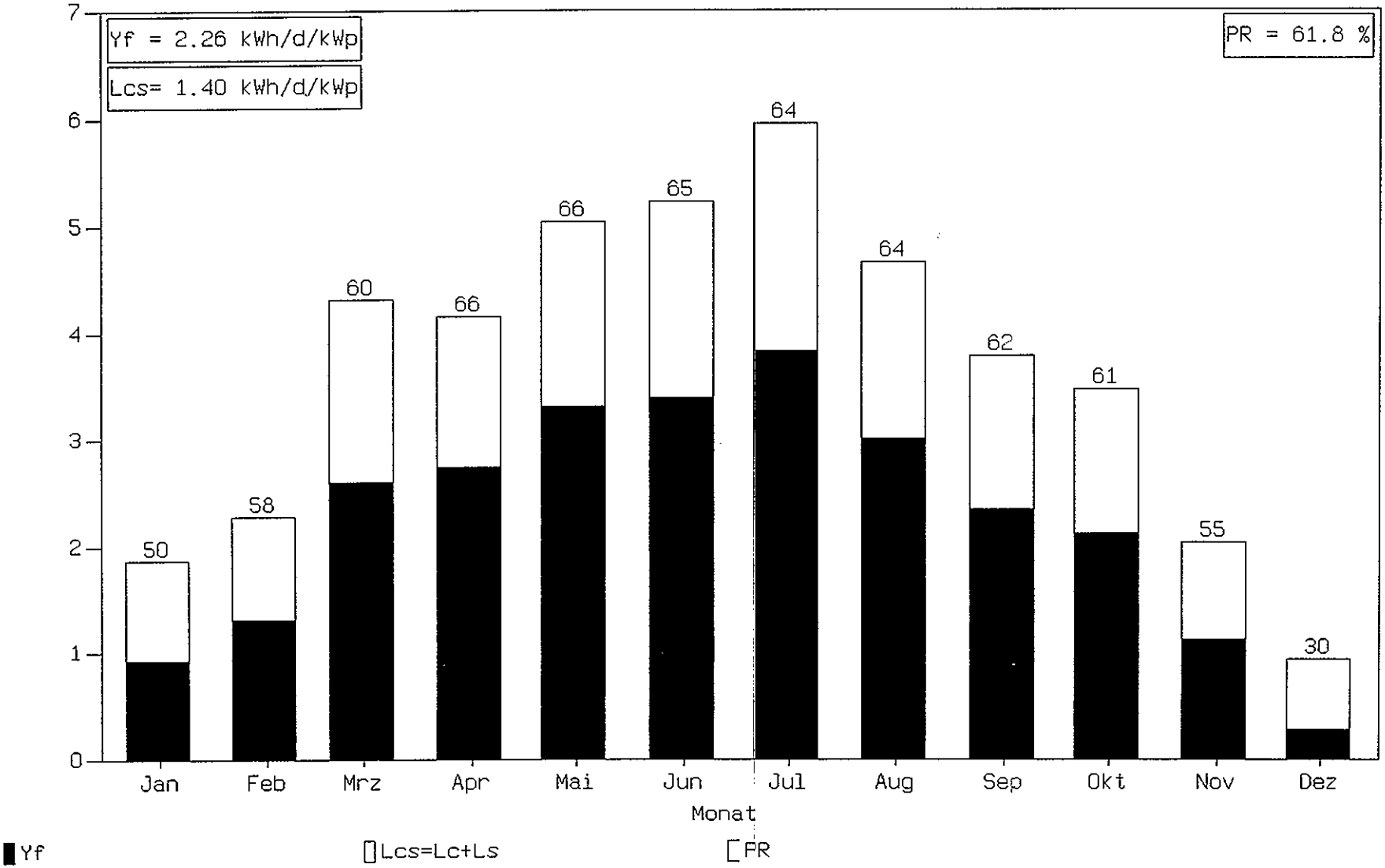
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Privathaus 3, Burgdorf

Jahr: 1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1440Wp)



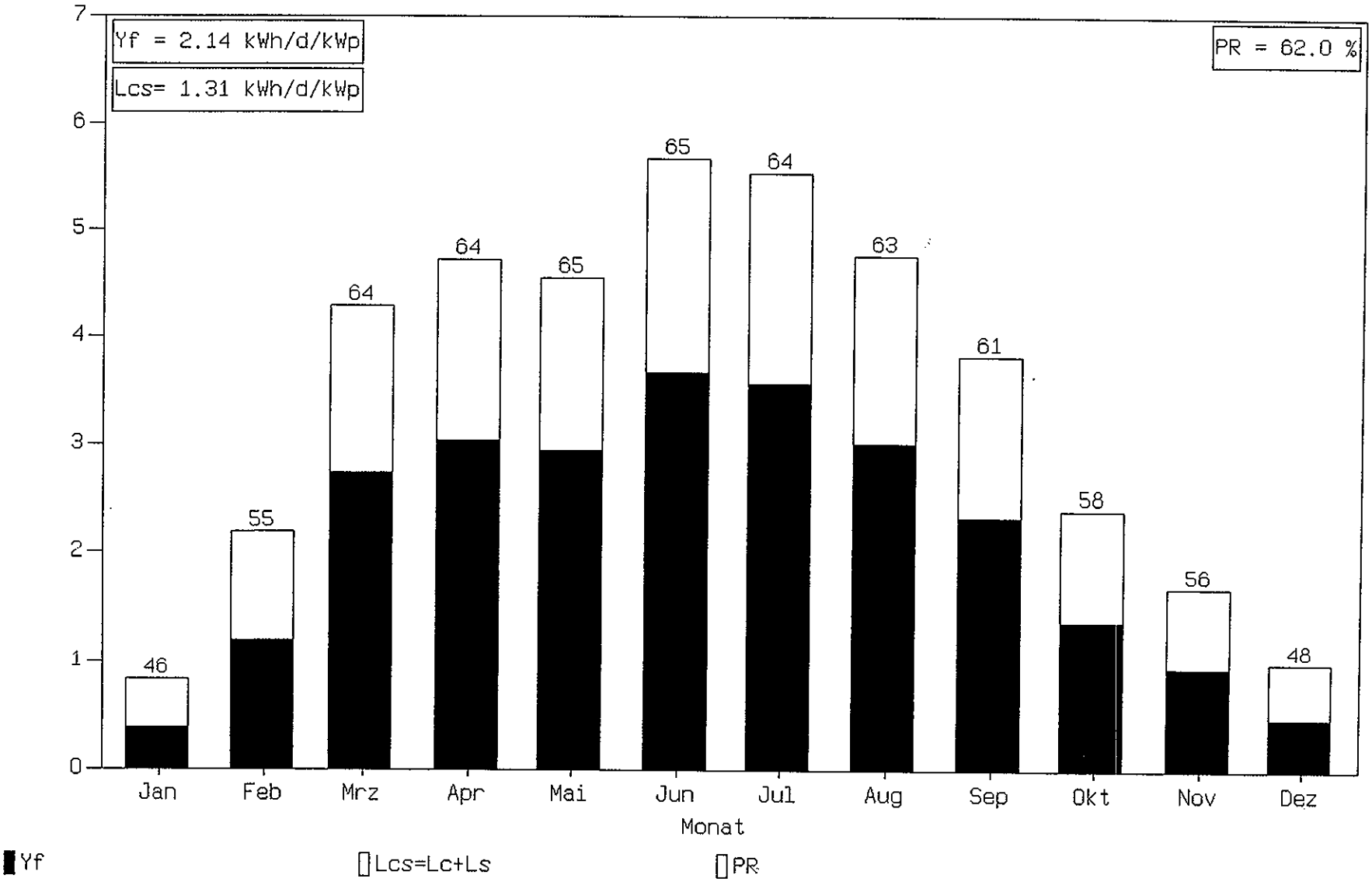
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Privathaus 3, Burgdorf
Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1440Wp)



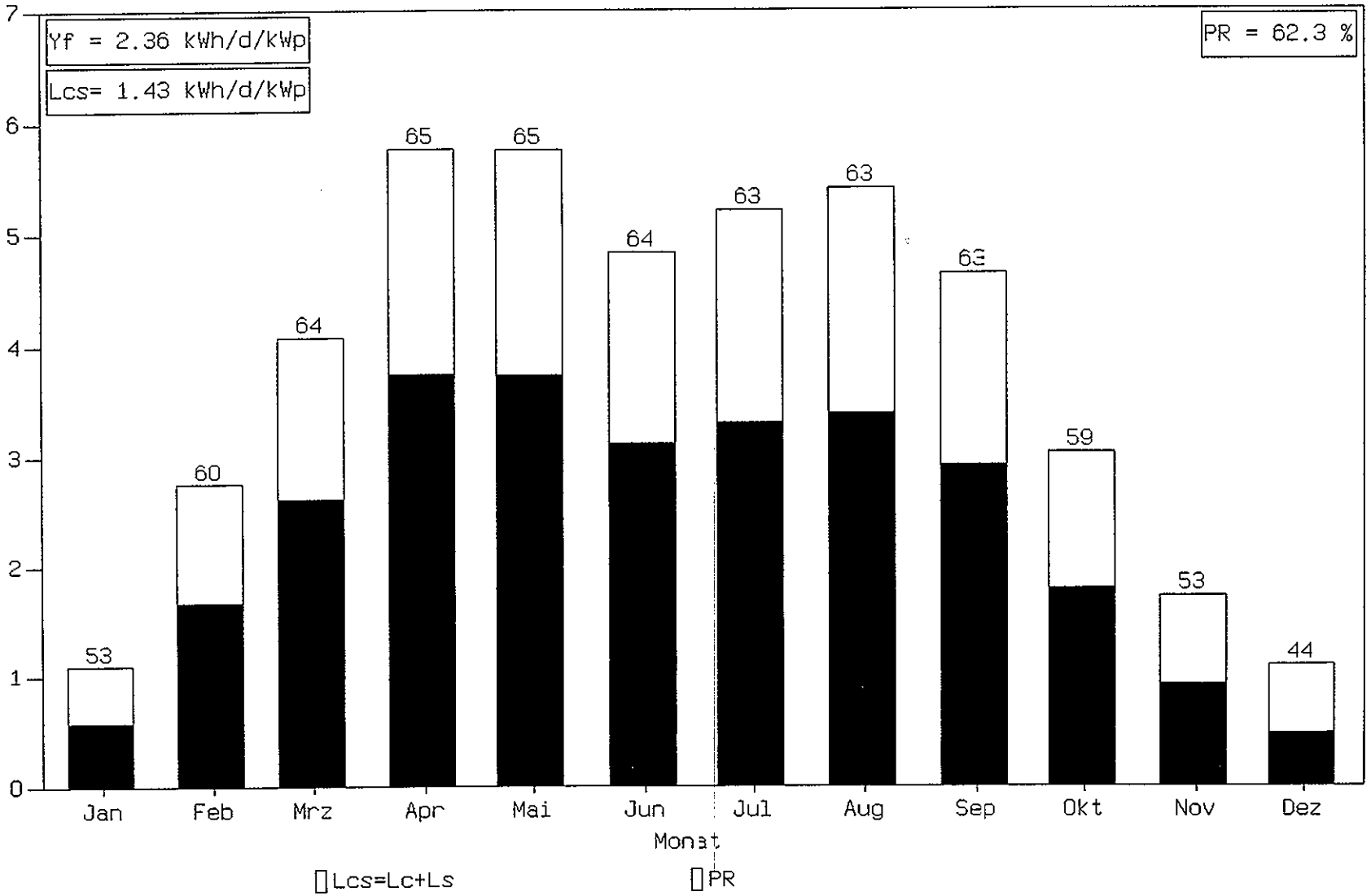
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Privathaus 3, Burgdorf
Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1440Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

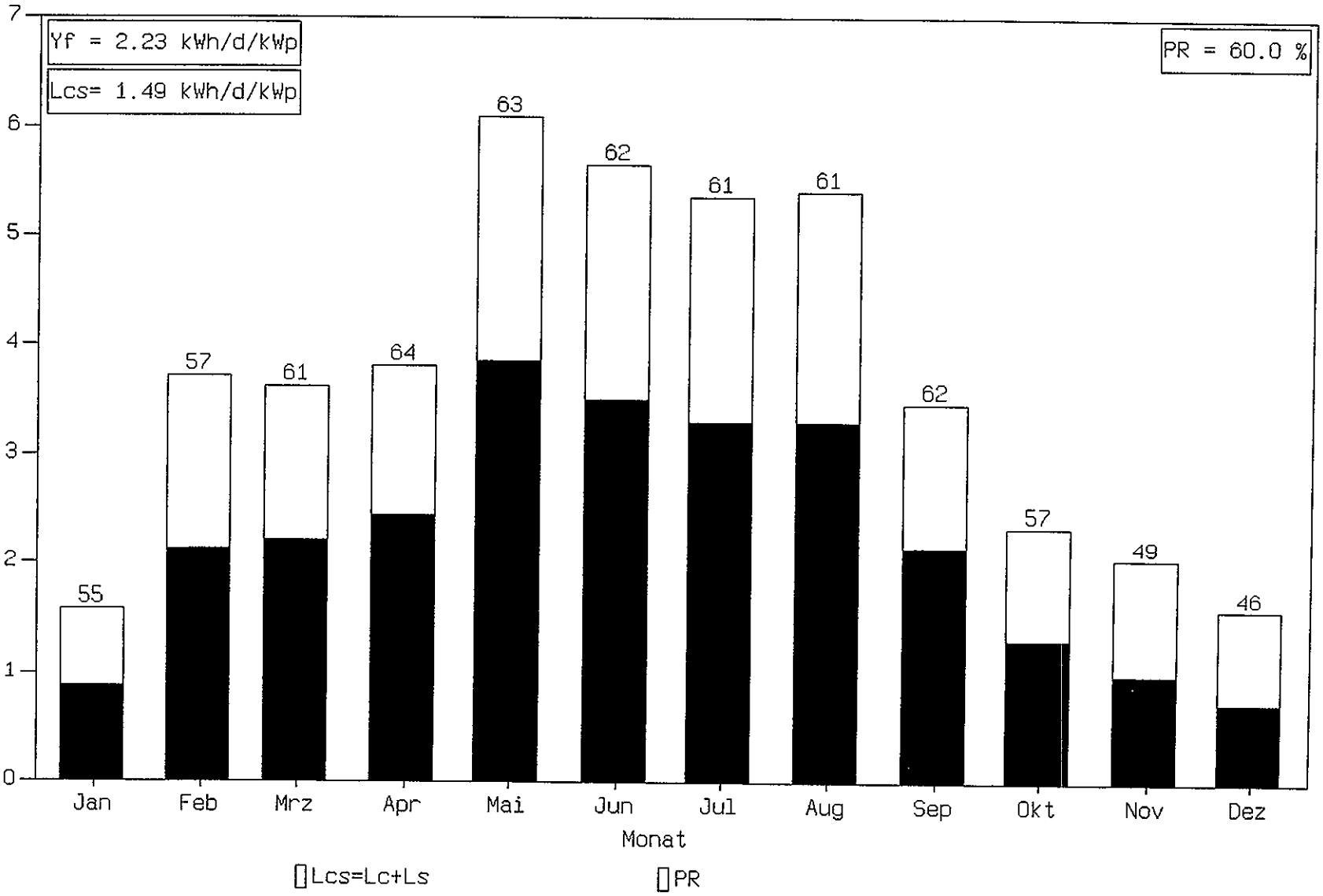
Labor für Photovoltaik

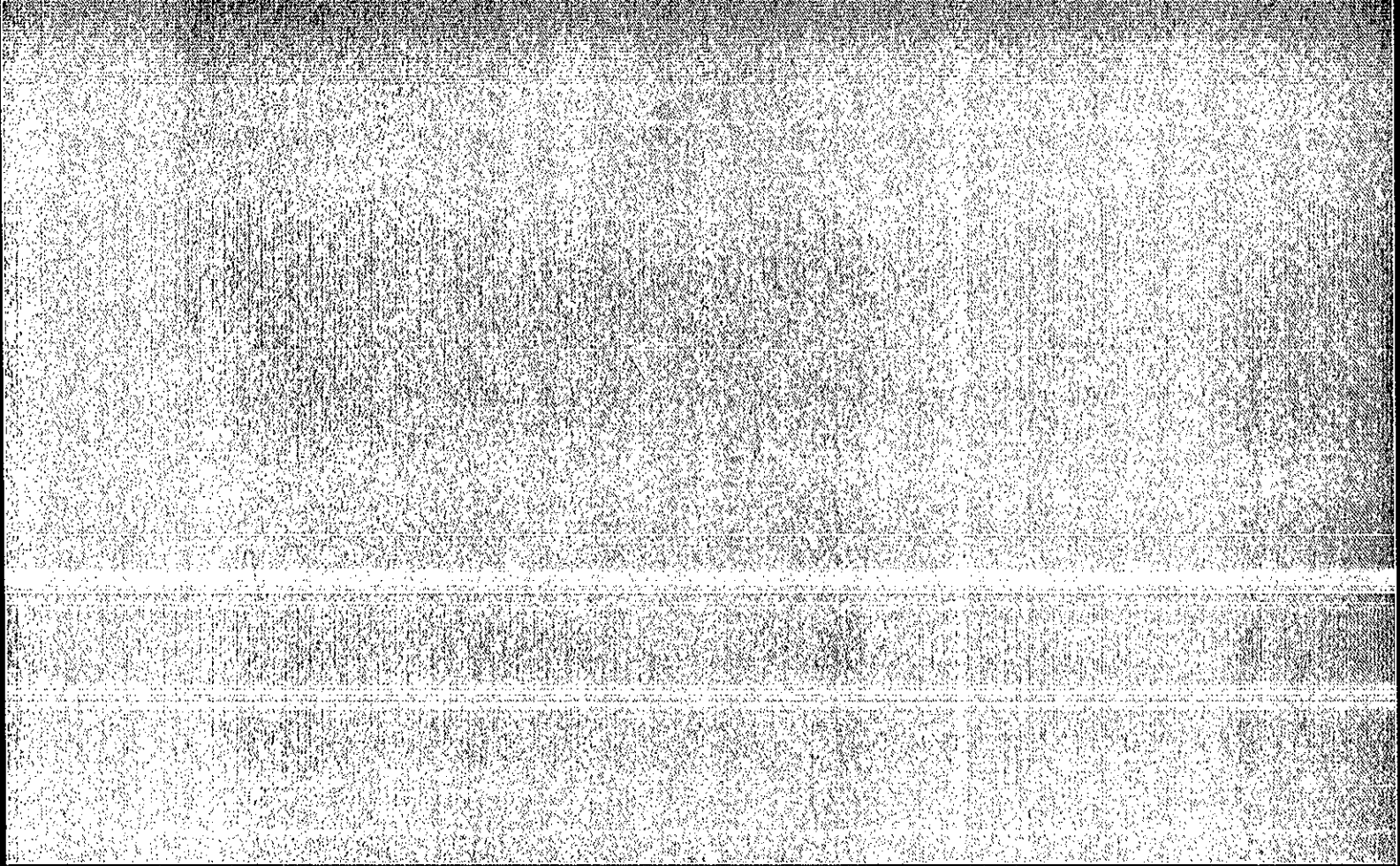
Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Privathaus 3, Burgdorf

Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1440Wp)





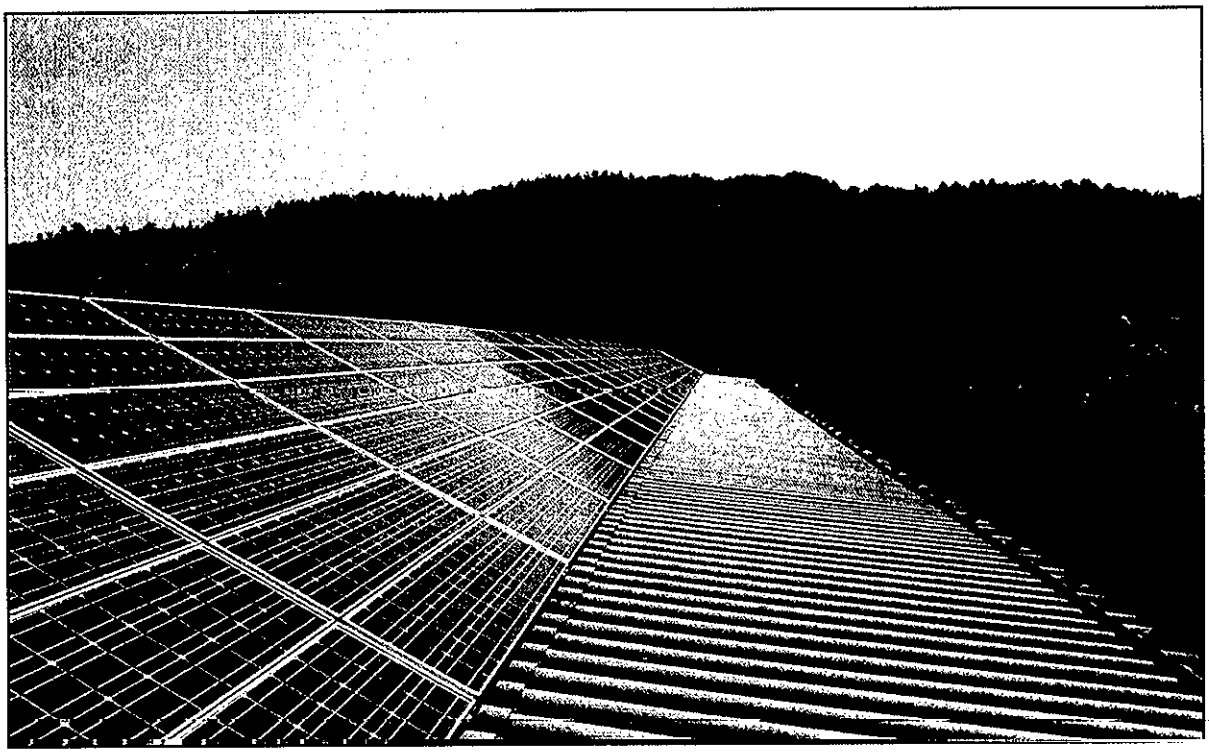


27-36 Schlossmatt 1 -10, Burgdorf

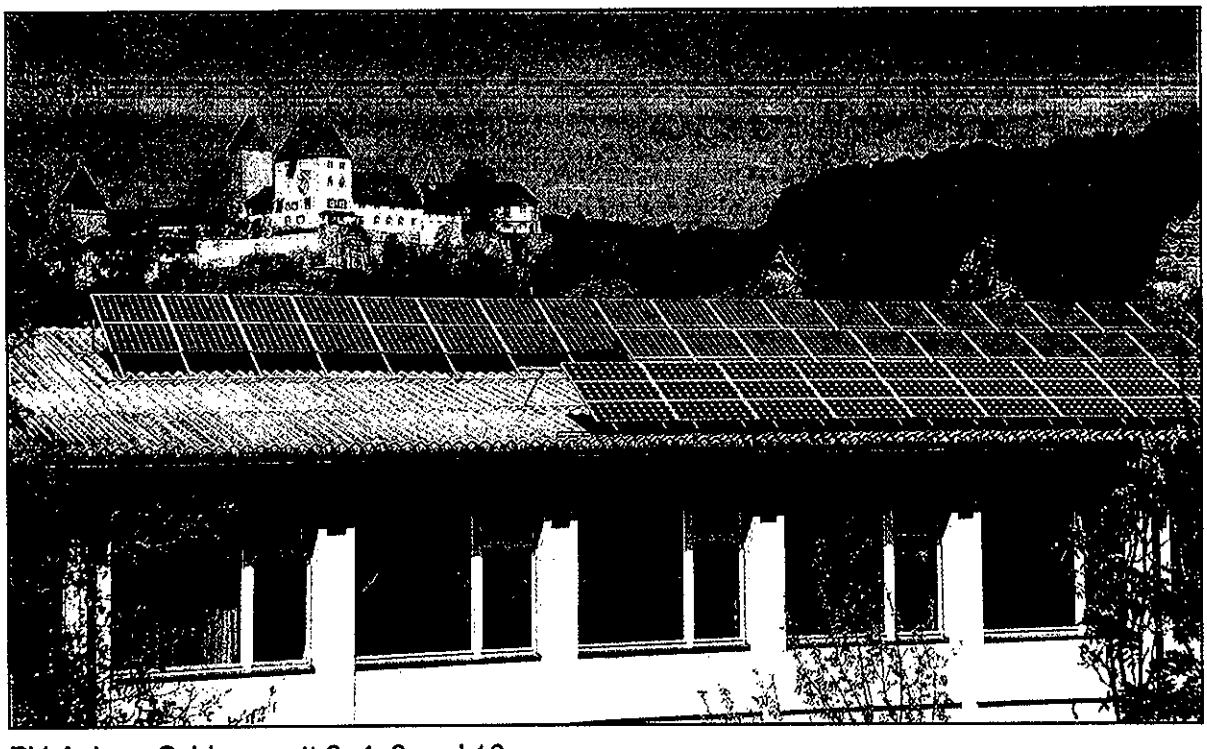
Technische Angaben zur Anlage			
Schlossmatt 1 und 2			
Inbetriebnahme:	26.04.1994		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (60 Stück)		
Feldleistung:	3180 Wp (nominell)	**Neigung:**	30° (Schrägdachaufständerung)
Bruttofläche:	25,6 m²	**Ausrichtung:**	7° Ost
Wechselrichter:	ASP TopClass 4000/6 Grid II		
Schlossmatt 3 und 4			
Inbetriebnahme:	31.05.1994		
Solargenerator:			
Module:	Kyocera LA721G102 (30 Stück)		
Feldleistung:	3060 Wp (nominell)	**Neigung:**	30° (Schrägdachaufständerung)
Bruttofläche:	25,6 m²	**Ausrichtung:**	7° Ost
Wechselrichter:	ASP TopClass 2500/6 Grid II und Solcon 3400HE		
Schlossmatt 5			
Inbetriebnahme:	30.06.1994		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (60 Stück)		
Feldleistung:	3180 Wp (nominell)	**Neigung:**	30° (Schrägdachaufständerung)
Bruttofläche:	25,6 m²	**Ausrichtung:**	7° Ost
Wechselrichter:	ASP TopClass 4000/6 Grid II		
Schlossmatt 6, 7 und 8			
Inbetriebnahme:	17.03.1995		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (60 Stück)		
Feldleistung:	3180 Wp (nominell)	**Neigung:**	30° (Schrägdachaufständerung)
Bruttofläche:	25,6 m²	**Ausrichtung:**	7° Ost
Wechselrichter:	SolarMaxS		
Schlossmatt 9			
Inbetriebnahme:	30.06.1995		
Solargenerator:			
Module:	Kyocera LA721G108 (30 Stück)		
Feldleistung:	3240 Wp (nominell)	**Neigung:**	30° (Schrägdachaufständerung)
Bruttofläche:	25,6 m²	**Ausrichtung:**	7° Ost
Wechselrichter:	SolarMaxS		
Schlossmatt 10			
Inbetriebnahme:	30.04.1997		
Solargenerator:			
Module:	BP585 (48 Stück)		
Feldleistung:	4080 Wp (nominell)	**Neigung:**	30° (Schrägdachaufständerung)
Bruttofläche:	30,2 m²	**Ausrichtung:**	7° Ost
Wechselrichter:	ASP TopClass 4000/6 Grid III		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung gemessen mit der zentralen Meteomessstelle an der HTA Burgdorf (Pyranometer) und danach die Messdaten mit Hilfe einer eigens entwickelten Software auf die Neigung und Orientierung der Solargeneratorebene umgerechnet
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung



PV-Anlage Schlossmatt 1, 2, 5, 6, 7 und 8



PV-Anlage Schlossmatt 3, 4, 9 und 10

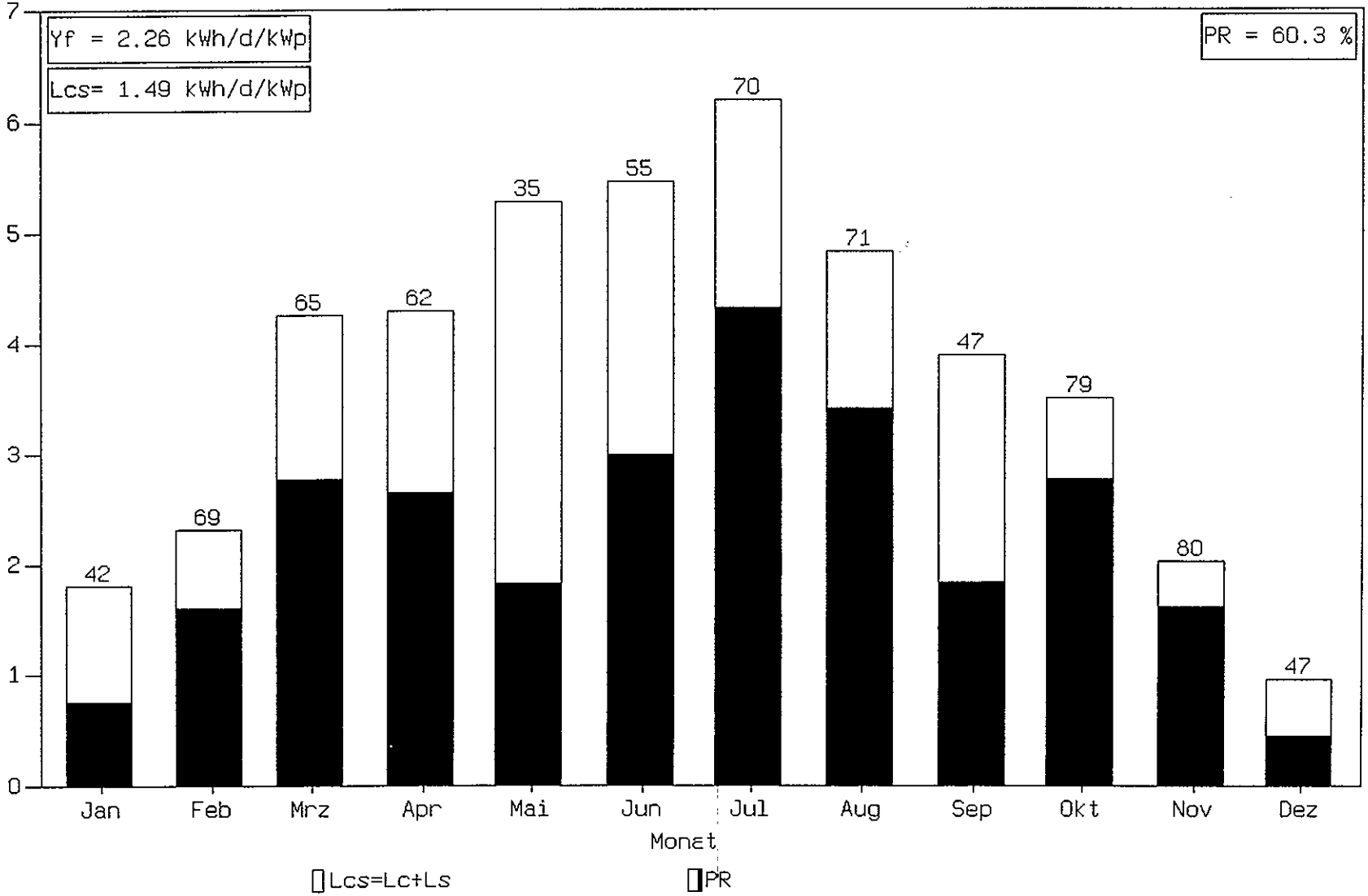
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 1, Burgdorf Jahr: 1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



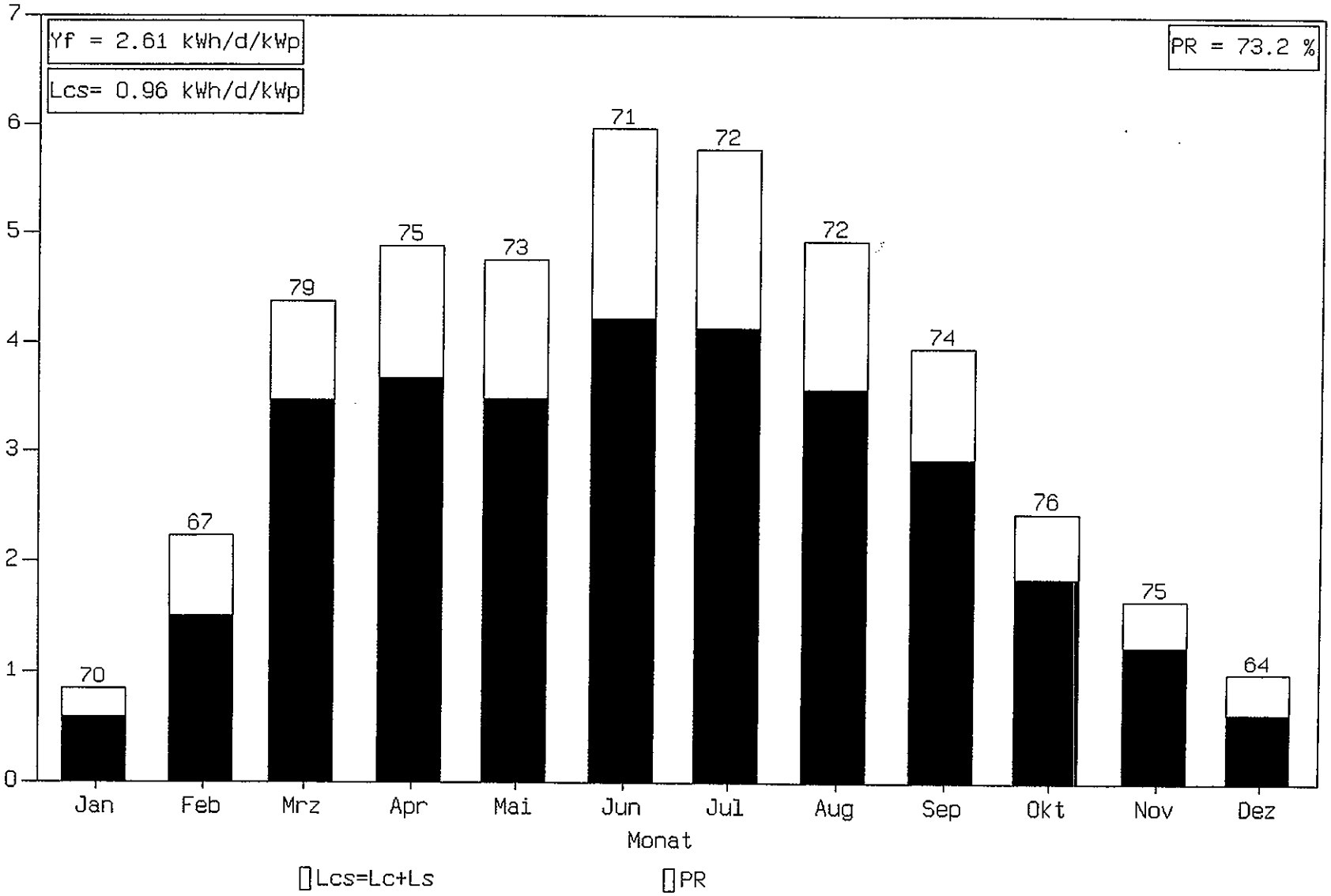
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 1, Burgdorf Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



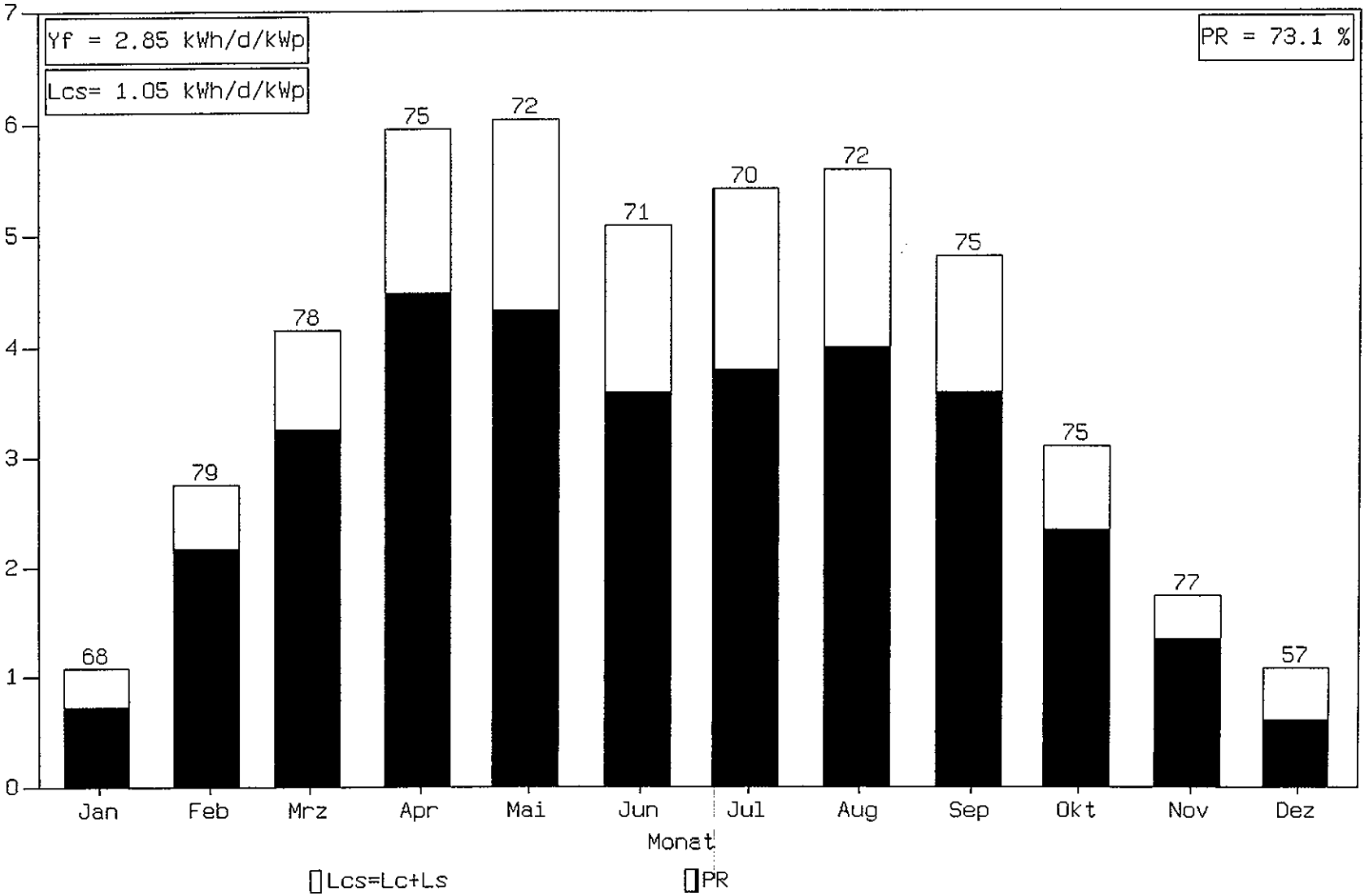
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 1, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



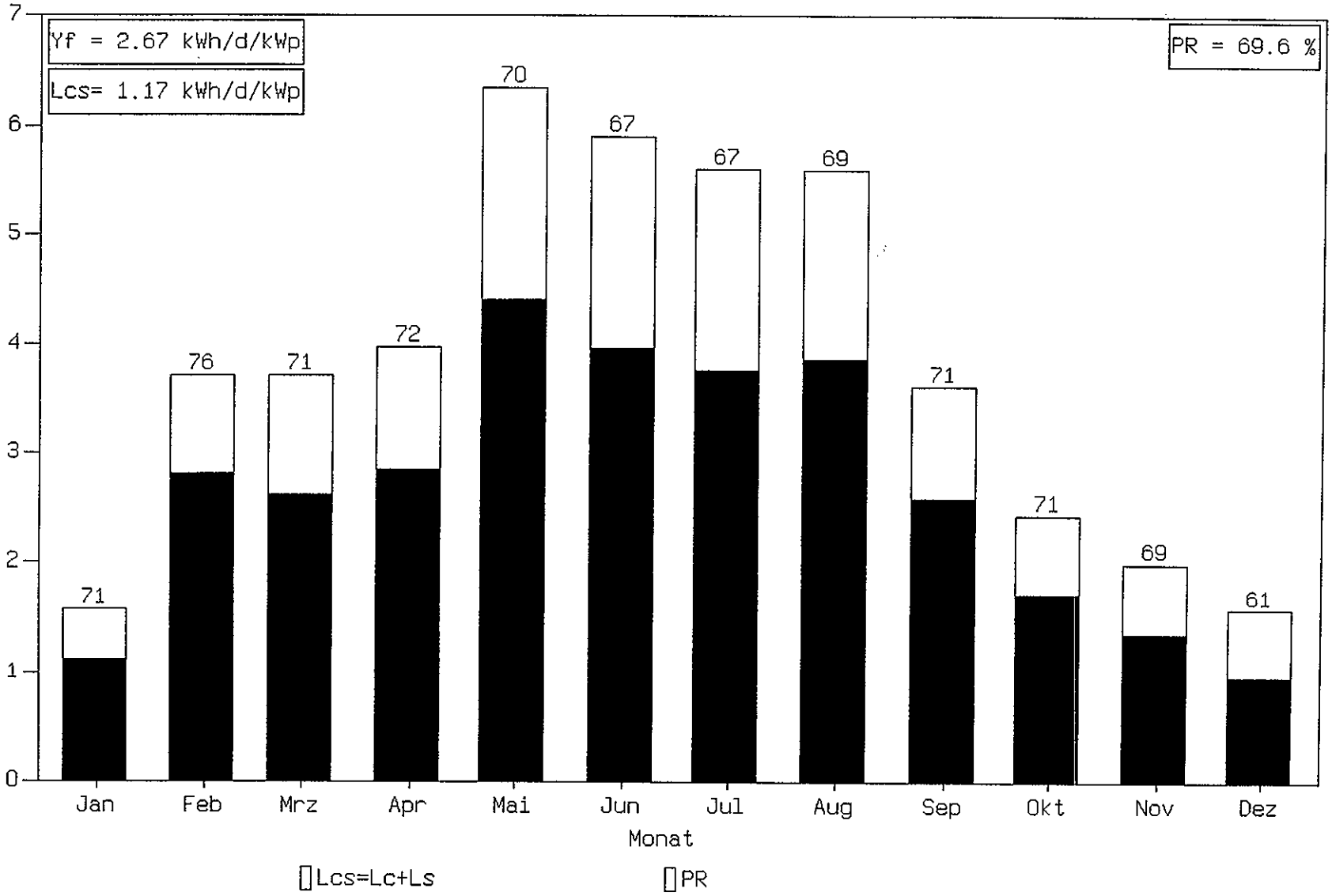
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 1, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

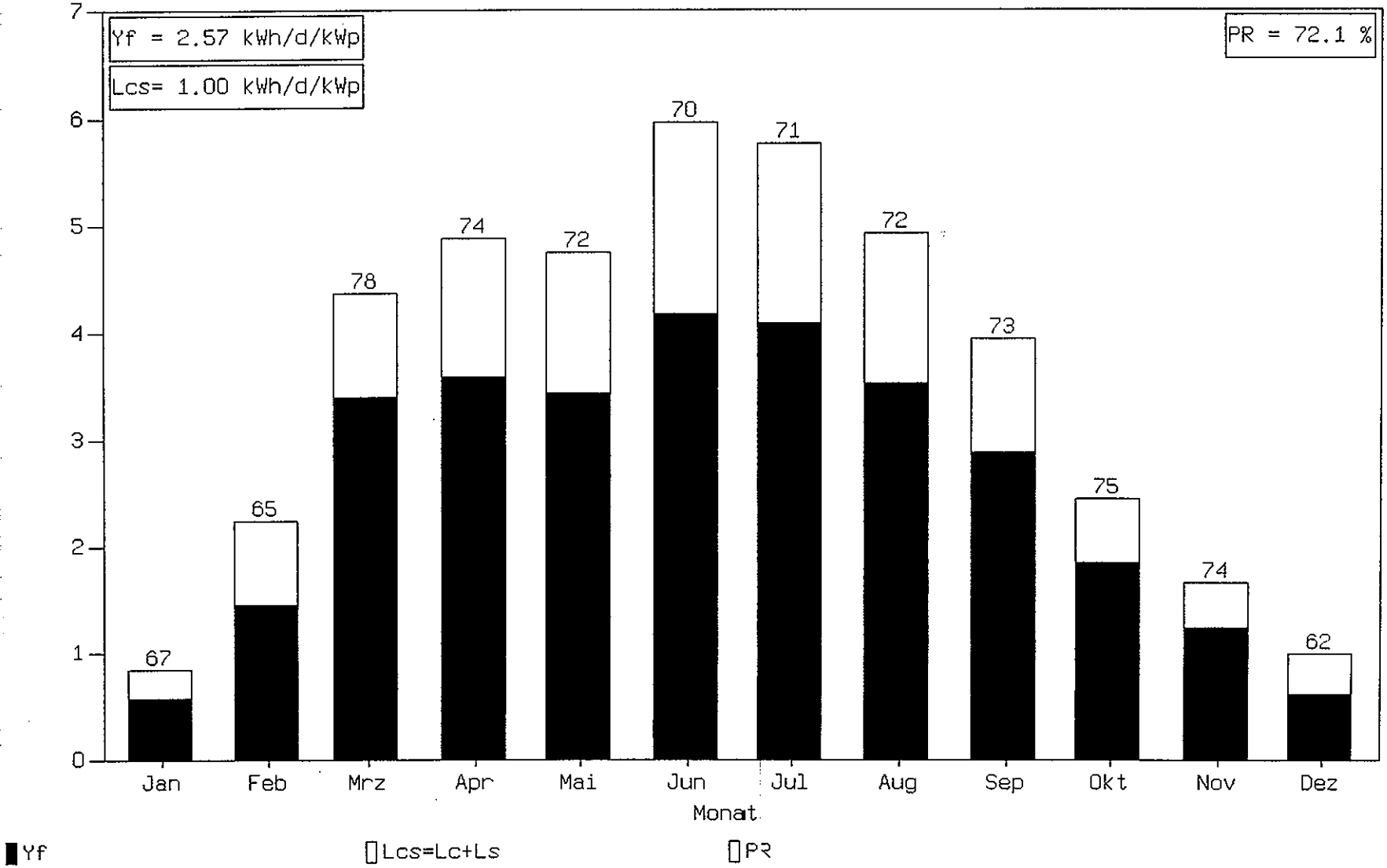
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 2, Burgdorf

Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



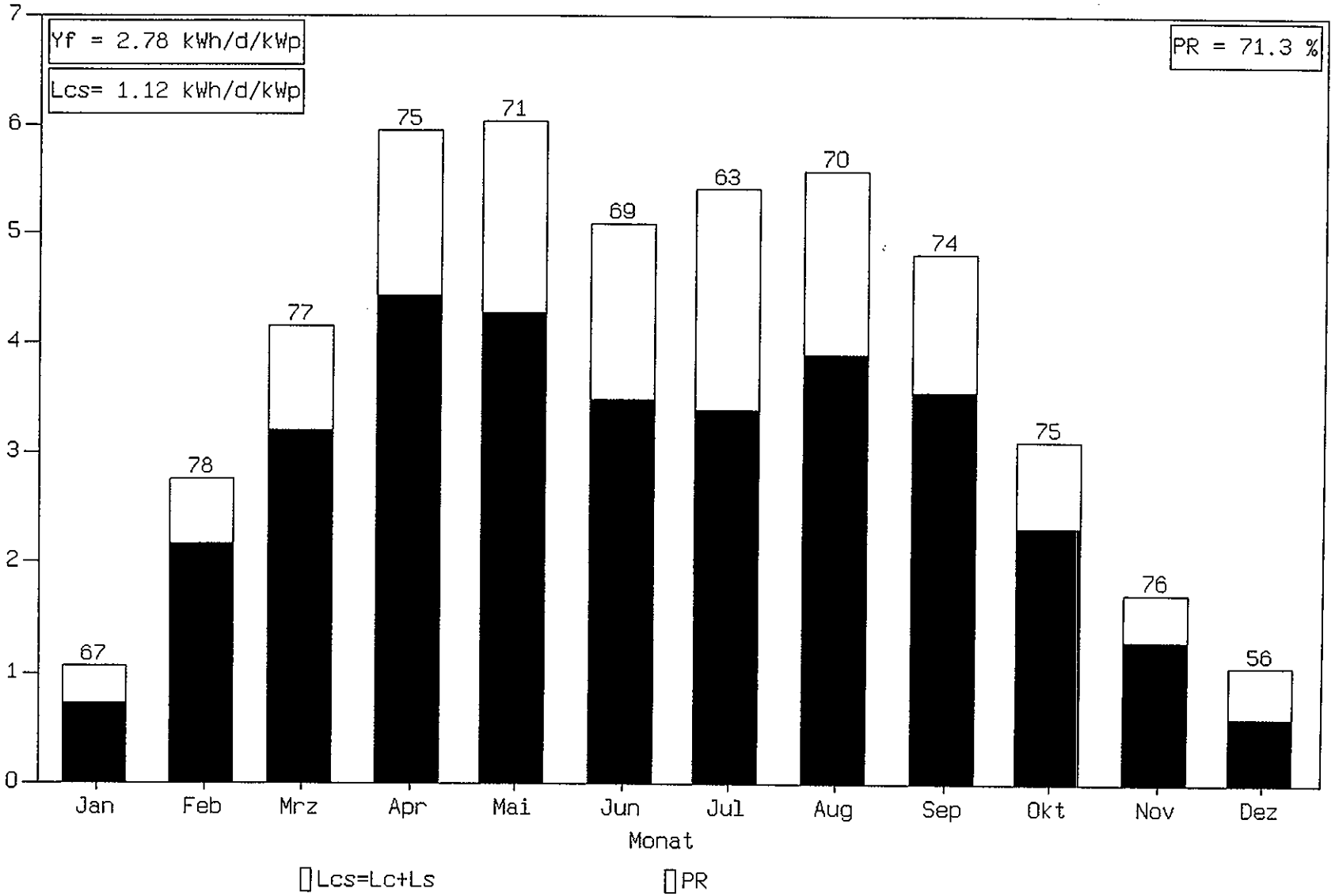
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 2, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

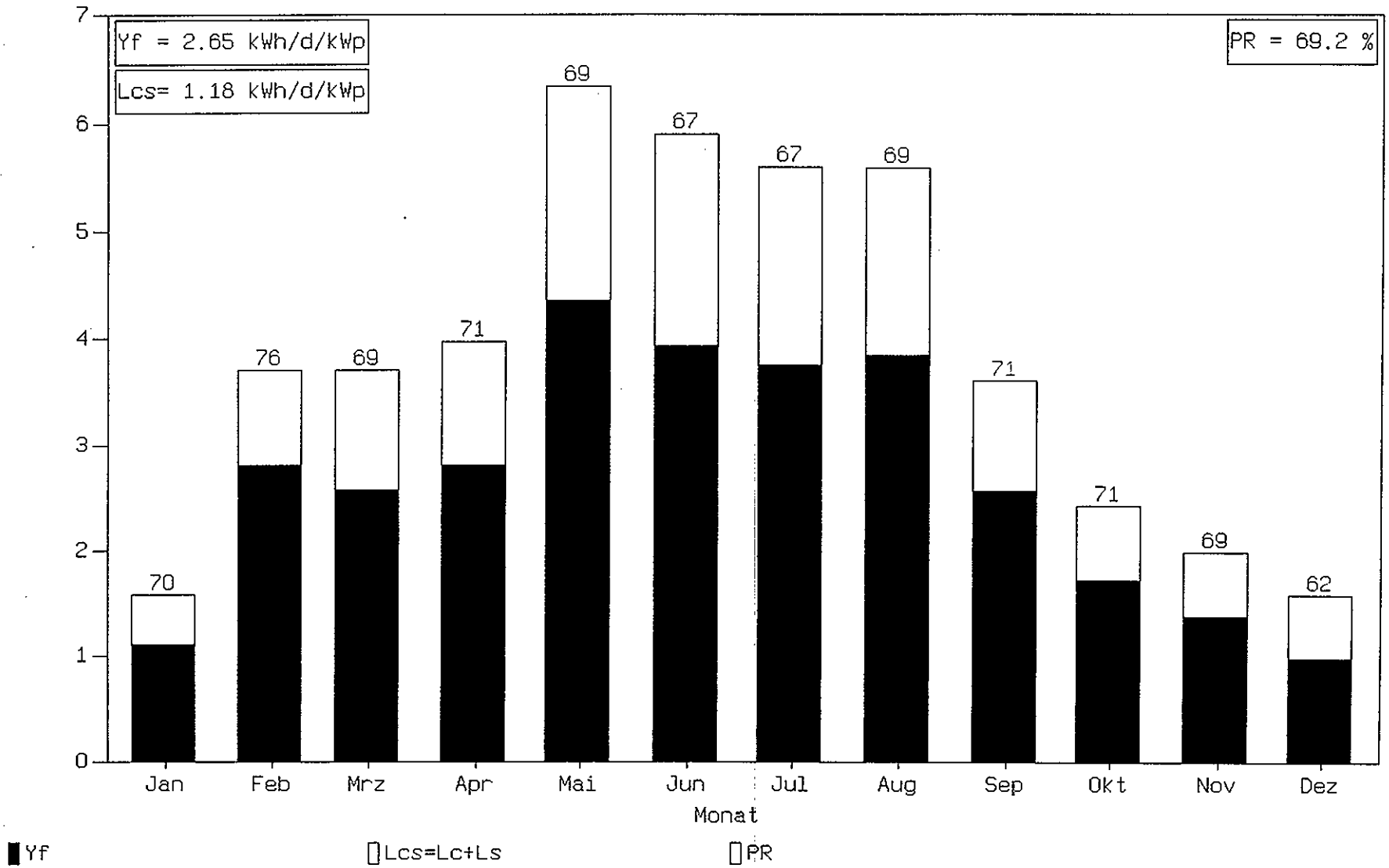
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 2, Burgdorf

Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



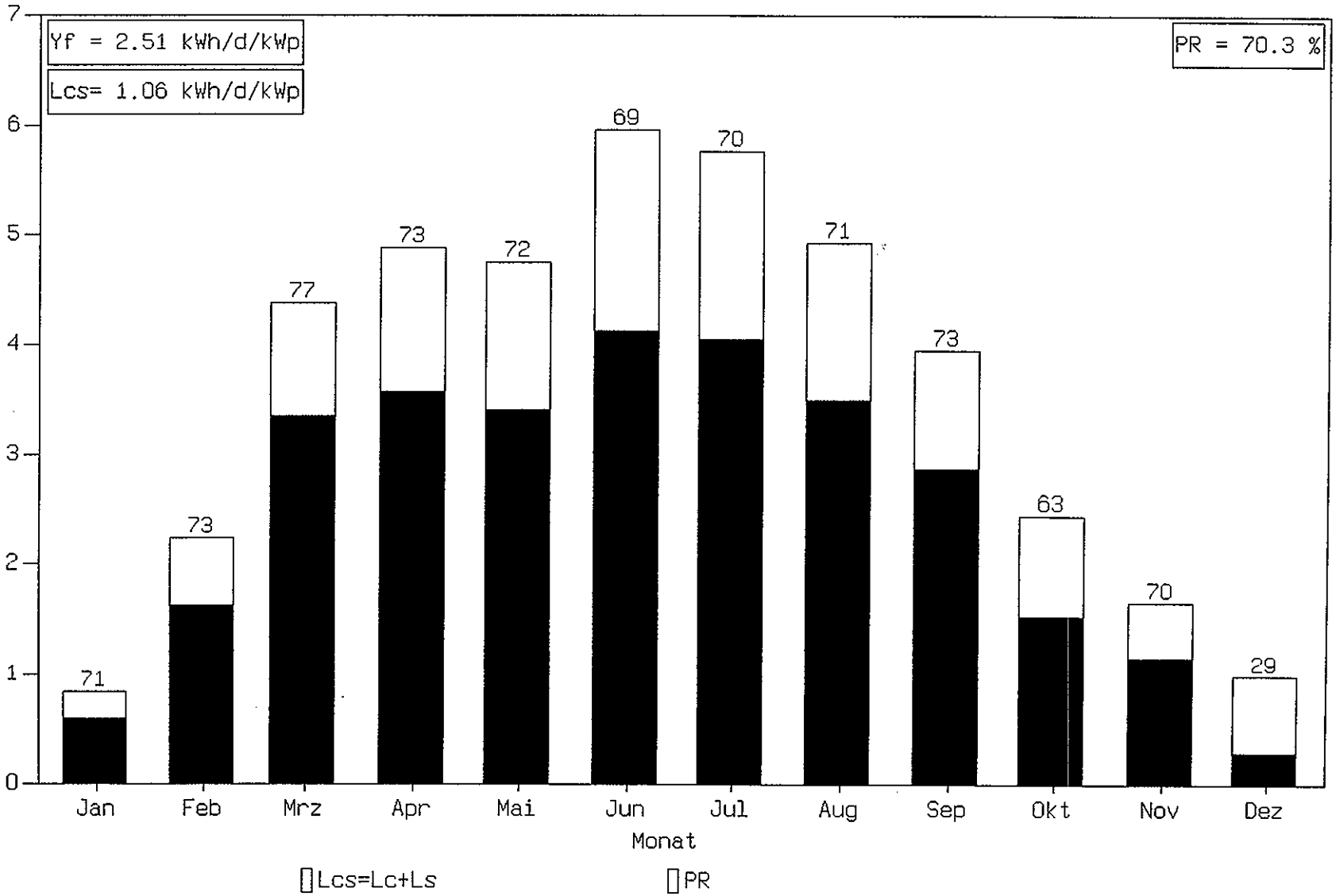
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 3, Burgdorf Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



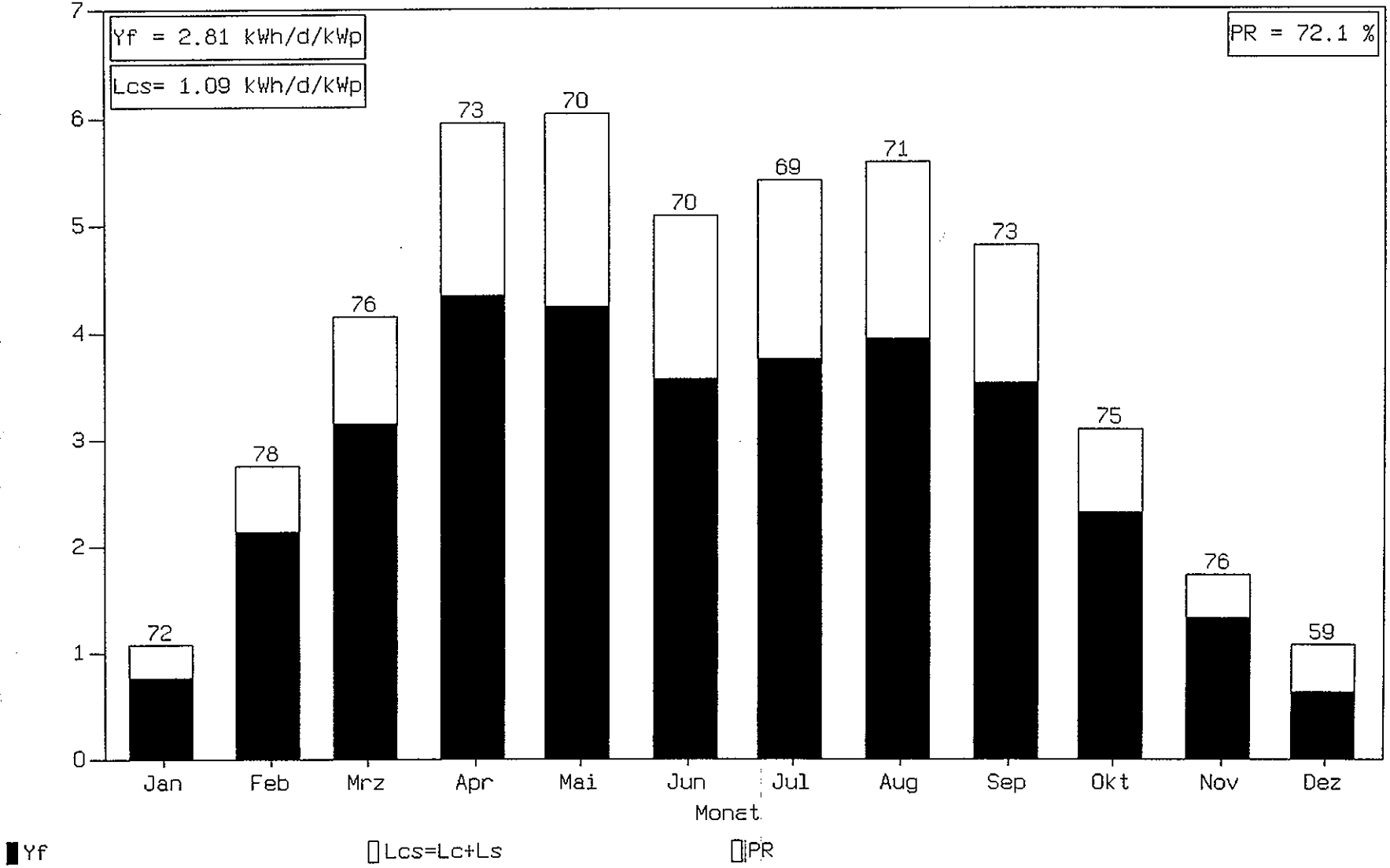
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 3, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



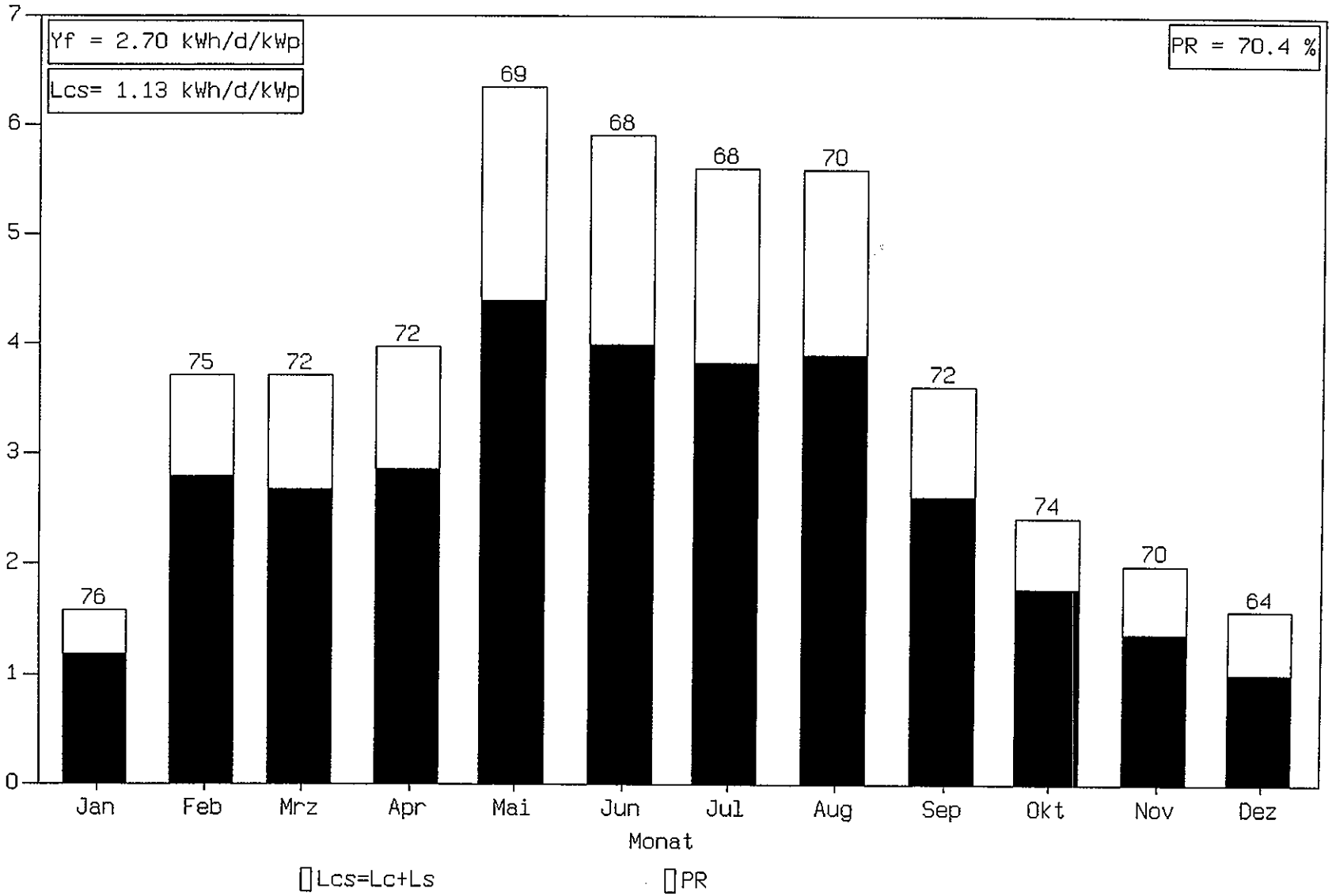
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 3, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



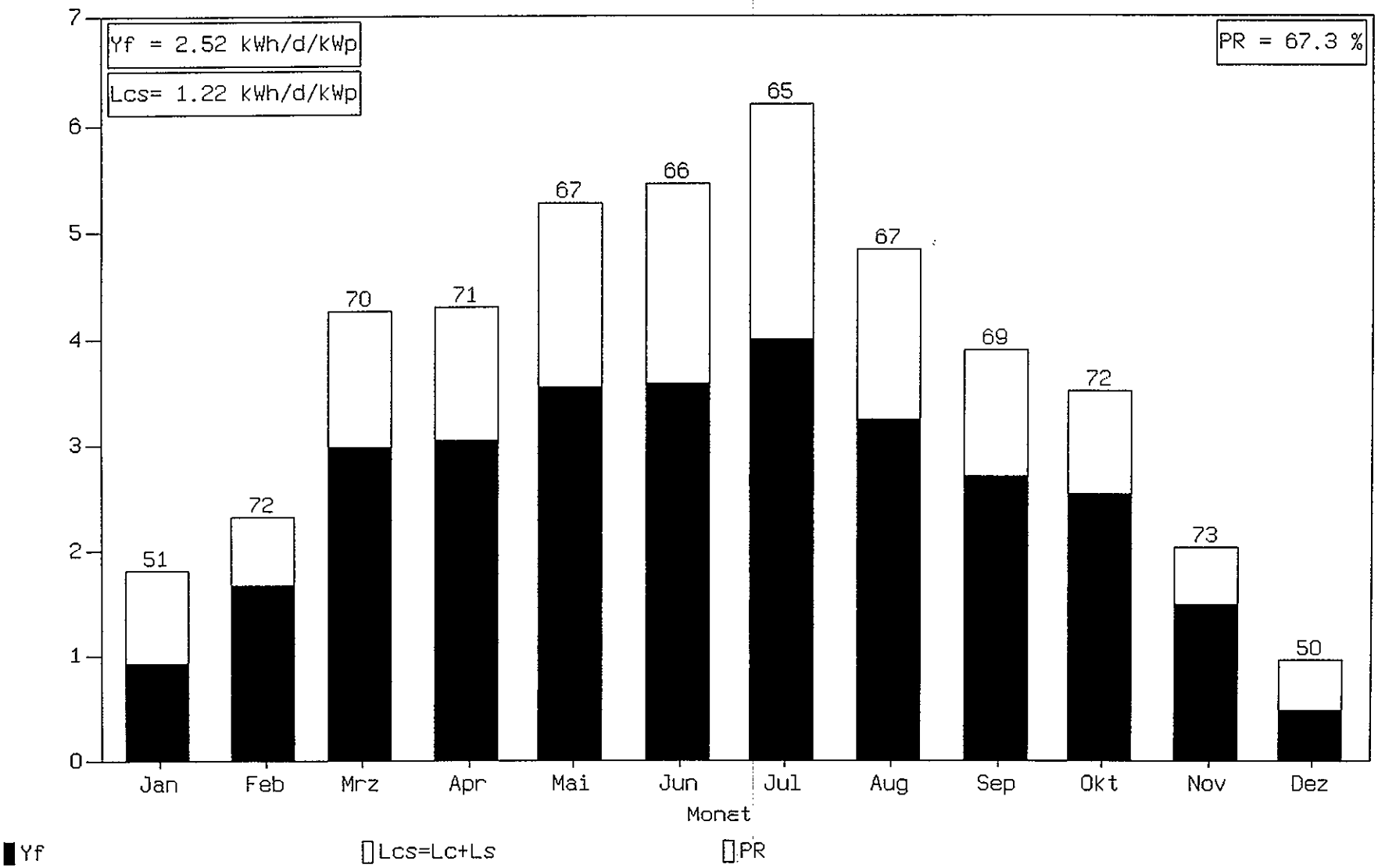
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 4, Burgdorf Jahr: 1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



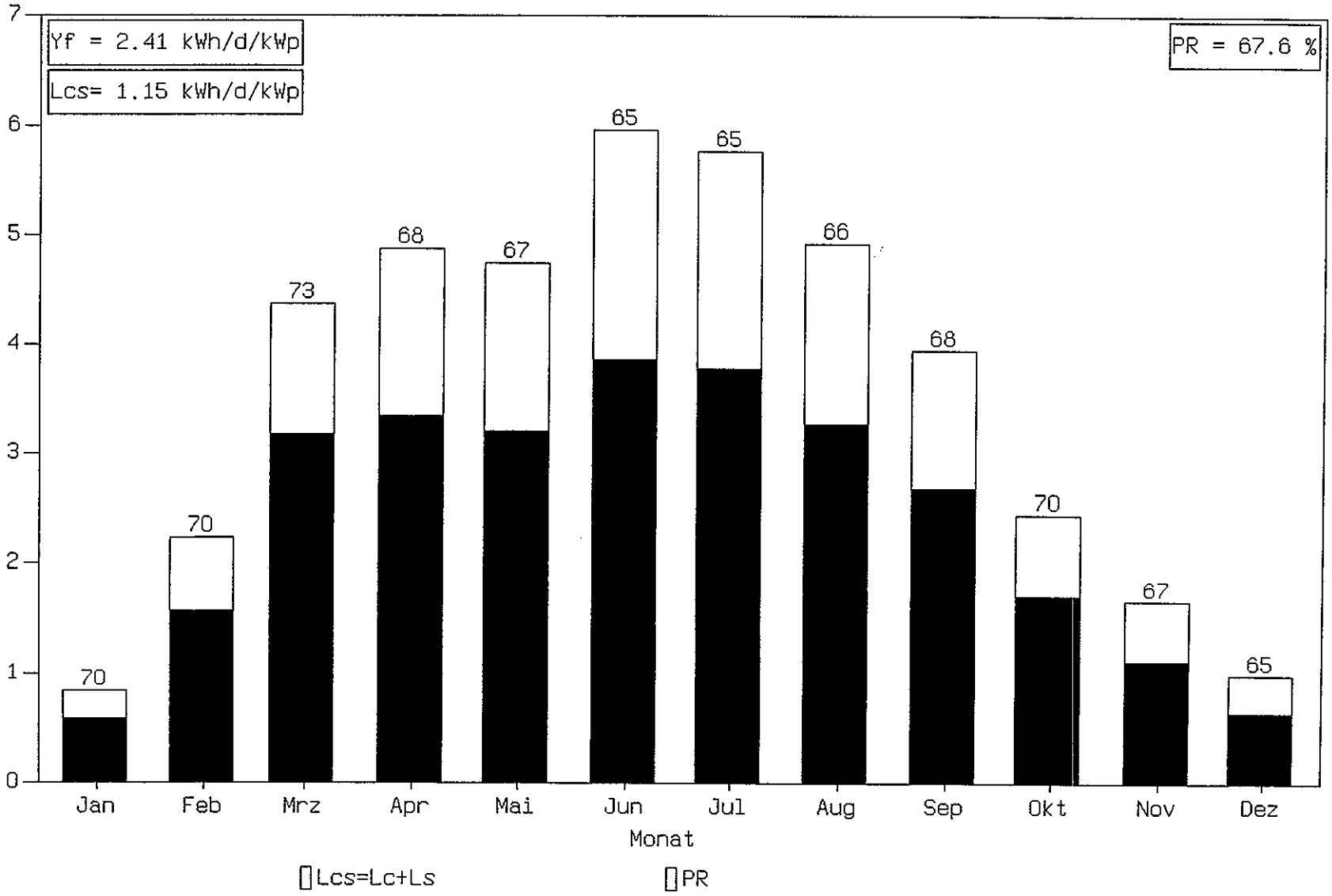
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 4, Burgdorf Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



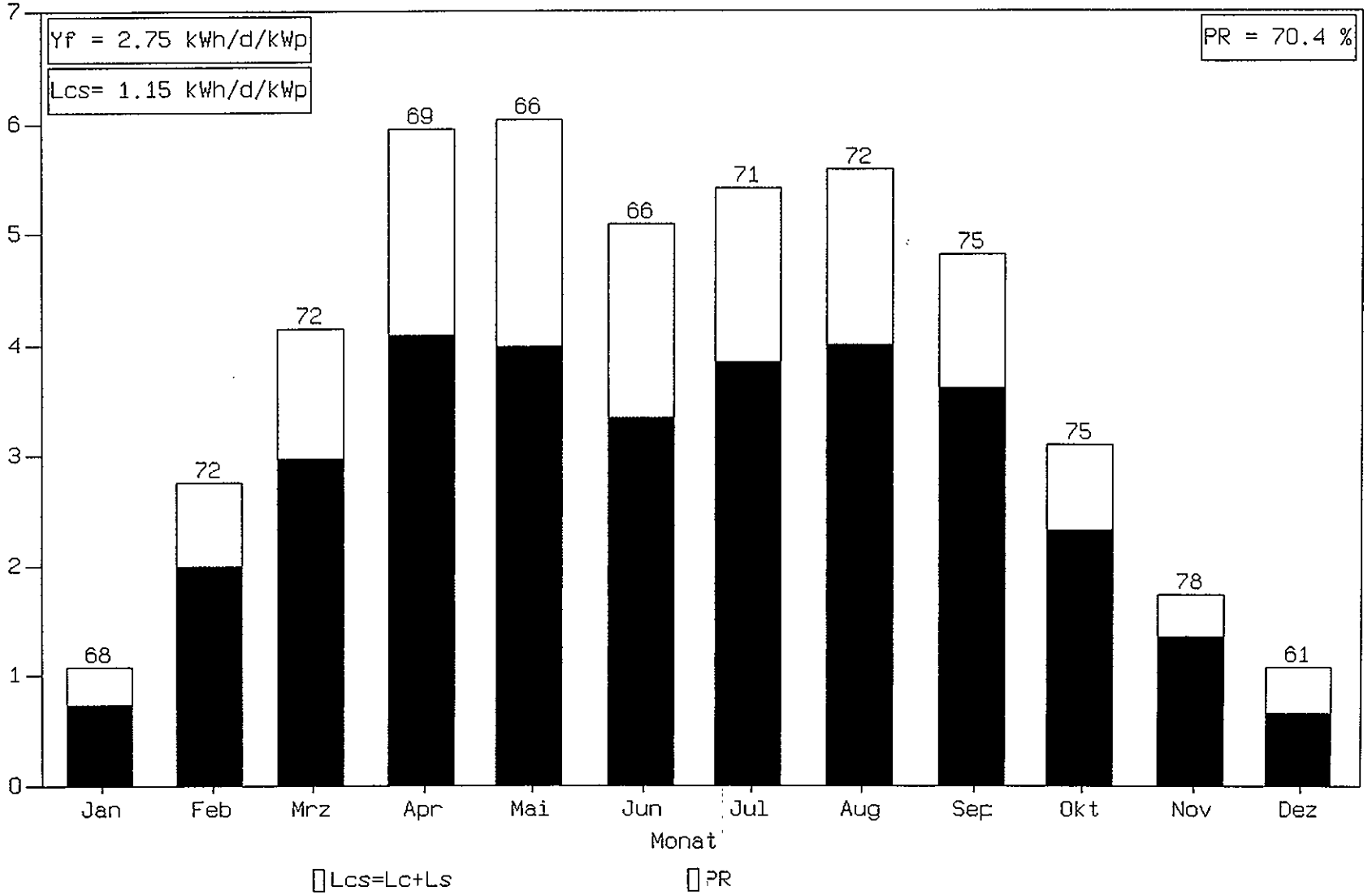
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 4, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



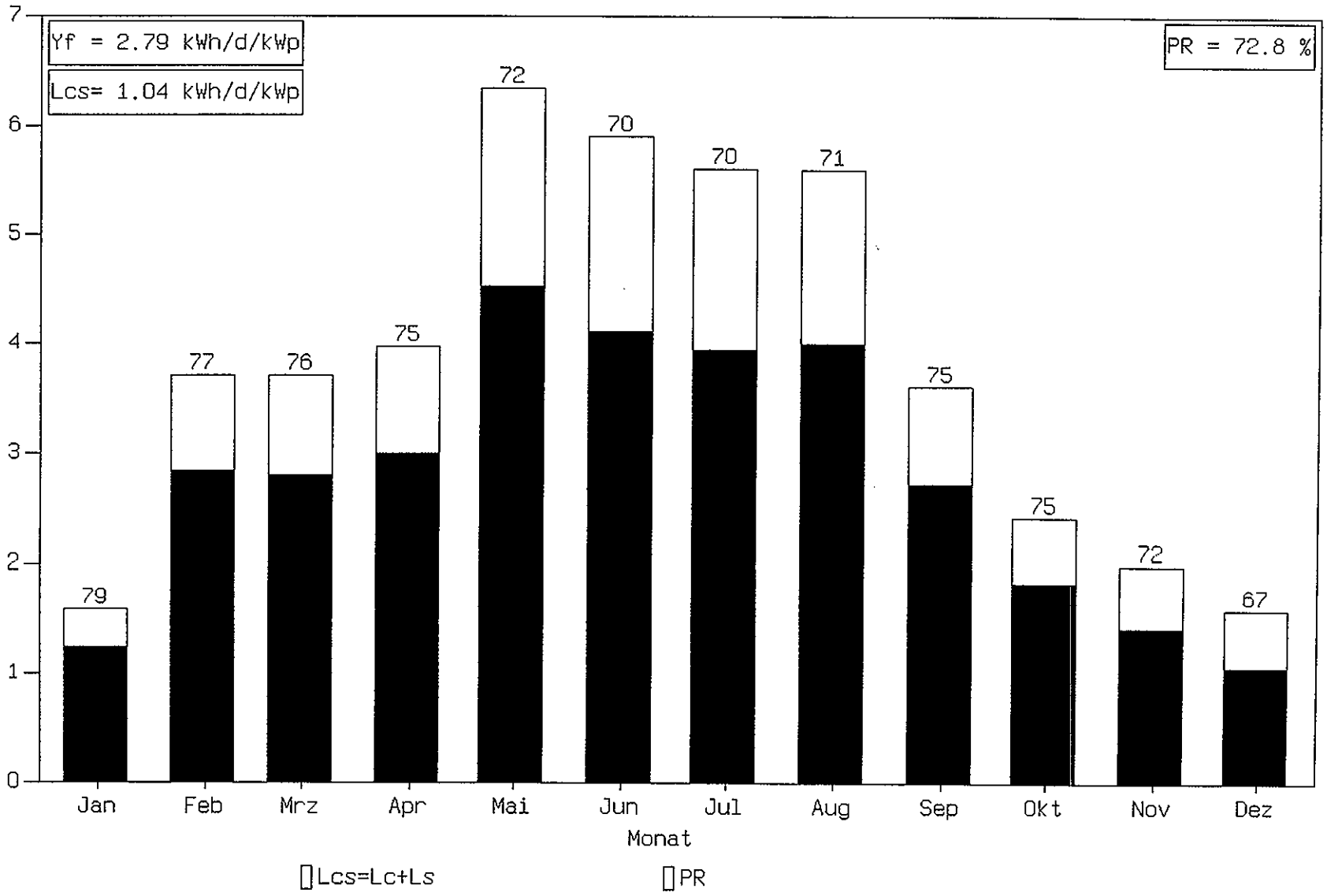
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 4, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3060Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

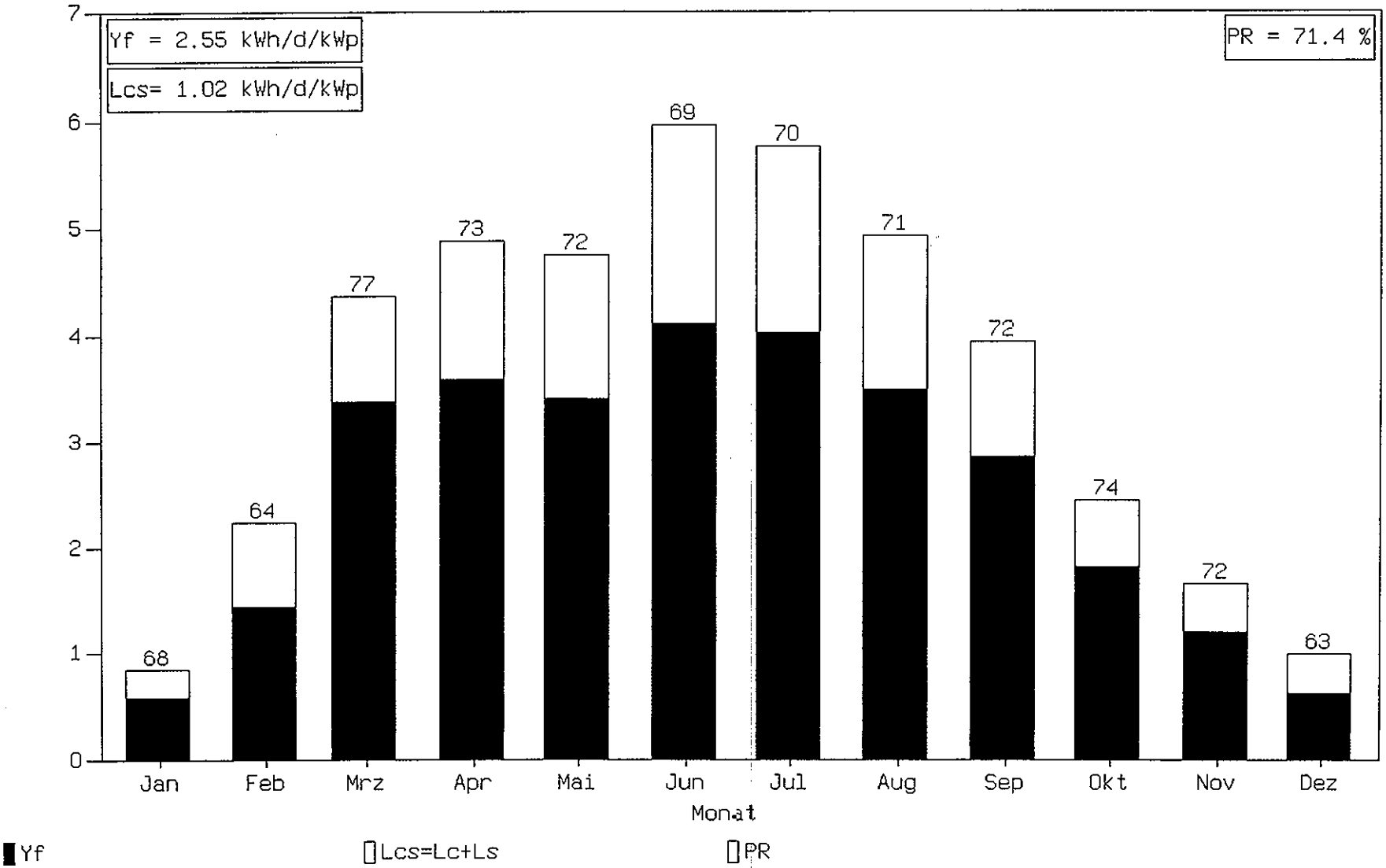
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 5, Burgdorf

Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



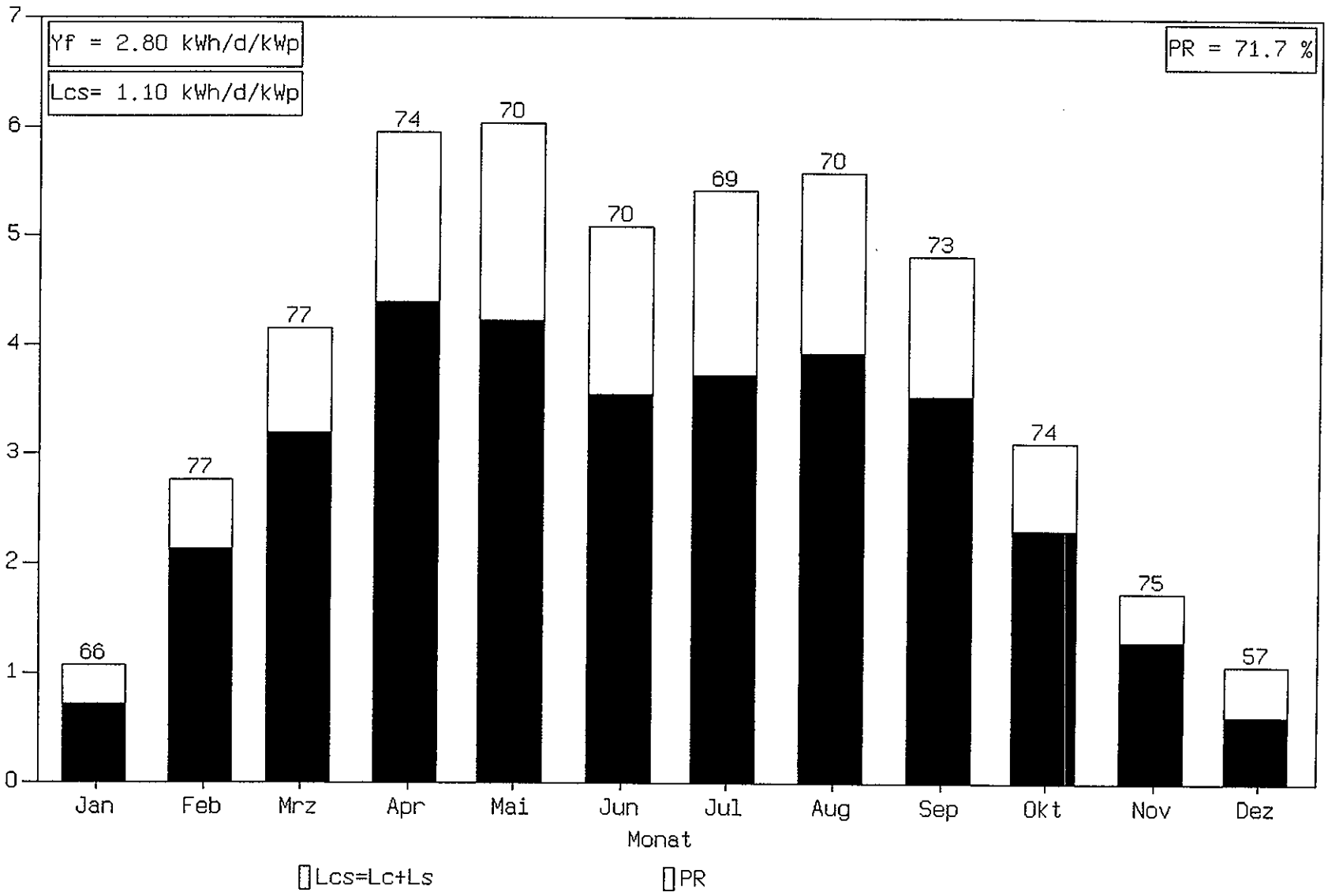
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 5, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

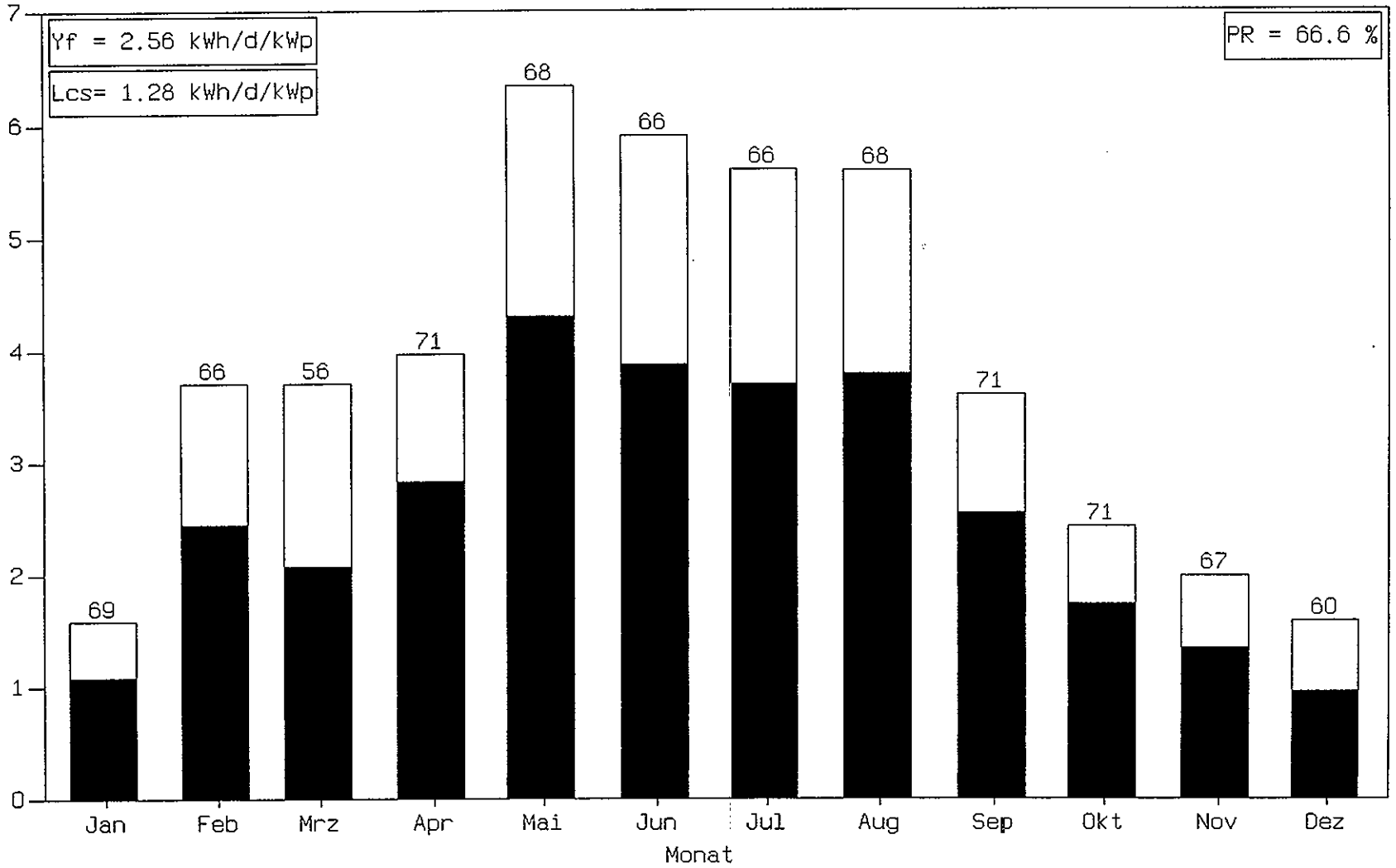
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 5, Burgdorf

Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



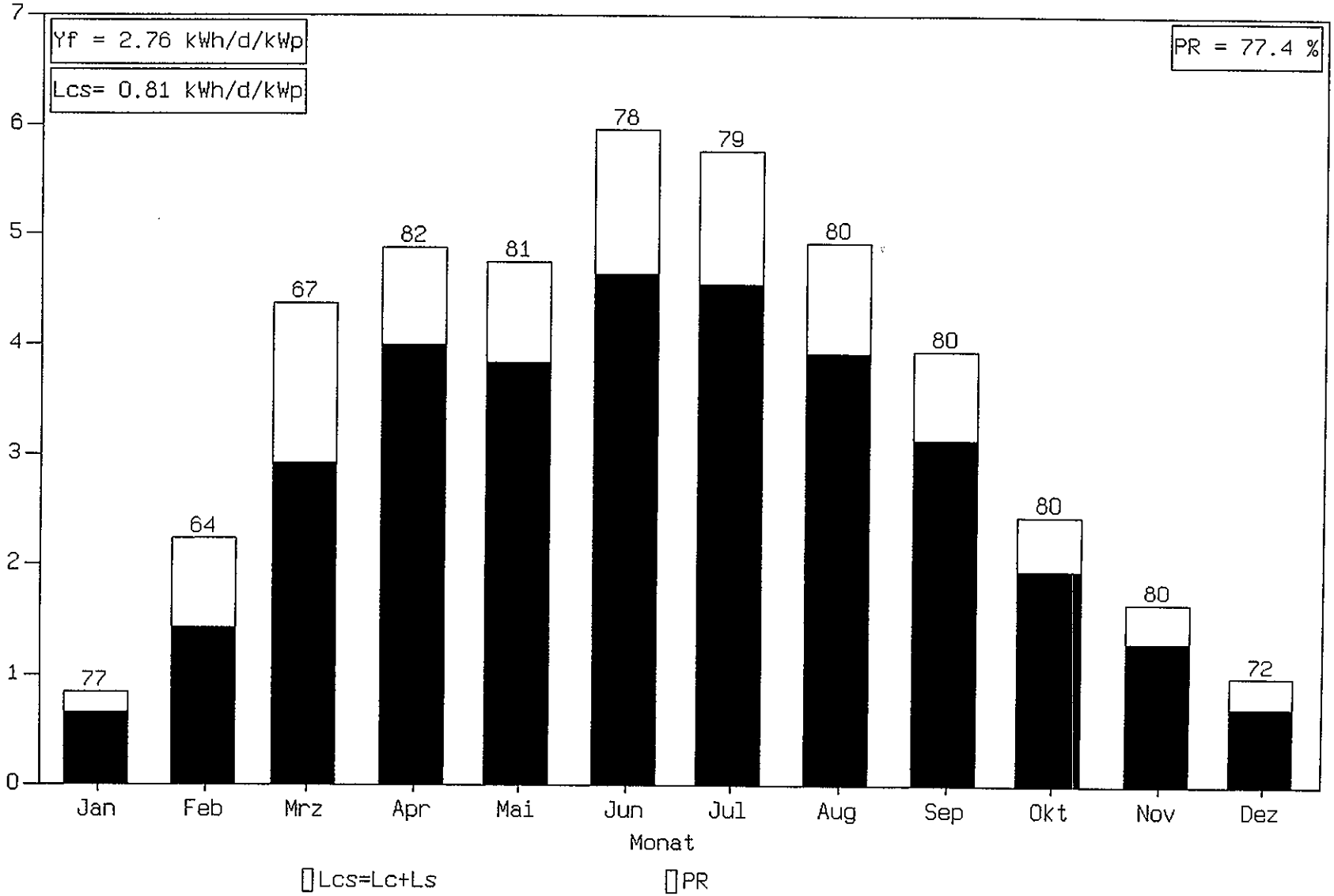
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 6, Burgdorf Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



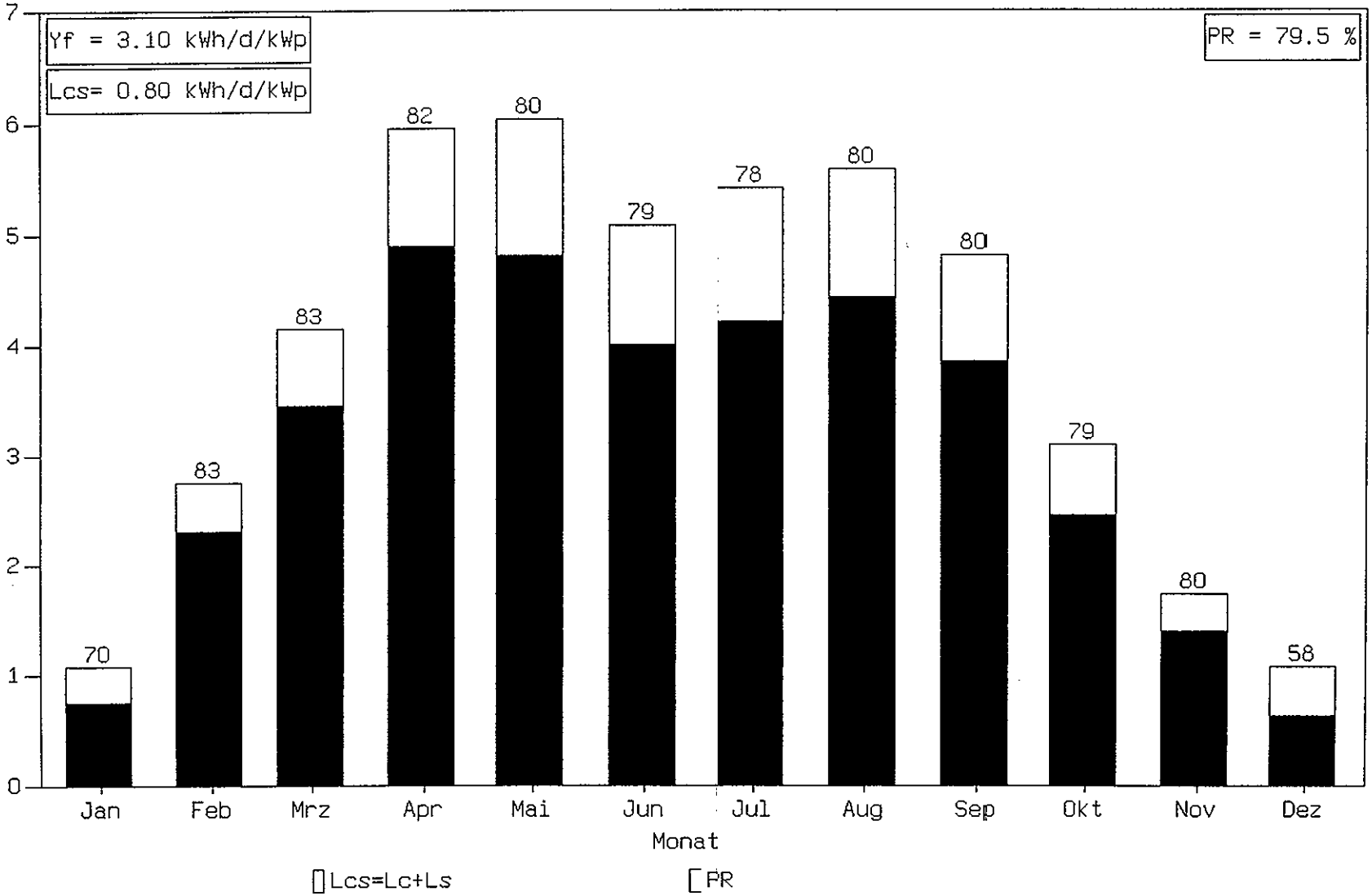
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 6, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



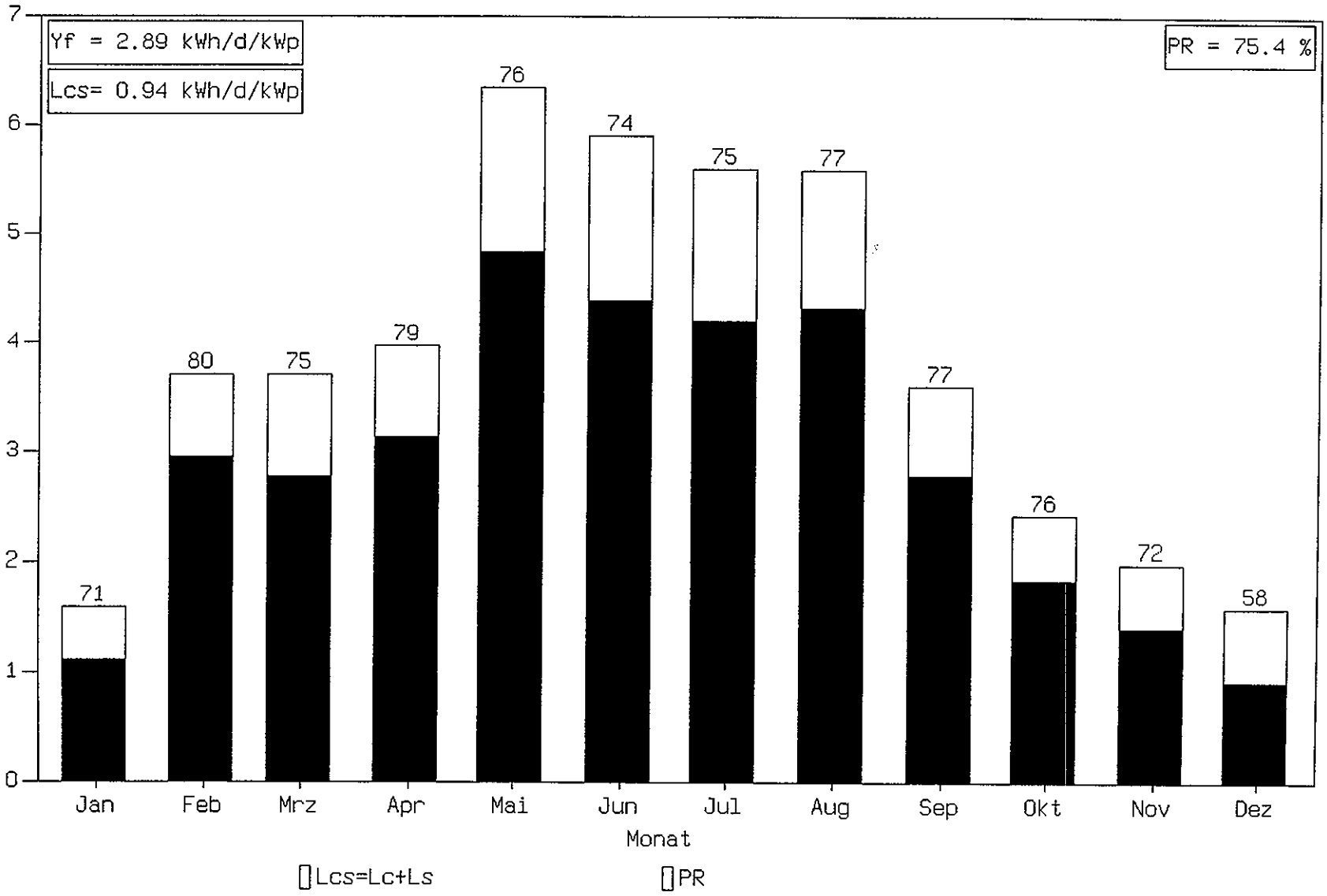
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 6, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



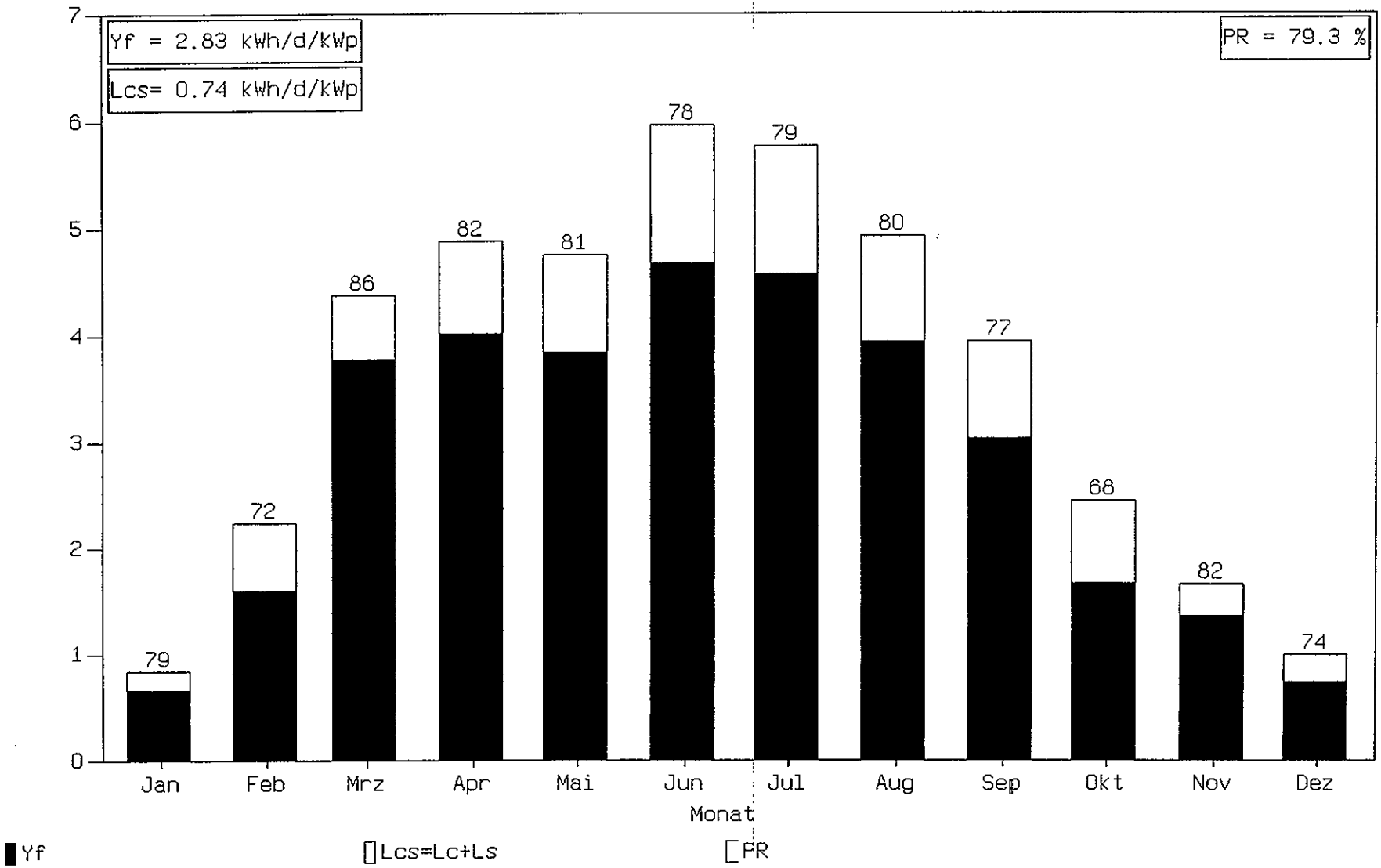
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 7, Burgdorf Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



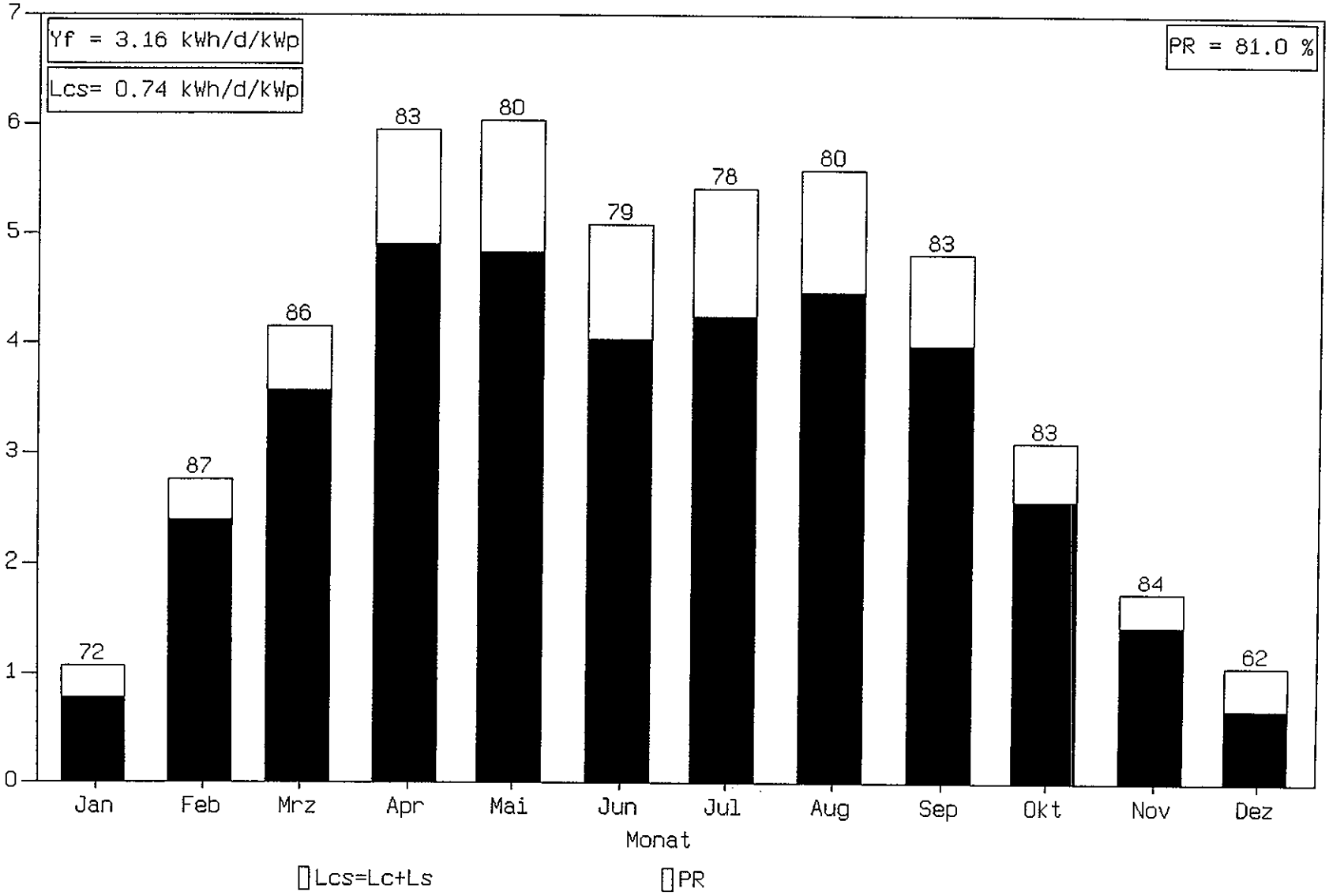
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 7, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

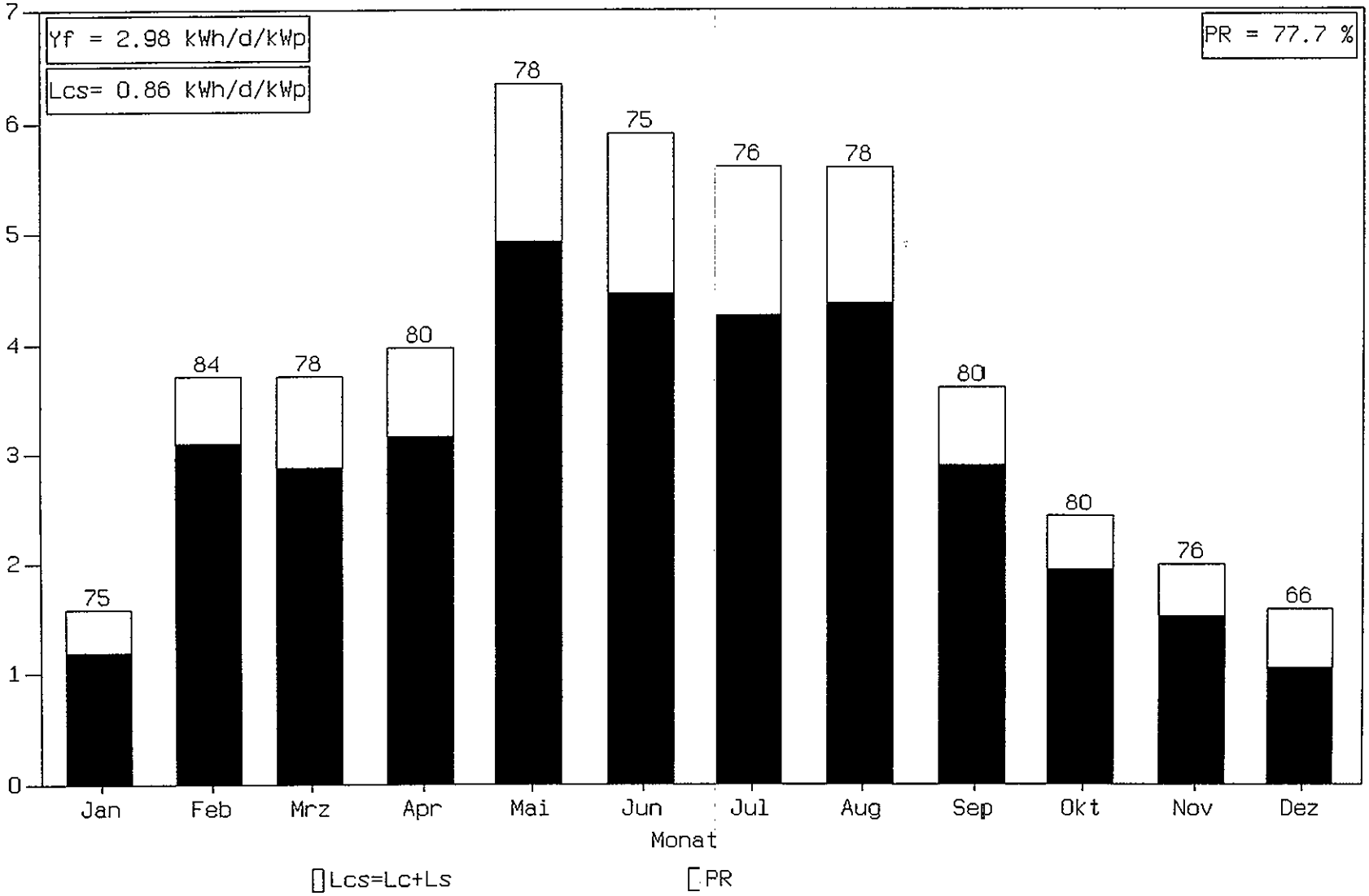
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 7, Burgdorf

Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

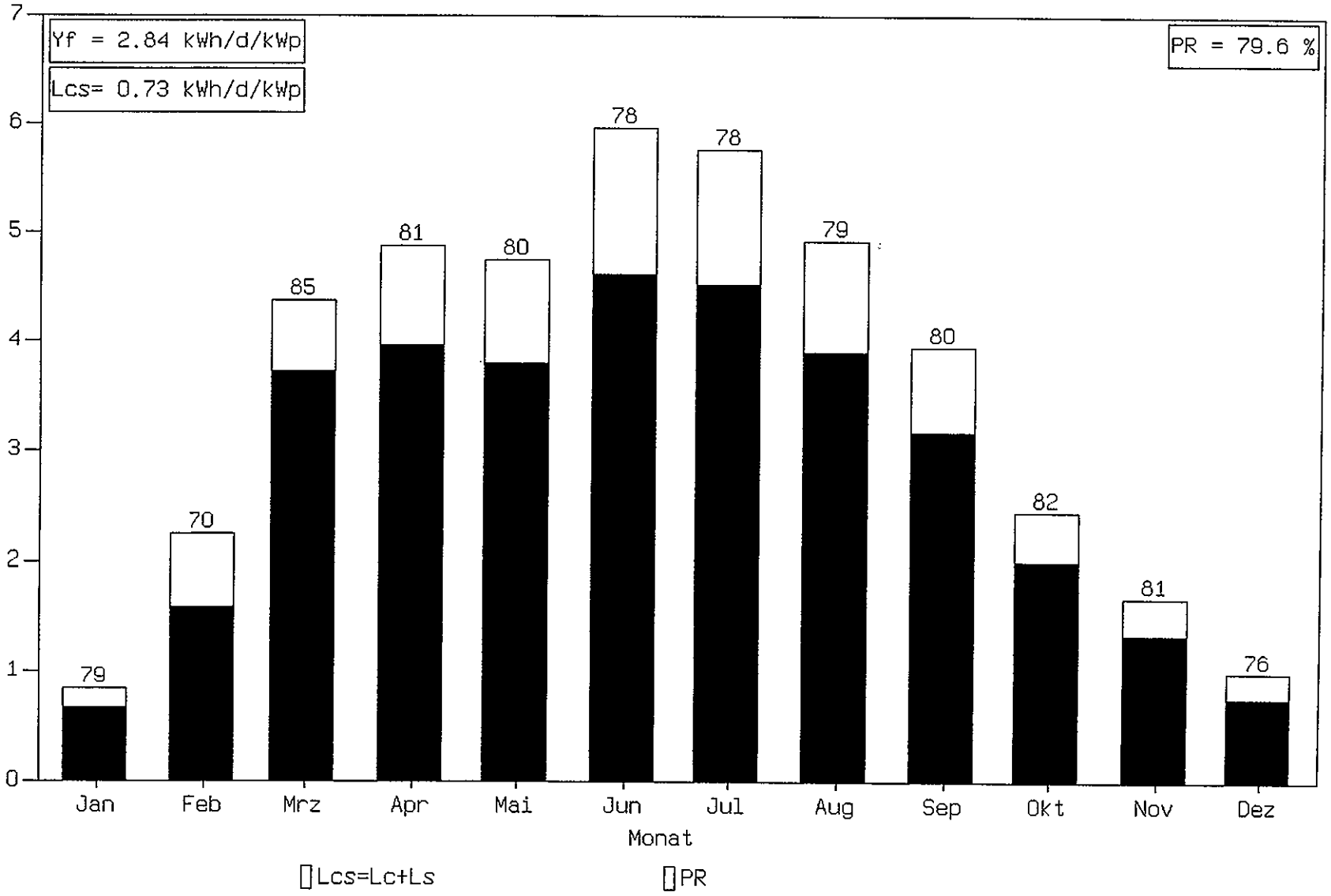
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

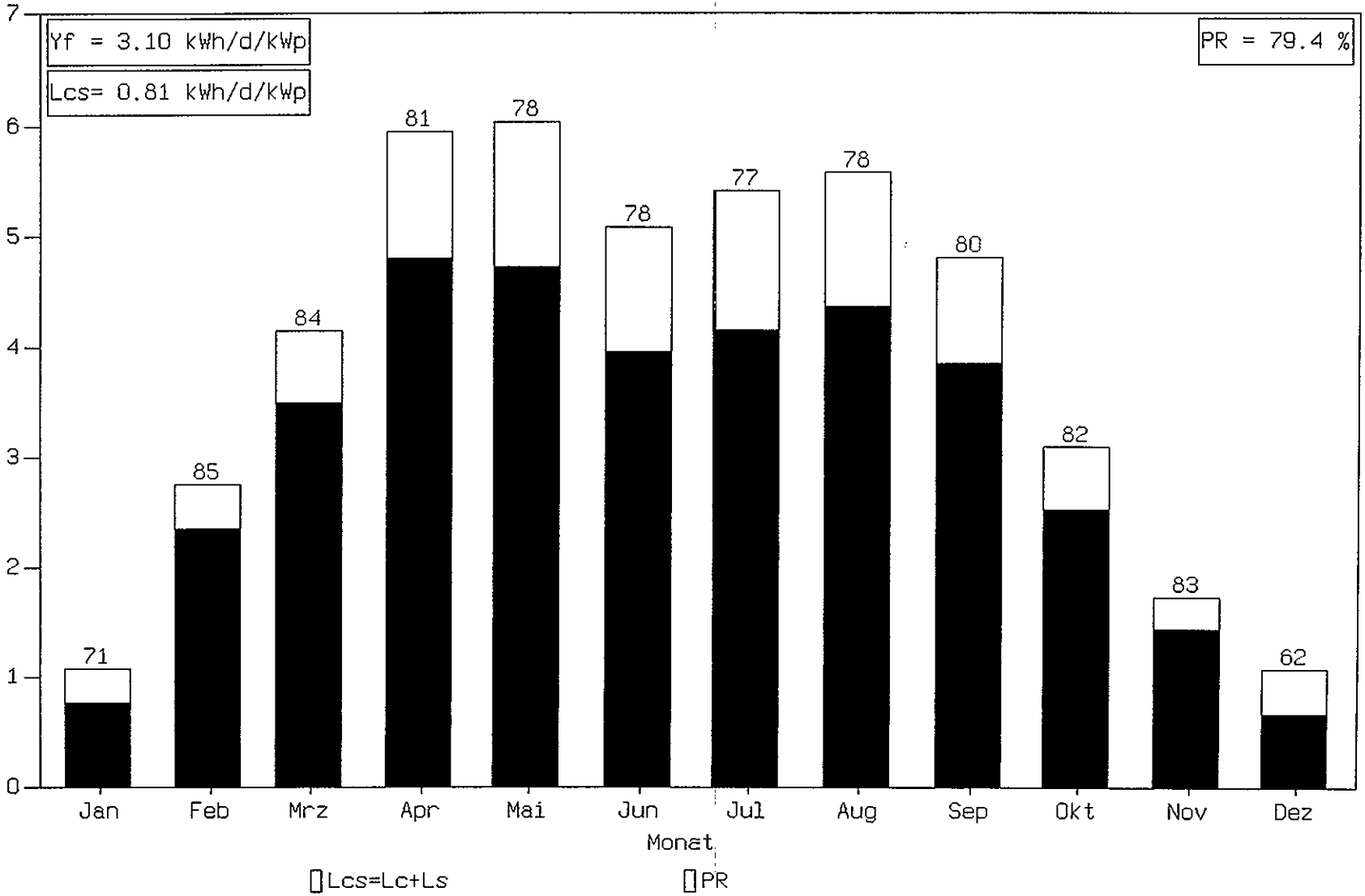
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

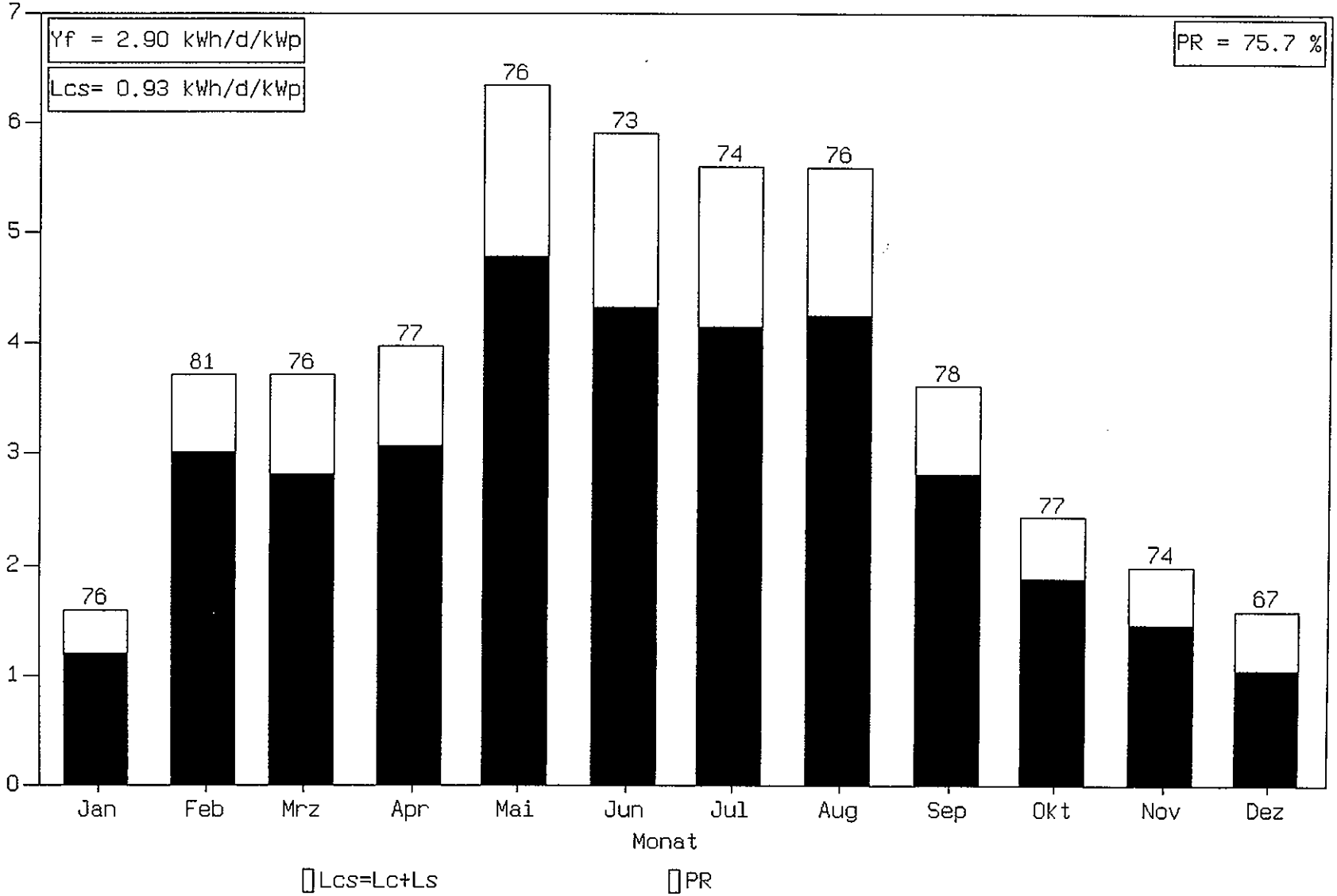
Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



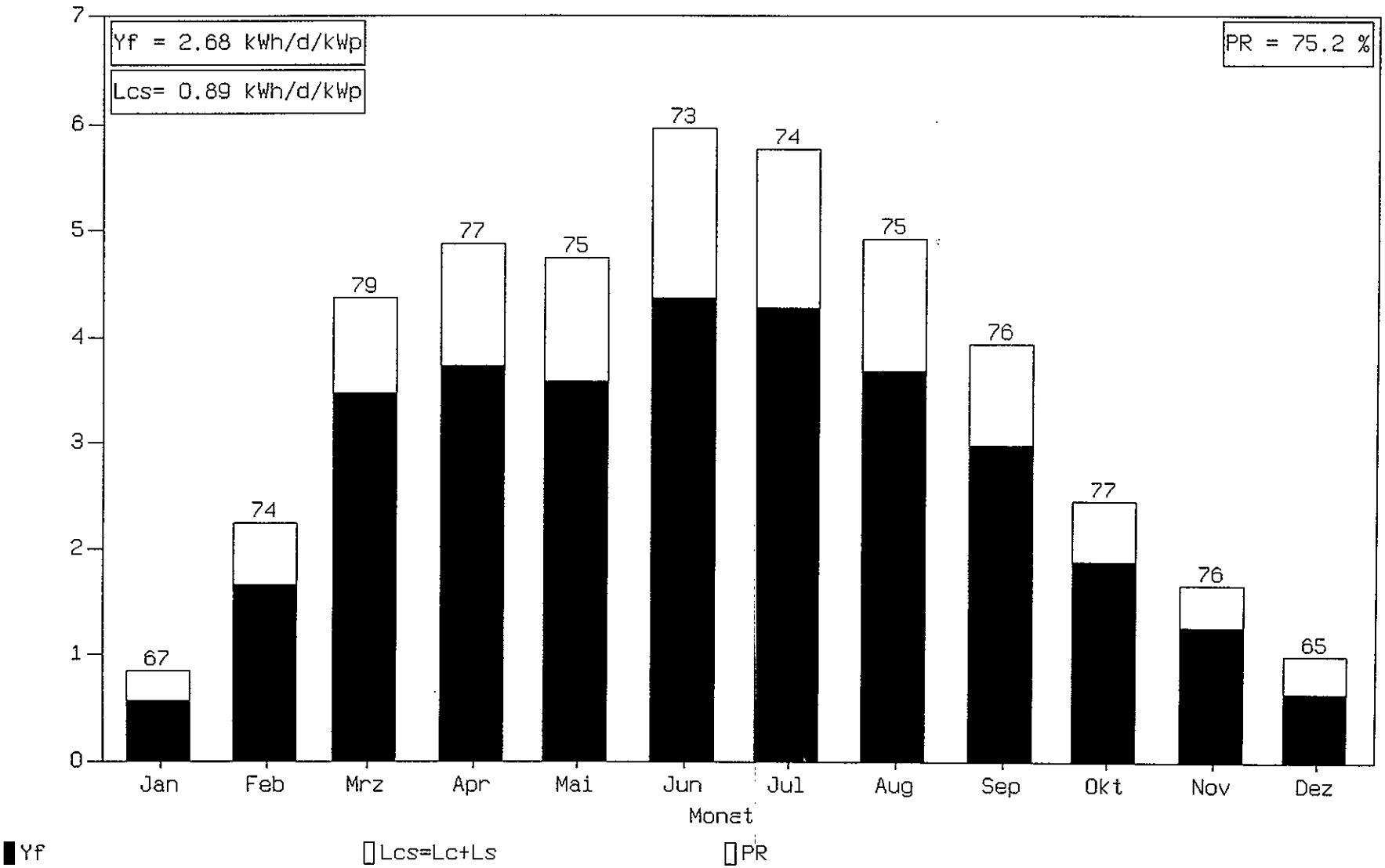
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 9, Burgdorf Jahr: 1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3240Wp)



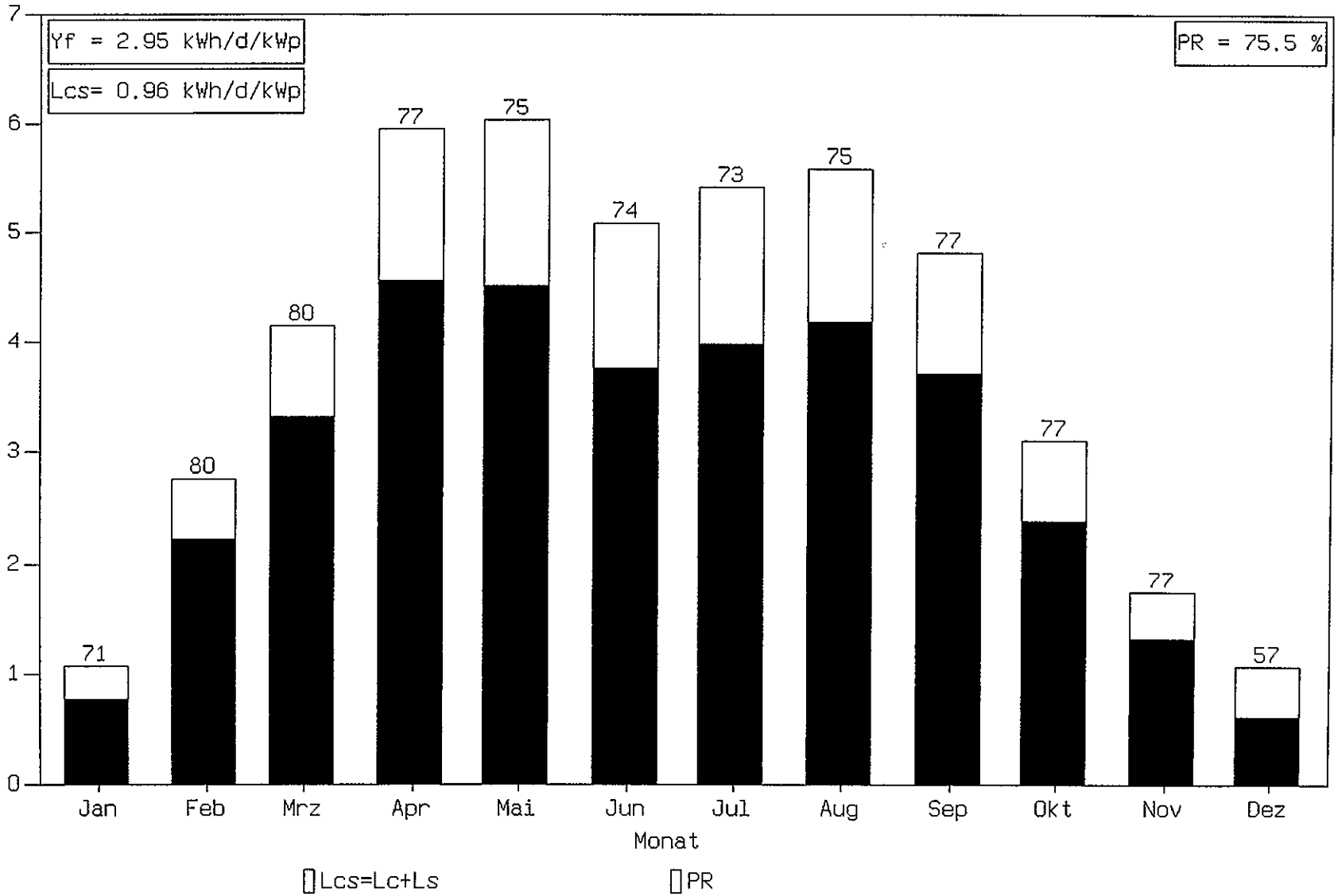
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 9, Burgdorf Jahr: 1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3240Wp)



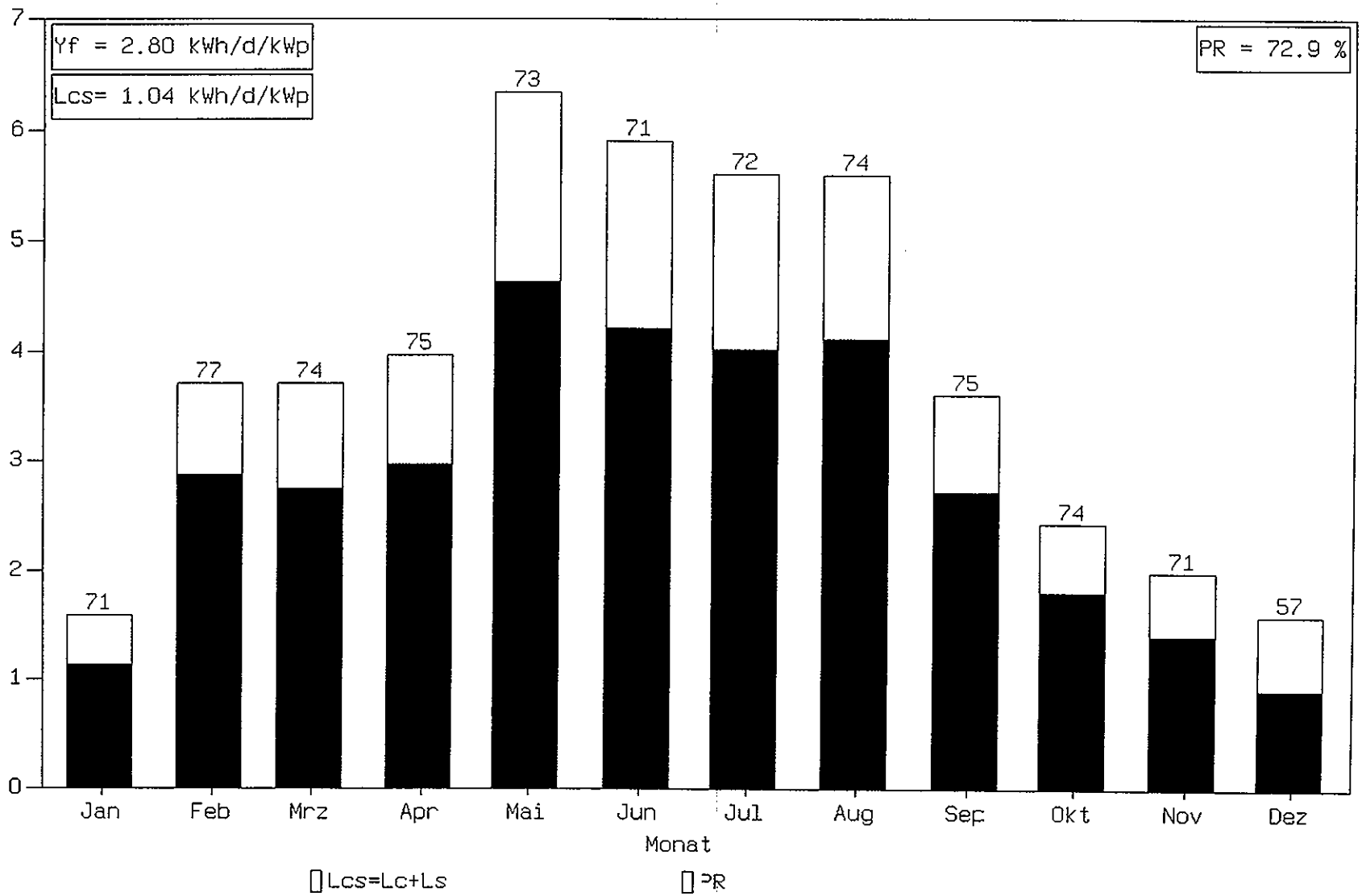
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 9, Burgdorf Jahr: 1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3240Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

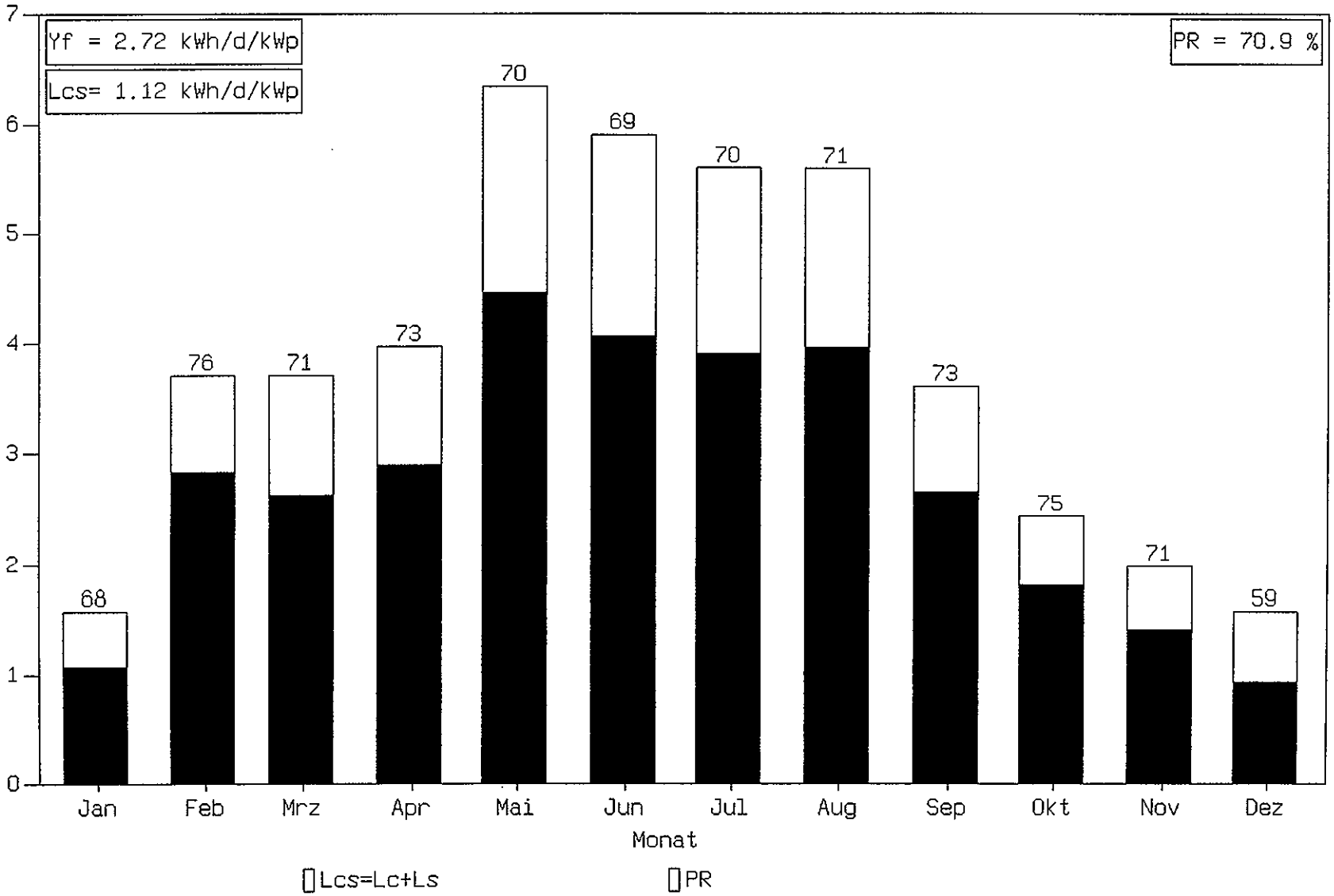
Labor für Photovoltaik

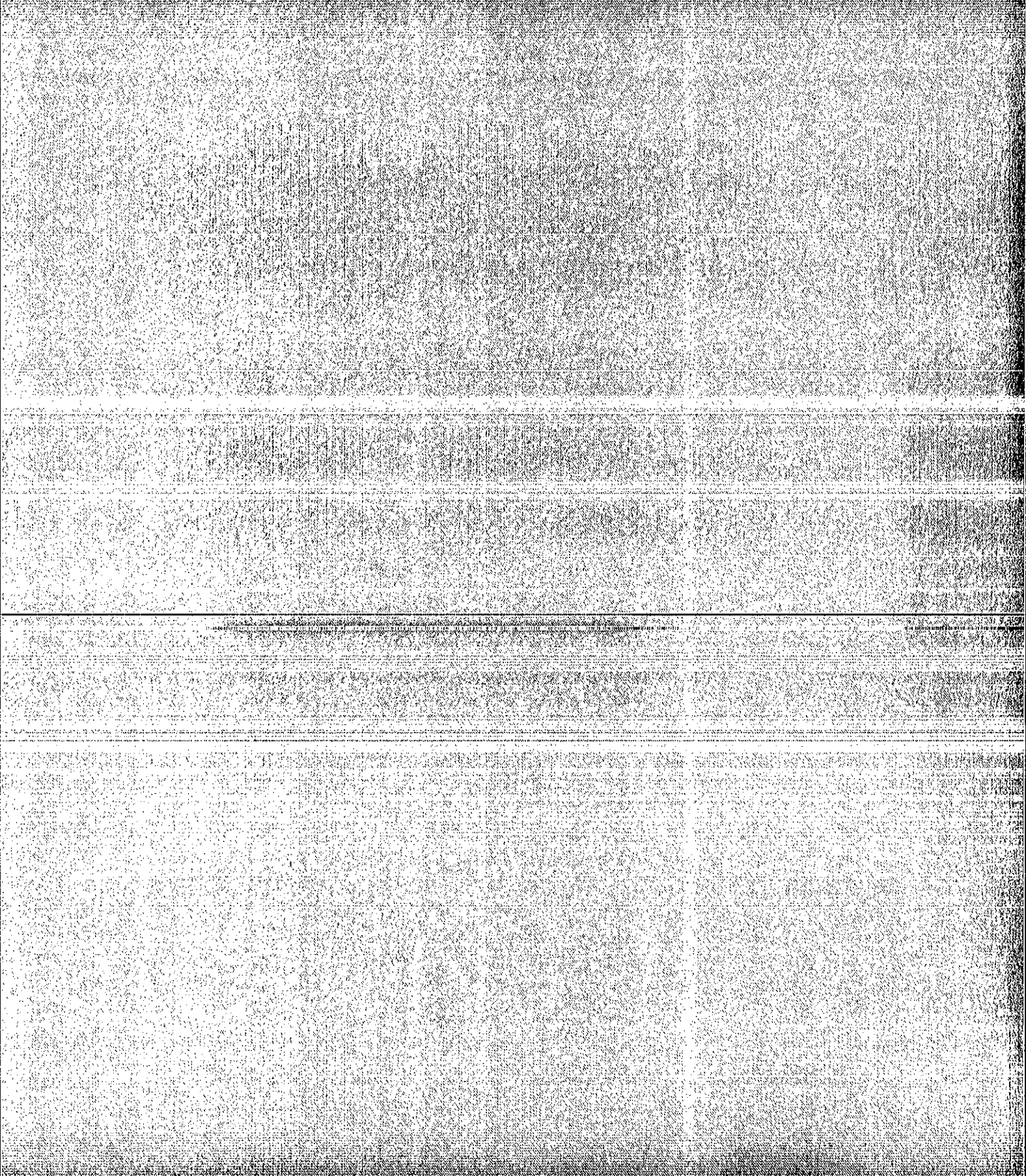
Normierte Jahresstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 10, Burgdorf

Jahr: 1998

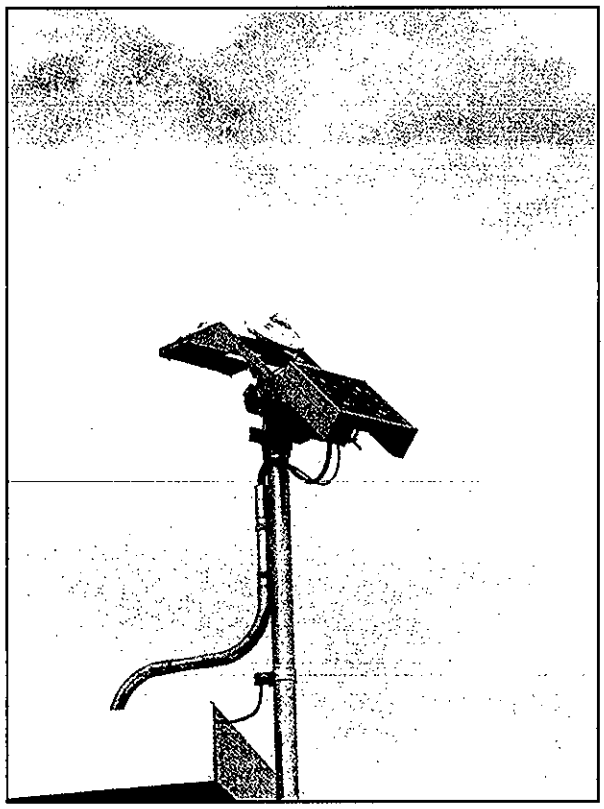
Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4080Wp)

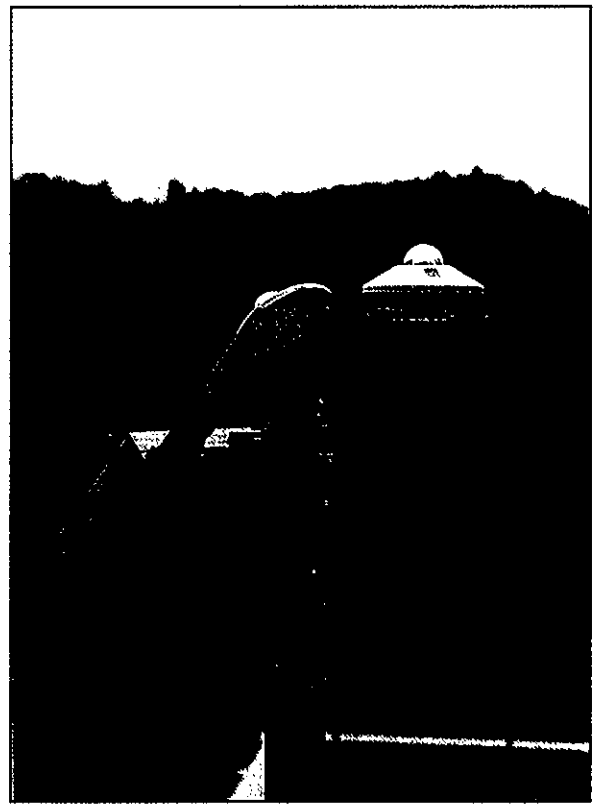




Meteomessung an der HTA Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage
Inbetriebnahme: 25.10.1991
Messgrössen:
• Globalstrahlung horizontal (Pyranometer) • Globalstrahlung 45°-Neigung (Pyranometer) • Aussentemperatur • Modultemperatur • Kurzschlussstrom Referenzmodul





Vorder- und Rückansicht der Meteomessstelle an der HTA Burgdorf

Berner Fachhochschule Hochschule für Technik und Architektur Labor für Photovoltaik

Meteomessung an der HTA Burgdorf von 1992 bis 1998

Strahlungsmessung mit Pyranometer in Horizontalebene H_{Hor} [kWh/m²] und 45°-Neigung H_{Gen} [kWh/m²] (Azimut 0° Süd)																		
	1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		Mittelwert		MN85	MN97
	H_{Hor}	H_{Gen}	H_{Hor}	H_{Gen}	H_{Hor}	H_{Gen}	H_{Hor}	H_{Gen}	H_{Hor}	H_{Gen}	H_{Hor}	H_{Gen}	H_{Hor}	H_{Gen}	H_{Hor}	H_{Gen}	H_{Hor}	H_{Hor}
Jan	39.2	62.8	34.3	61.1	33.3	54.4	34.5	61.2	21.3	26.5	24.1	34.6	32.4	60.9	31.3	51.6	28	31
Feb	58.8	87.2	49.2	71.4	42.2	56.4	46.7	69.9	48.5	70.2	53.1	84.8	66.6	116.7	52.2	79.5	47	47
März	82.5	109.7	110.2	143.6	91.7	114.7	103.3	136.3	106.8	144.2	102.8	137.2	94.1	118.6	98.8	129.2	85	85
Apr	124.4	133.6	126.3	130.7	97.5	99.6	116.2	127.6	132.2	144.2	156.1	178.5	110.2	114.4	123.3	132.7	124	110
Mai	172.8	167.5	161.1	155.0	138.7	129.1	158.5	153.3	145.6	135.5	183.0	174.8	190.5	185.4	164.3	157.2	154	142
Jun	149.3	133.3	171.7	150.7	180.0	160.3	165.3	147.1	180.2	161.7	155.1	138.0	177.9	160.8	168.5	150.3	171	153
Jul	171.2	160.8	168.7	153.6	183.2	167.4	190.7	178.2	177.0	165.1	167.5	153.6	172.8	159.0	175.9	162.5	183	173
Aug	161.0	170.4	157.8	164.4	154.1	160.5	141.0	144.4	142.6	146.6	160.2	170.7	159.8	170.2	153.8	161.0	146	147
Sept	104.8	128.1	93.2	108.4	81.8	91.1	99.5	118.2	99.7	120.9	120.1	153.5	93.4	109.7	98.9	118.6	107	102
Okt	41.8	48.7	39.1	44.6	71.8	106.7	79.6	120.2	57.1	80.1	71.0	105.8	58.0	77.3	59.8	83.3	67	60
Nov	24.6	32.9	26.4	36.4	28.0	36.0	40.4	67.9	33.0	56.5	36.5	59.1	37.9	64.1	32.4	50.4	32	31
Dez	18.4	26.0	24.1	36.4	20.9	32.8	20.9	31.2	21.4	33.8	21.8	35.9	28.9	61.5	22.3	36.8	24	24
Total	**1149**	**1261**	**1162**	**1256**	**1123**	**1209**	**1197**	**1356**	**1165**	**1285**	**1251**	**1427**	**1223**	**1399**	**1181**	**1313**	**1168**	**1103**
Aussentemperatur T_{am} und strahlungsgewichtete Modultemperatur T_m in °C																		
	T_{am}	T_m	T_{am}	T_m	T_{am}	T_m	T_{am}	T_m	T_{am}	T_m	T_{am}	T_m	T_{am}	T_m	T_{am}	T_m	T_{am}	T_{am}
Jan	-2.0	11.5	2.5	14.1	2.1	12.9	-0.5	11.1	-0.2	10.1	-1.7	8.8	1.4	17.4	0.2	12.3	-1	-0.3
Feb	1.0	16.2	-0.9	12.7	2.1	13.2	4.4	18.9	-0.7	14.6	3.8	20.2	3.0	23.6	1.8	17.1	1	0.3
März	6.0	24.2	4.1	21.0	8.9	23.7	3.5	18.7	3.3	20.8	7.2	24.2	5.2	22.3	5.5	22.1	3	4.5
Apr	7.9	24.7	9.9	27.0	6.8	22.4	8.9	25.4	9.3	27.1	7.9	25.5	8.1	24.3	8.4	25.2	7	7.8
Mai	14.8	33.3	15.2	38.2	13.3	29.4	12.8	31.4	12.6	29.8	13.7	31.3	15.0	34.0	13.9	32.5	12	12.3
Jun	15.8	31.8	17.1	34.4	17.1	35.5	15.2	31.3	17.6	34.8	16.2	31.7	17.6	36.0	16.7	33.6	15	15.3
Jul	19.1	36.8	17.4	34.1	21.5	40.3	21.1	39.0	17.6	35.2	17.3	34.8	19.1	35.8	19.0	36.6	17	18.8
Aug	20.7	39.7	18.0	37.5	19.6	38.4	17.7	36.1	16.8	33.9	19.9	42.1	18.8	39.2	18.8	38.1	17	18.1
Sept	14.2	31.9	12.9	29.8	13.4	28.3	11.9	28.3	11.0	28.6	15.2	36.6	13.4	30.1	13.1	30.5	13	14.3
Okt	7.6	17.0	7.5	19.2	9.3	26.8	12.3	31.0	9.0	24.7	8.8	27.7	9.7	23.7	9.2	24.3	8	9.5
Nov	5.7	14.5	1.5	12.1	7.1	16.8	3.5	17.0	4.0	19.5	3.8	18.8	1.6	16.6	3.9	16.5	3	3.9
Dez	0.1	8.9	3.3	10.1	2.9	13.9	-0.3	7.9	-0.5	10.9	1.9	14.8	-0.6	16.0	1.0	11.8	-1	1.1
Mittel	**9.2**	**28.7**	**9.1**	**28.4**	**10.3**	**29.2**	**9.2**	**27.9**	**8.3**	**27.7**	**9.5**	**29.7**	**9.4**	**29.2**	**9.3**	**28.7**	**8**	**8.8**

MN85 und MN97: Angaben nach Meteonorm 1985 und 1997

BET
9619790-3

PSEL PROJEKT- UND STUDIENFONDS DER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

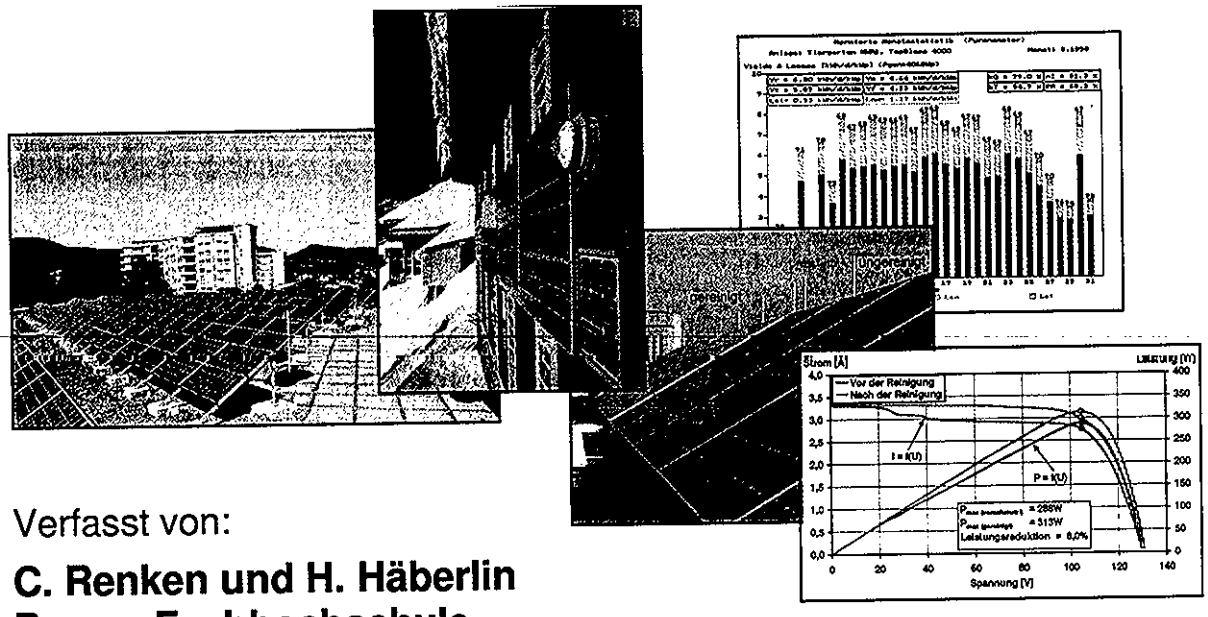
Bundesamt für Energie
Office fédéral de l'énergie
Ufficio federale dell'energia
Swiss Federal Office of Energy

IBB
INDUSTRIELLE BETRIEBE BURGDORF

Forschungsprogramm Photovoltaik

Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen

Anhang 2: Normierte Monatsstatistiken



Verfasst von:

C. Renken und H. Häberlin
Berner Fachhochschule
Hochschule für Technik und Architektur (HTA) Burgdorf
Labor für Photovoltaik
Jlcoweg 1
3400 Burgdorf

Ausgearbeitet im Auftrag folgender Institutionen und Firmen:

Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL)
Bundesamt für Energie (BFE)
Industrielle Betriebe Burgdorf (IBB)

November 1999

Schlussbericht:
PSEL-Projekt Nr. 113
BFE-Projekt Nr. DIS 19490 / 59074

Inhaltsverzeichnis

Definition und Bedeutung der normierten Erträge und Verluste

PV-Anlagen mit Feinmessung

1	**Gfeller, Burgdorf**	Normierte Monatsstatistiken von Jan. 1995 bis Jun. 1999
2	**Birg, Mürren**	Normierte Monatsstatistiken von Jan. 1995 bis Jun. 1999
3	**Jungfraujoch**	Normierte Monatsstatistiken von Jan. 1995 bis Jun. 1999
4	**Schlossmatt 8, Burgdorf**	Normierte Monatsstatistiken von Jan. 1997 bis Jun. 1999
5	**Elektra Baselland, Liestal**	Normierte Monatsstatistiken von Jan. 1997 bis Jun. 1999

Definition und Bedeutung der normierten Erträge und Verluste

Symbol	Bezeichnung	Bedeutung / Erklärung / Ursache	Einheit	
Y_r	Strahlungsertrag, Referenzertrag (Reference Yield)	**$Y_r = H_I / G_0$.** Y_r entspricht der Zeit, während der die Sonne mit G_0 = 1kW/m² scheinen müsste, um die Energie H_I auf den Solargenerator einzustrahlen.	$\frac{kWh/m^2}{d*1kW/m^2}$	[h/d]
L_C	Generatorverluste Feldverluste (Capture Losses)	**Temperaturbedingte Verluste L_{CT} :** Verluste, weil Zellentemperatur meist > 25°C. **Übrige, nicht temperaturbedingte Verluste L_{CM} :** - Verdrahtung, Strangdioden, kleine Einstrahlung. - Teilabschattung, Verschmutzung, Schneebedeckung, Strahlungsinhomogenitäten, Mismatch. - Maximum-Power-Tracking-Fehler, Nichtabnahme der verfügbaren Generatorleistung wegen Wechselrichter ausfällen oder bei vollem Akku (bei Inselanlagen). - Fehler bei Strahlungsmessung. - Bei Pyranometer-Strahlungsmessung: Spektrale Verluste, Glasreflexionsverluste.	$\frac{kWh}{d*kWp}$	[h/d]
Y_a	Generator-Ertrag (Array Yield)	**$Y_a = E_A / P_0$.** Y_a entspricht der Zeit, während der die Anlage mit Solargenerator-Nennleistung P_0 arbeiten müsste, um die Generator-DC-Energie E_A zu erzeugen	$\frac{kWh}{d*kWp}$	[h/d]
L_S	Systemverluste (System Losses)	Wechselrichter-Umwandlungsverluste DC-AC, Speicherverluste des Akkus bei Inselanlagen.	$\frac{kWh}{d*kWp}$	[h/d]
Y_f	Endertrag (Final Yield)	**$Y_f = E_{nutz} / P_0$.** Y_f entspricht der Zeit, während der die Anlage mit Generator-Nennleistung P_0 arbeiten müsste, um die gleiche Nutzenergie E_{nutz} zu produzieren. Bei Netzverbundanlagen ist $E_{nutz} = E_{ac}$.	$\frac{kWh}{d*kWp}$	[h/d]
PR	Performanz, Nutzungsziffer, (Performance Ratio)	**PR = Y_f / Y_r.** PR ist das Verhältnis zwischen der effektiv genutzten Energie E_{nutz} zur Energie, die eine verlustlose, ideale PV-Anlage mit Solargeneratortemperatur 25°C bei gleicher Einstrahlung produziert.		[1]
k_T	Temperatur-Korrekturfaktor	$k_T = Y_T / Y_r$		[%]
k_G	Generator-Korrekturfaktor	$k_G = Y_a / Y_T$		[%]
n_I	Wechselrichter-Nutzungsgrad	$n_I = Y_f / Y_a$		[%]

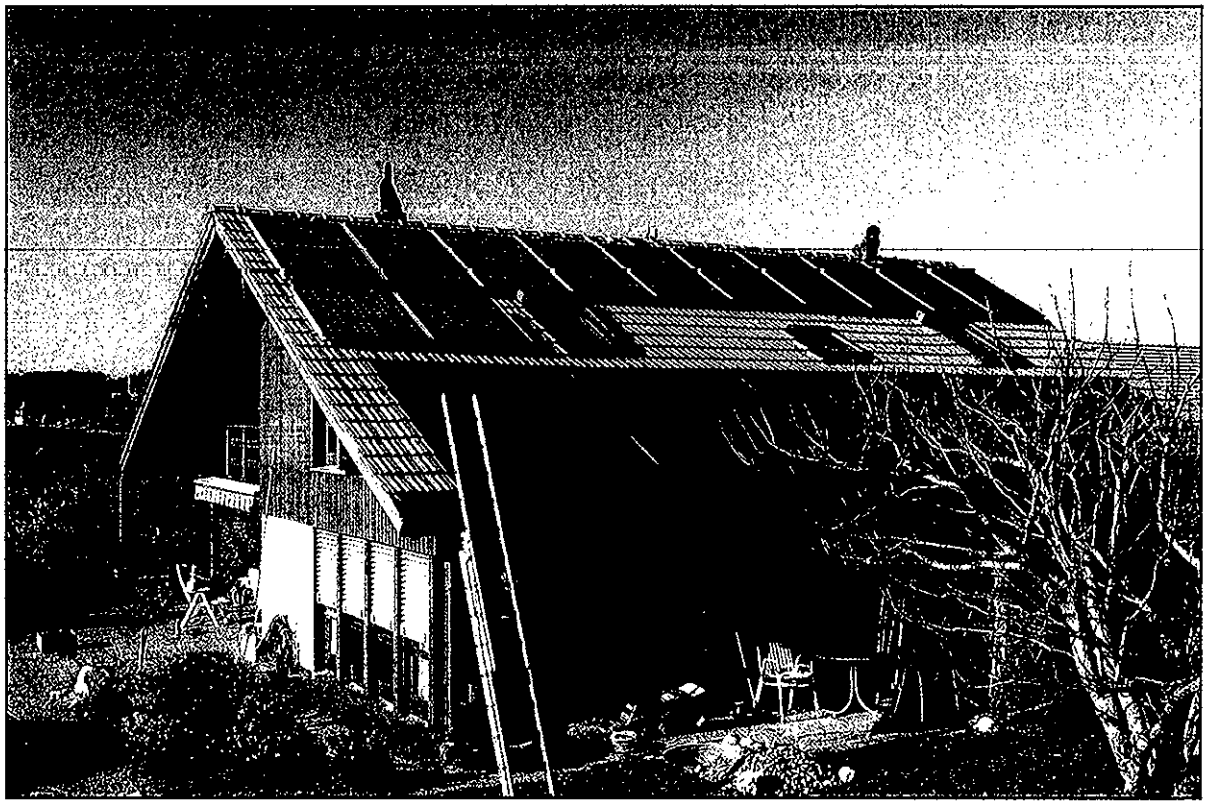
$$Y_r \xrightarrow{-L_C} Y_a \xrightarrow{-L_S} Y_f \qquad Y_r \xrightarrow{-L_{CT}} Y_T \xrightarrow{-L_{CM}} Y_a \xrightarrow{-L_S} Y_f$$

1 Gfeller, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage			
Ort:	Finkfeld 6, 3400 Burgdorf; 540 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	24.06.1992		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (60 Stück)		
Feldleistung:	3180 Wp (nominell)	**Neigung:**	28° (Schrägdach)
Bruttofläche:	25,6 m^2	**Ausrichtung:**	10° Ost
Wechselrichter:	ASP TopClass Grid III 4000/6	seit 14.04.97	
	ASP TopClass 3000	vom 24.06.92 bis 14.04.97	

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichstrom und Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung



Ingenieurschule Burgdorf

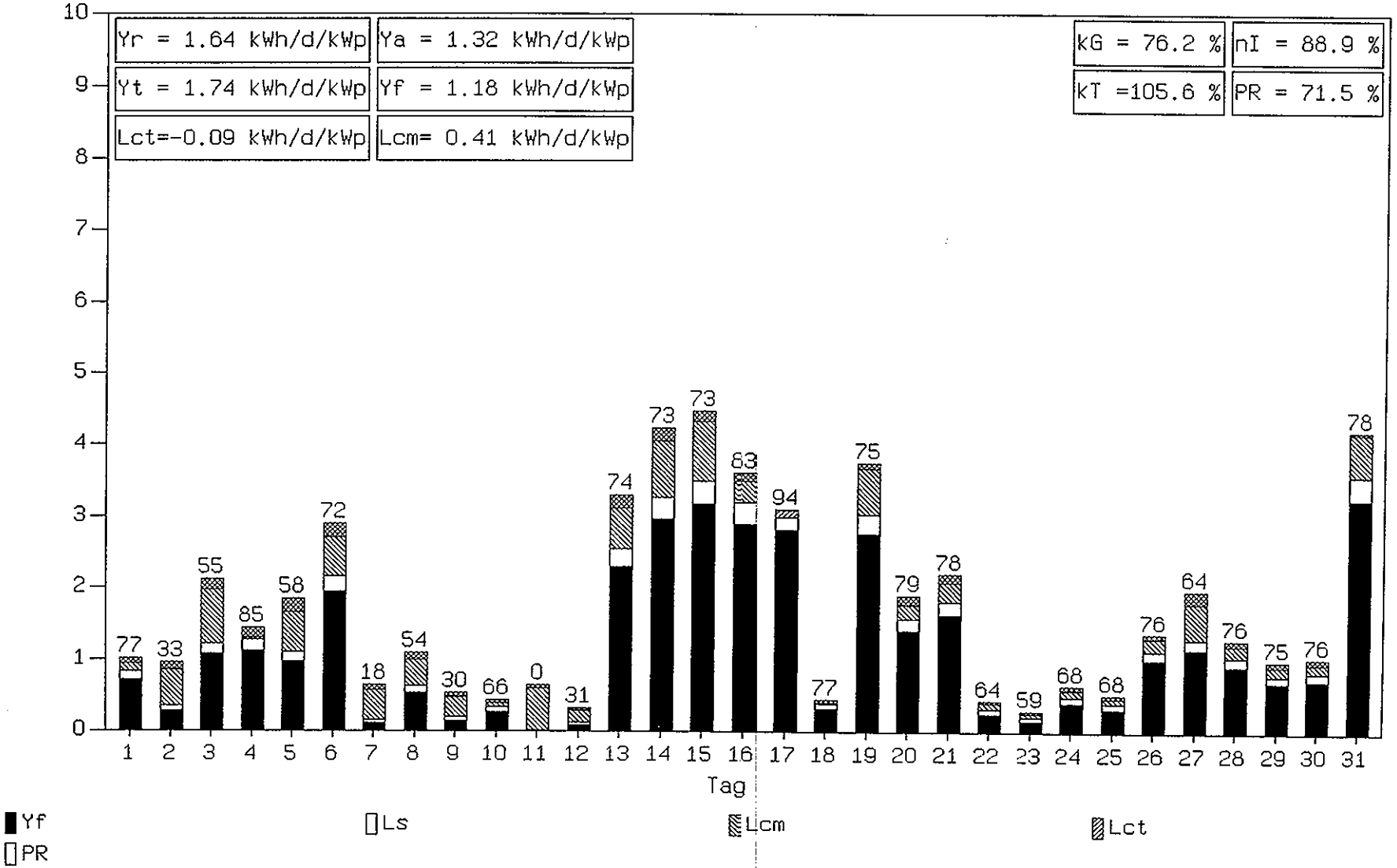
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 1.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



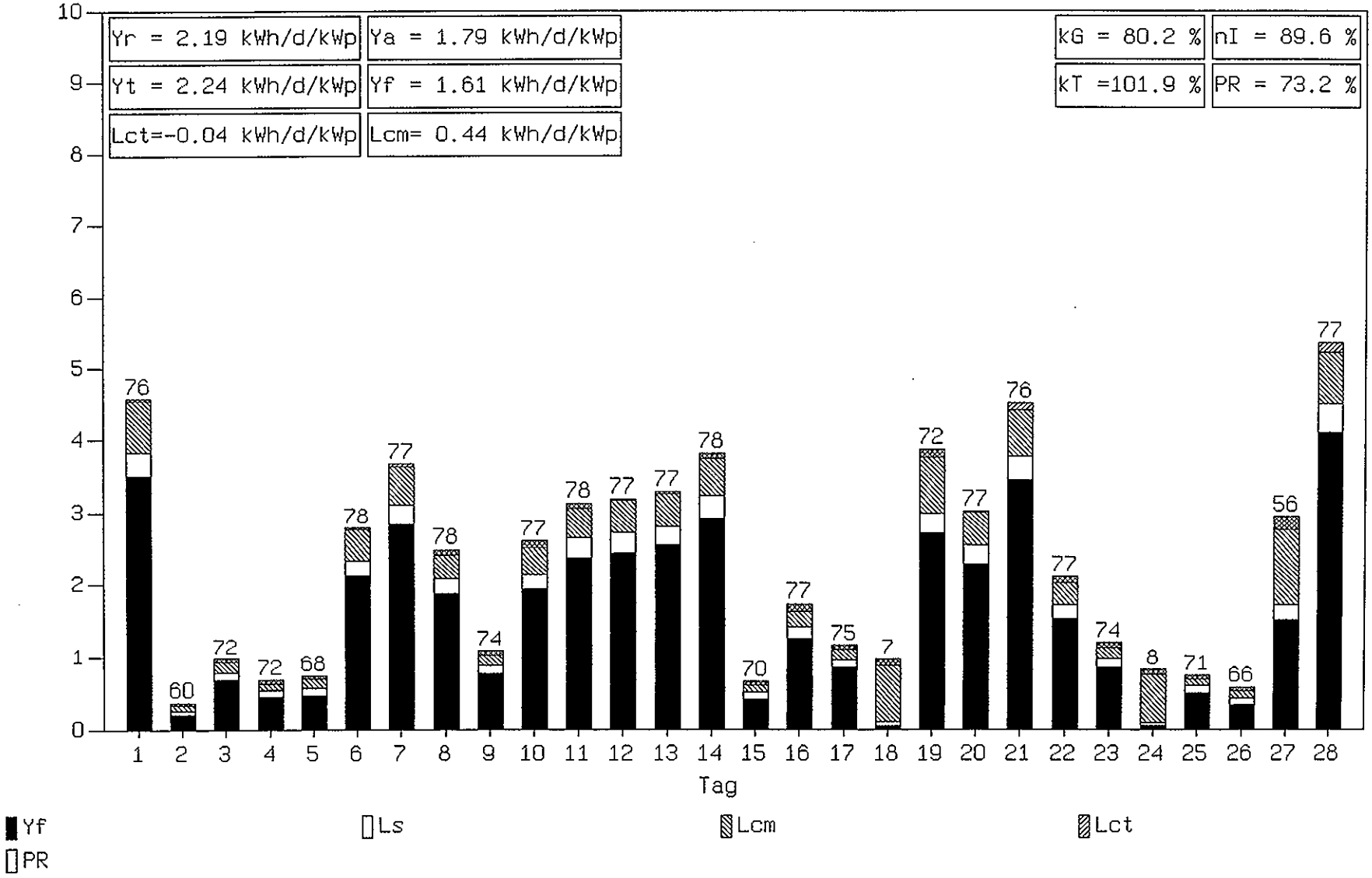
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 2.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

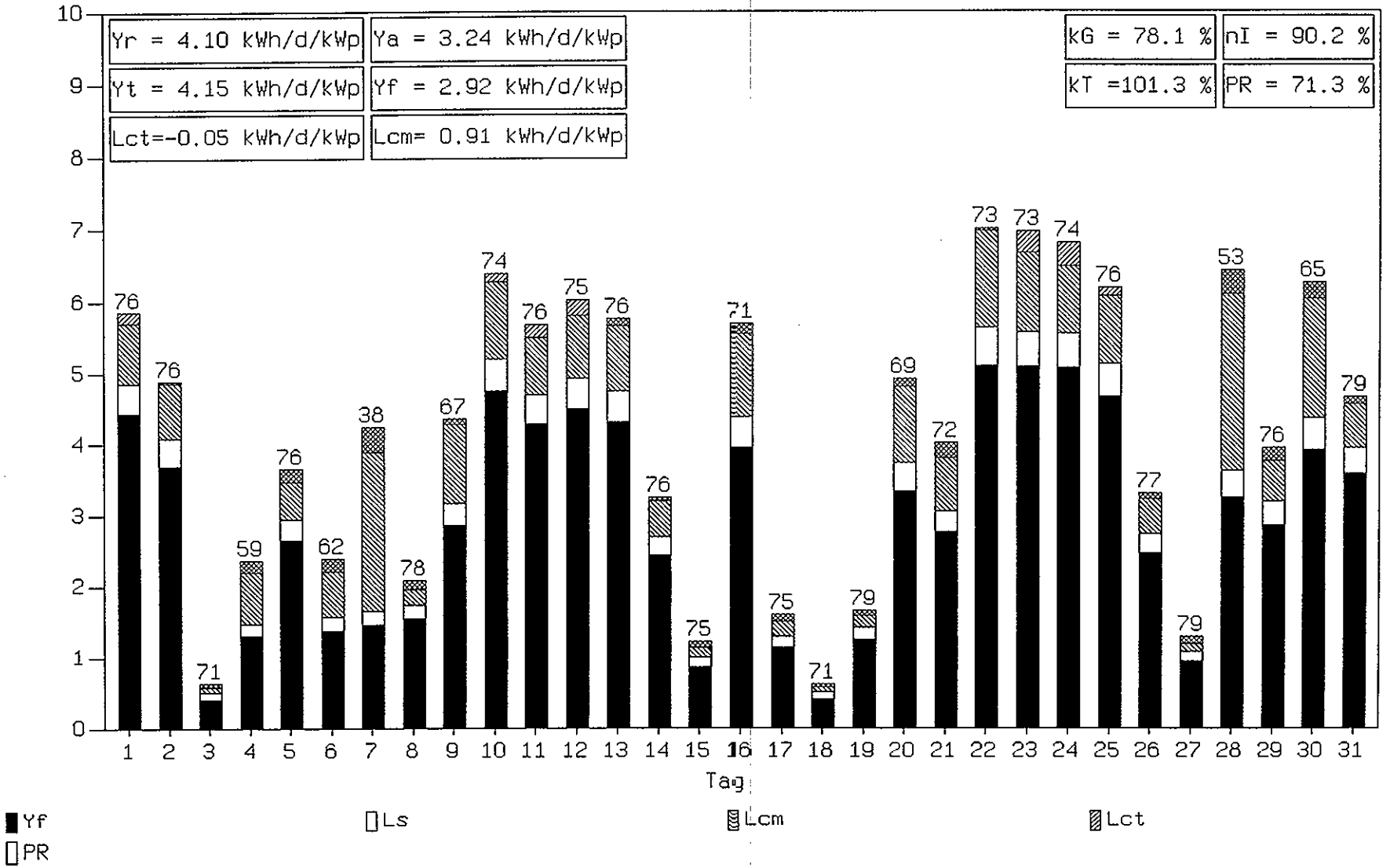
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 3.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



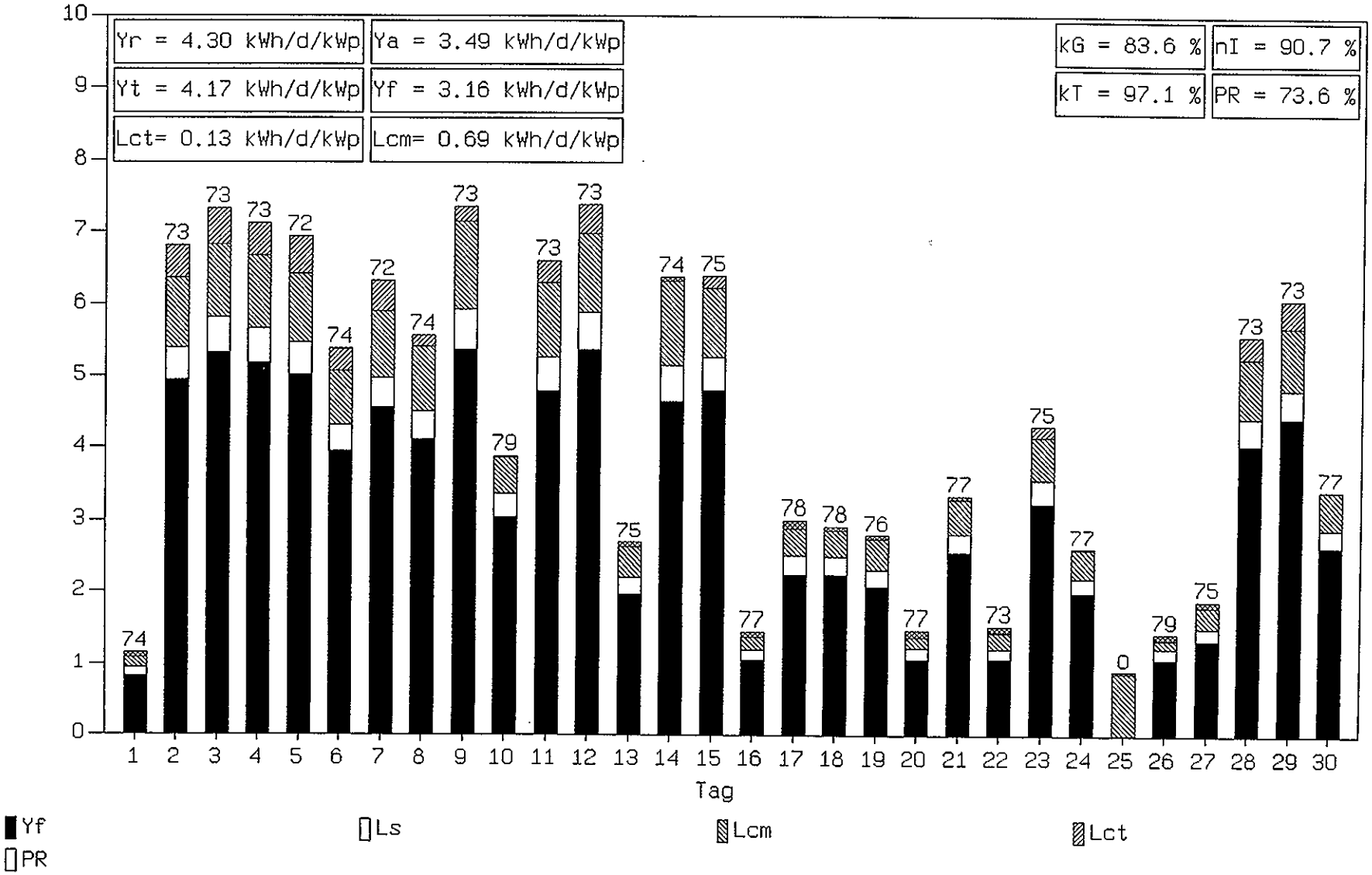
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 4.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

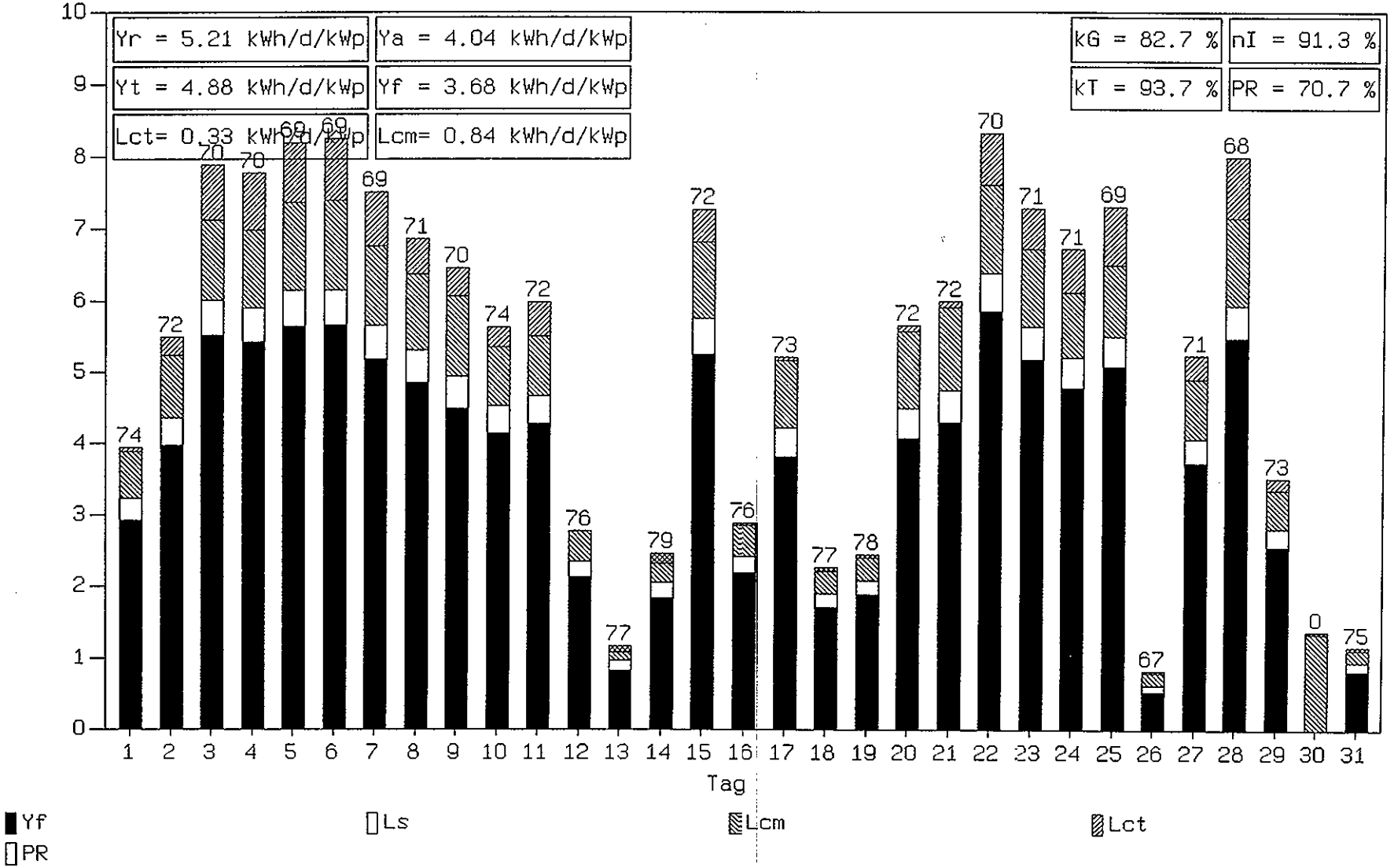
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 5.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



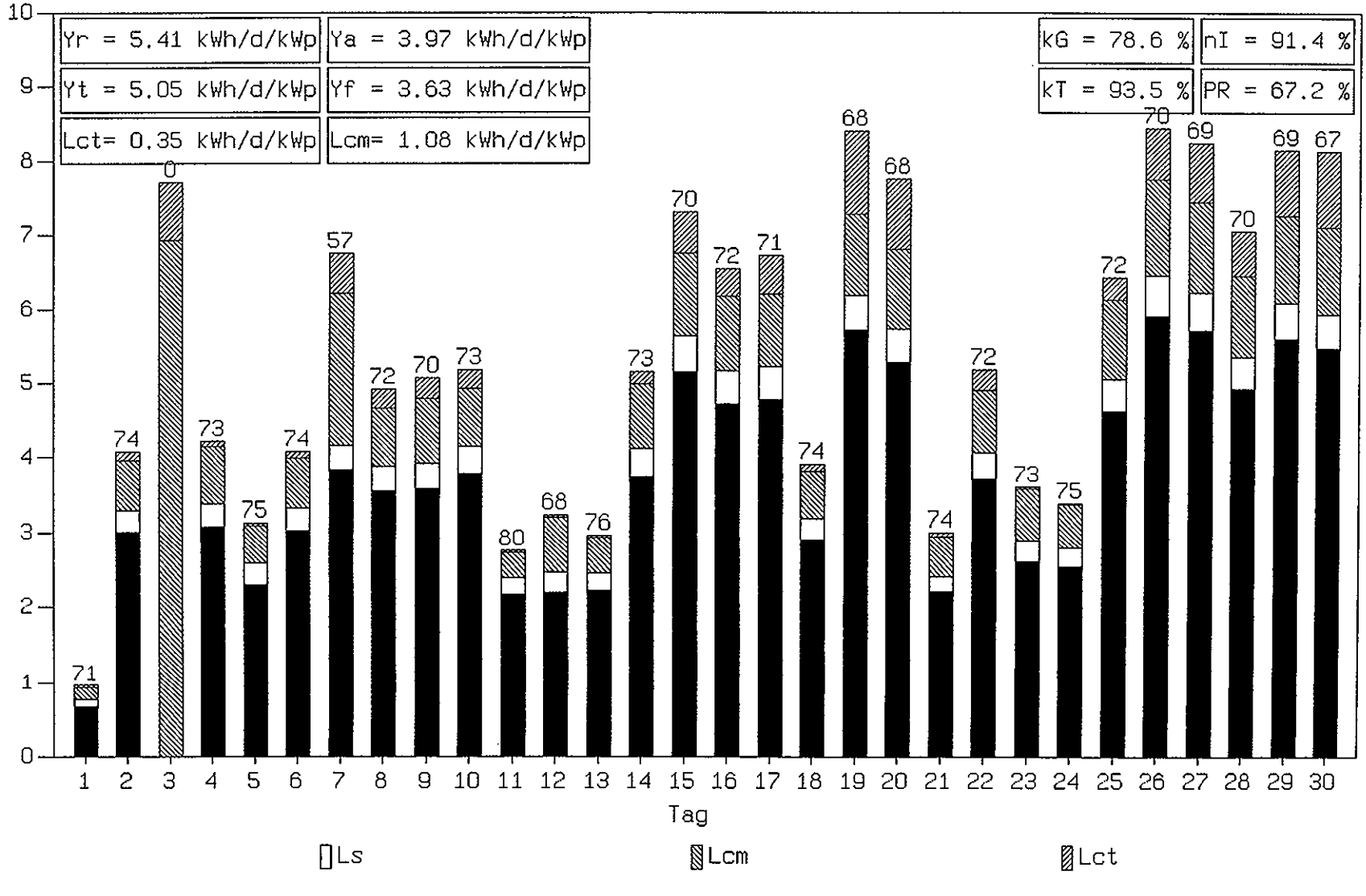
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 6.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

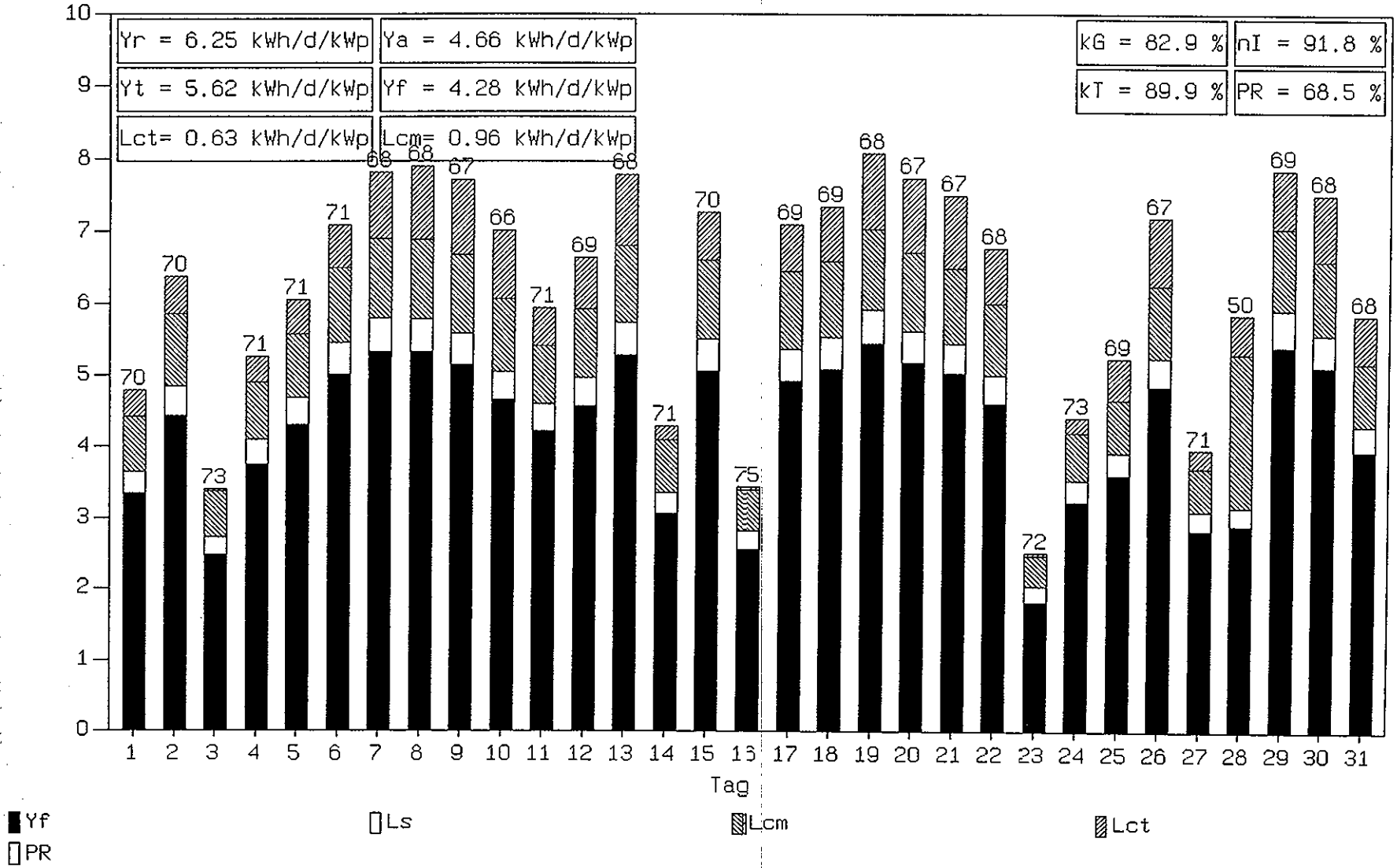
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 7.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

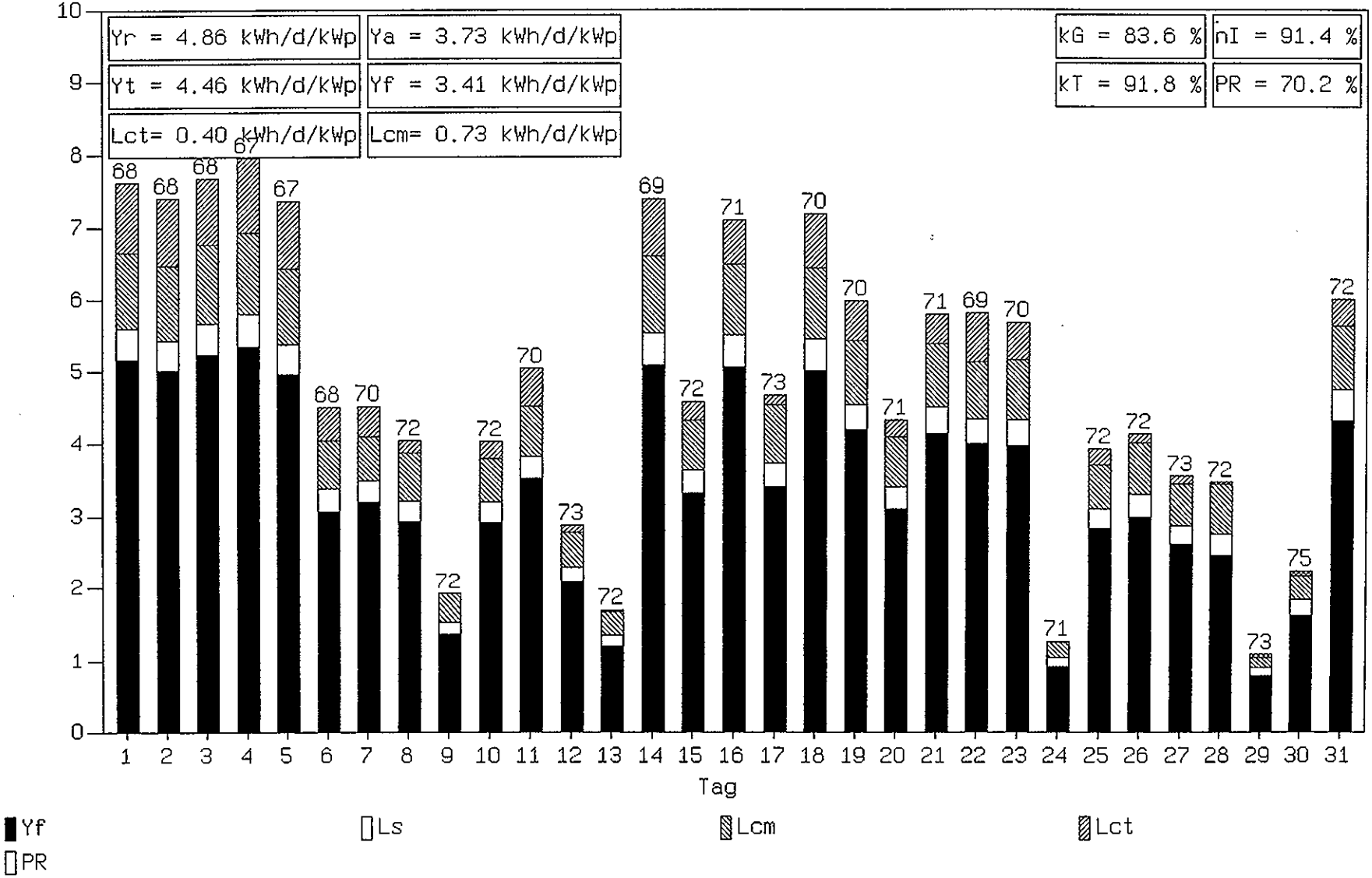
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 8.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

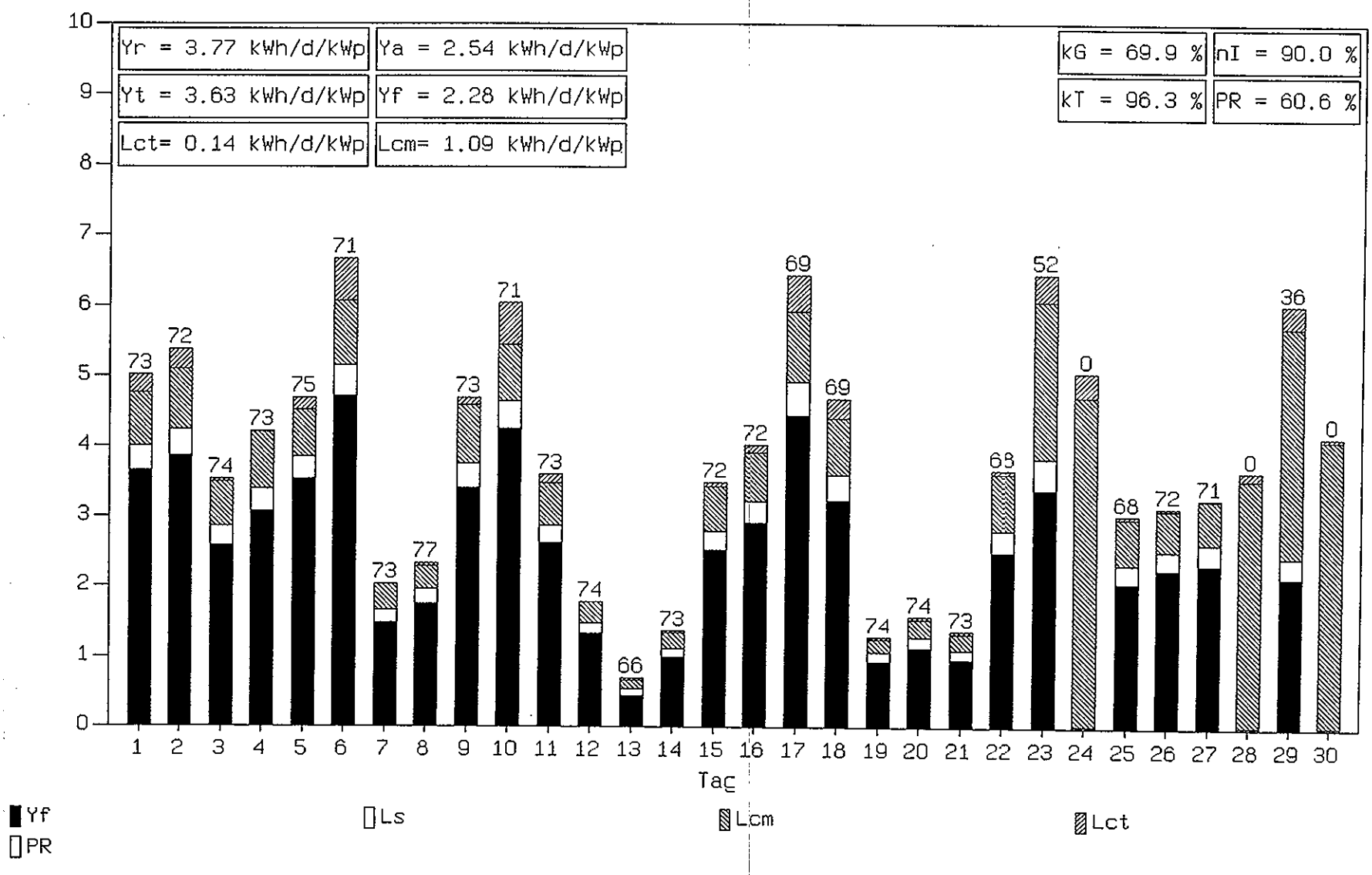
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 9.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

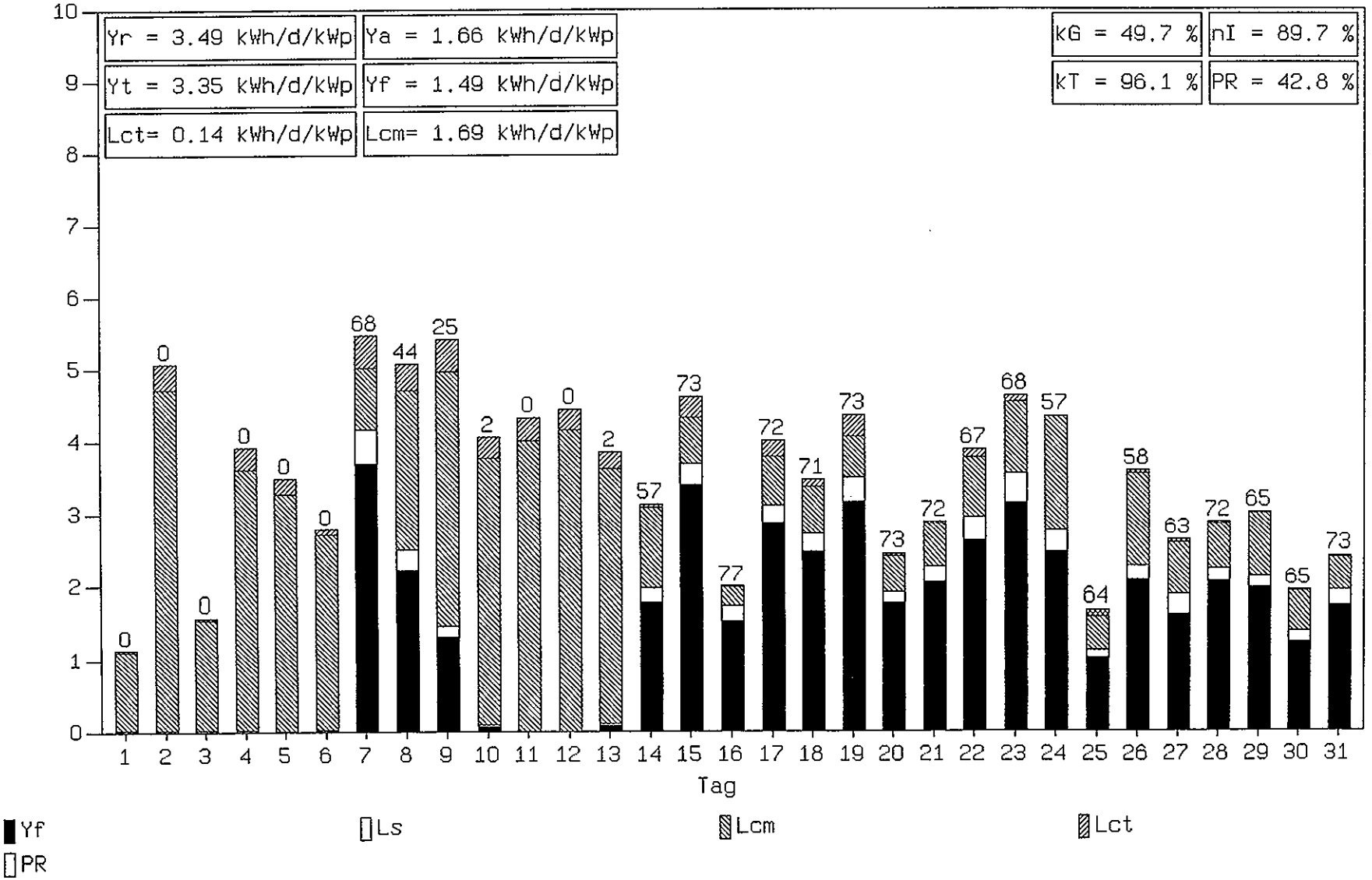
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 10.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

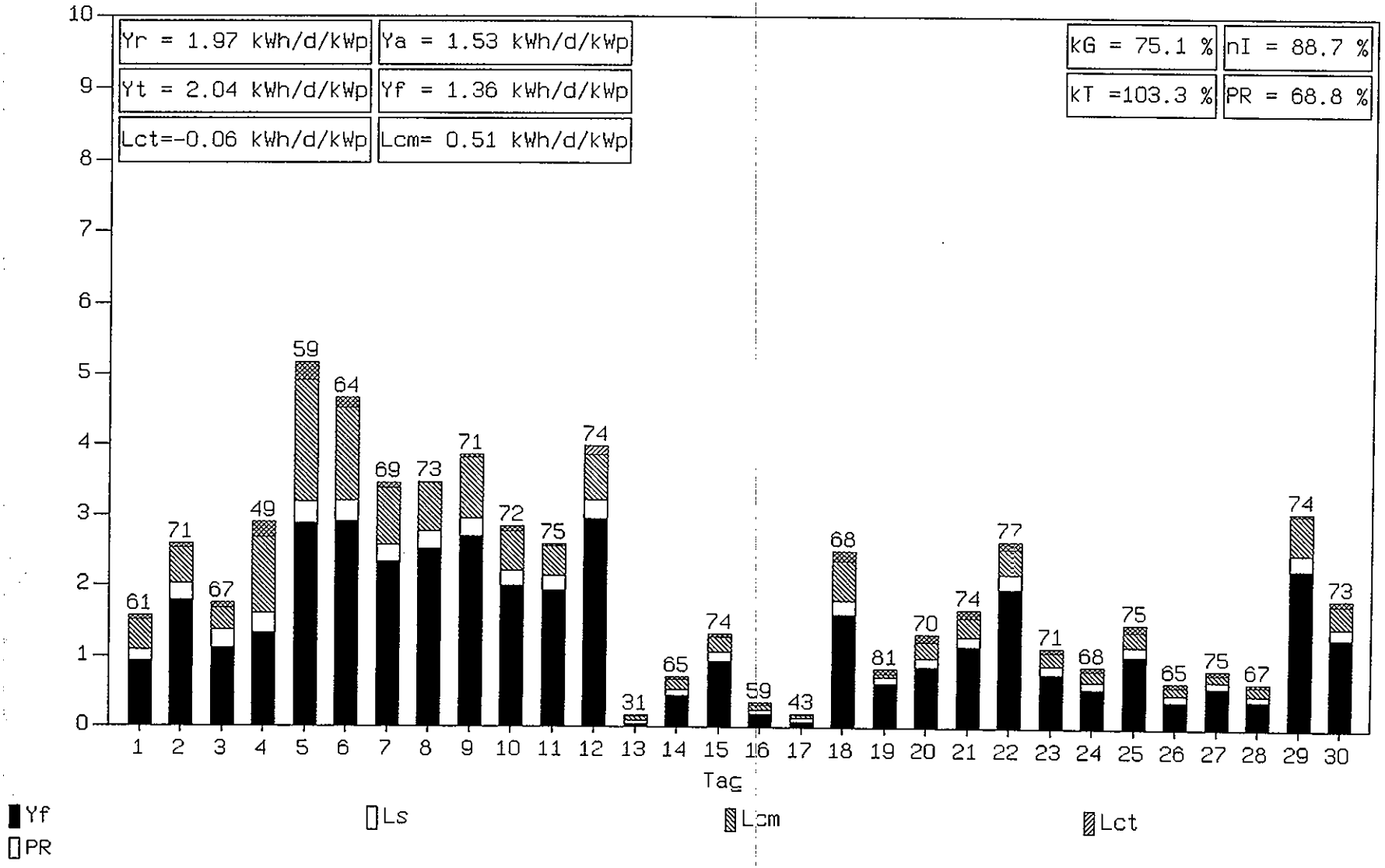
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 11.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

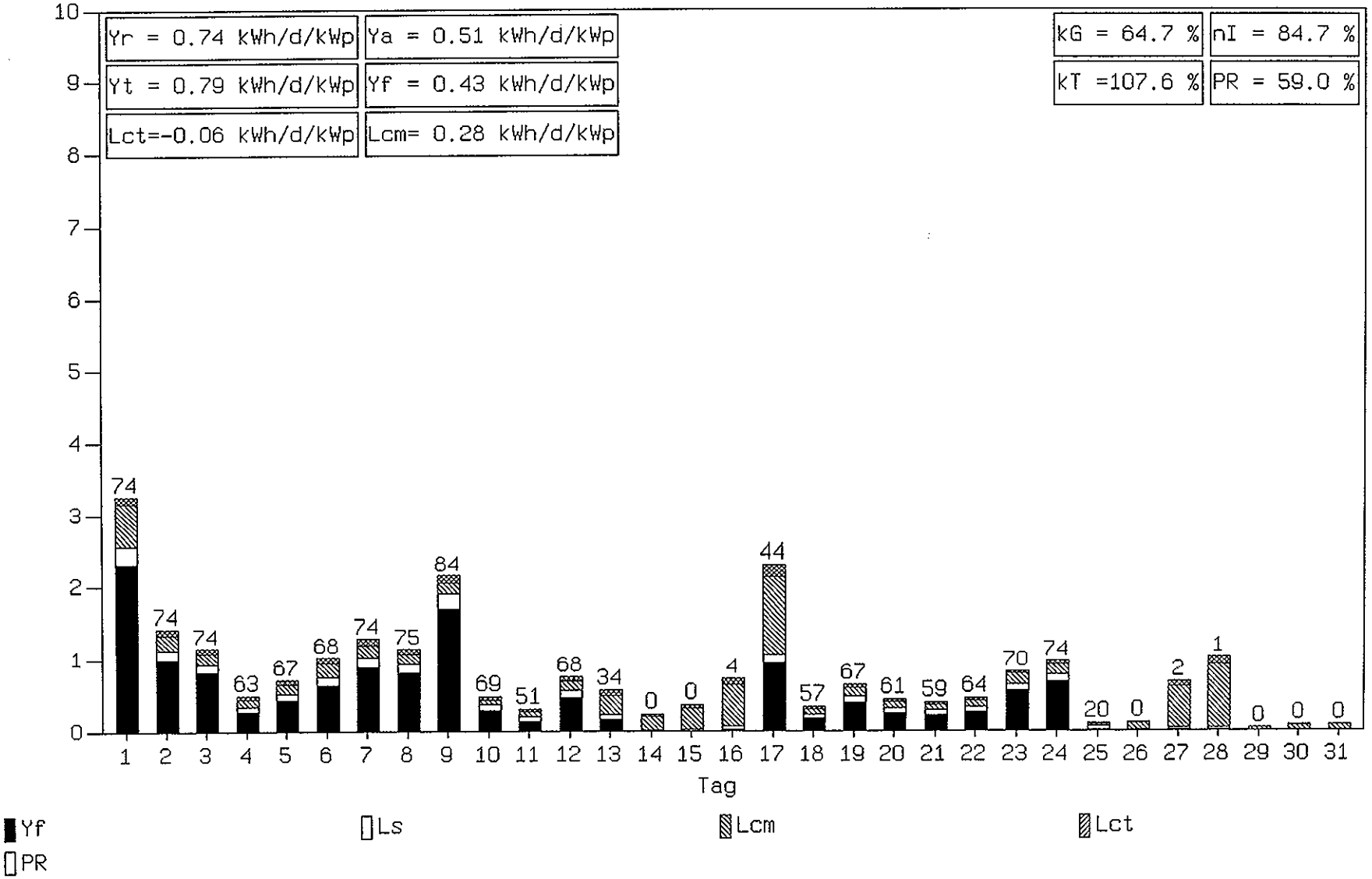
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 12.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

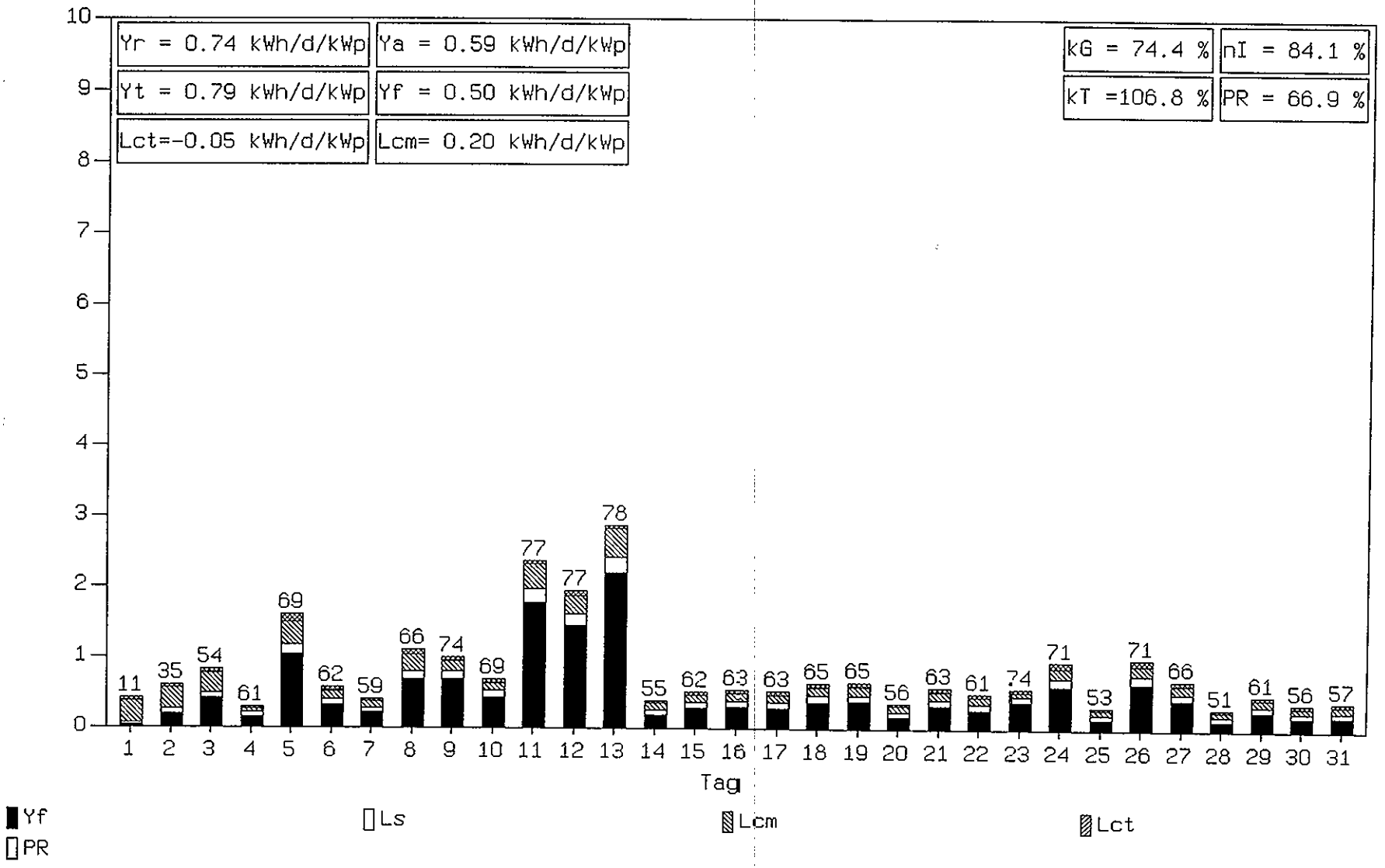
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 1.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



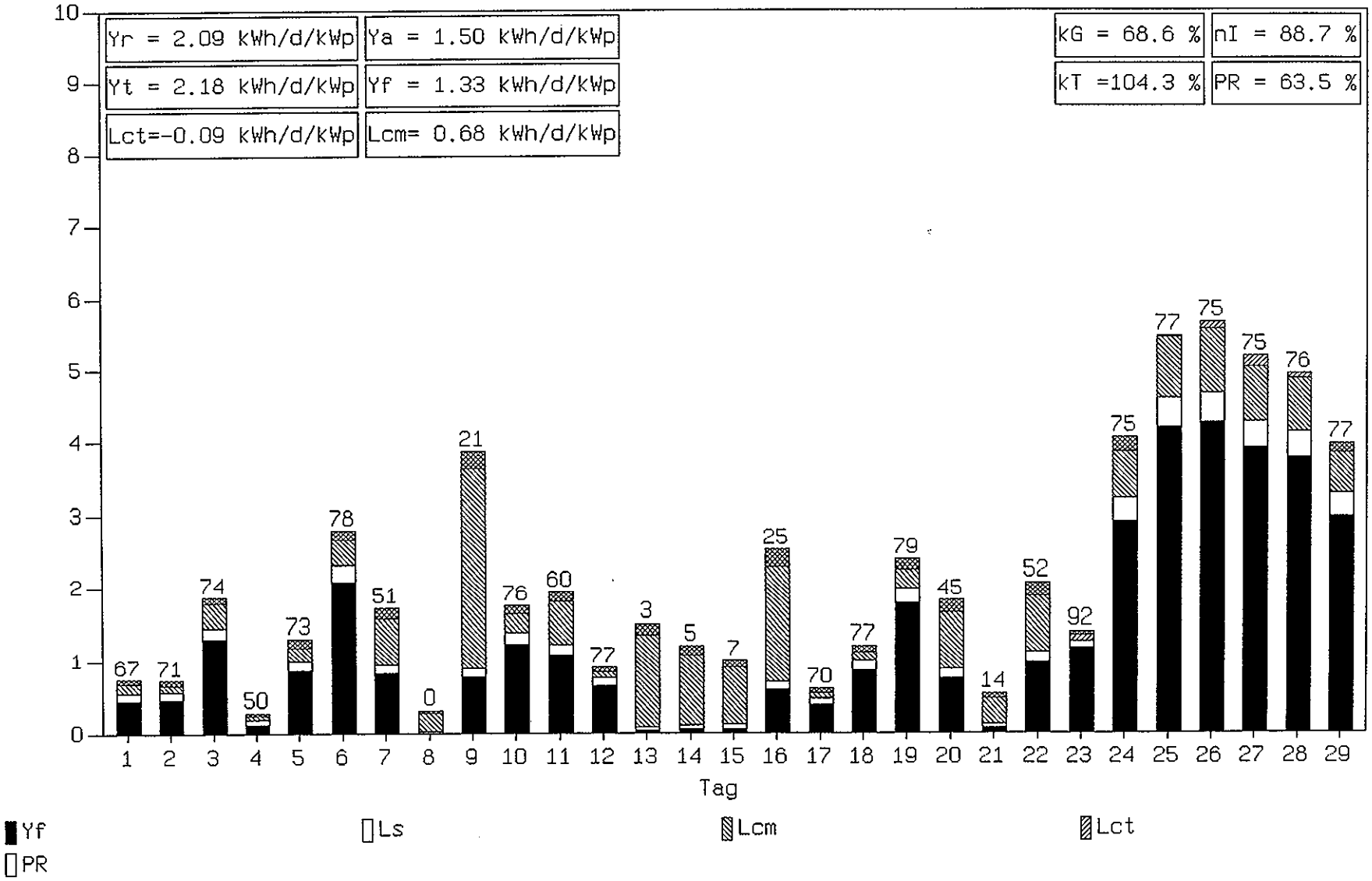
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 2.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

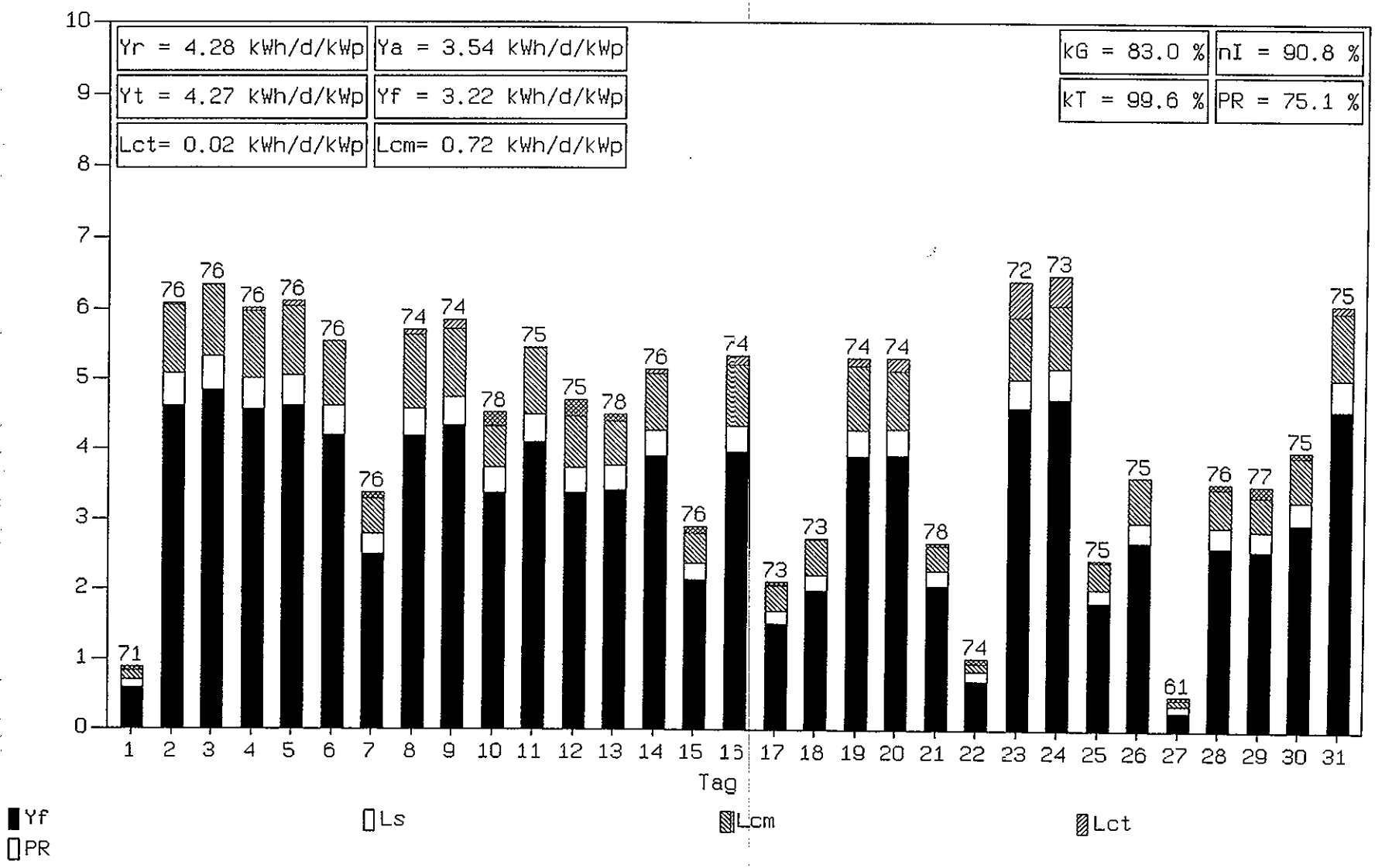
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 3.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



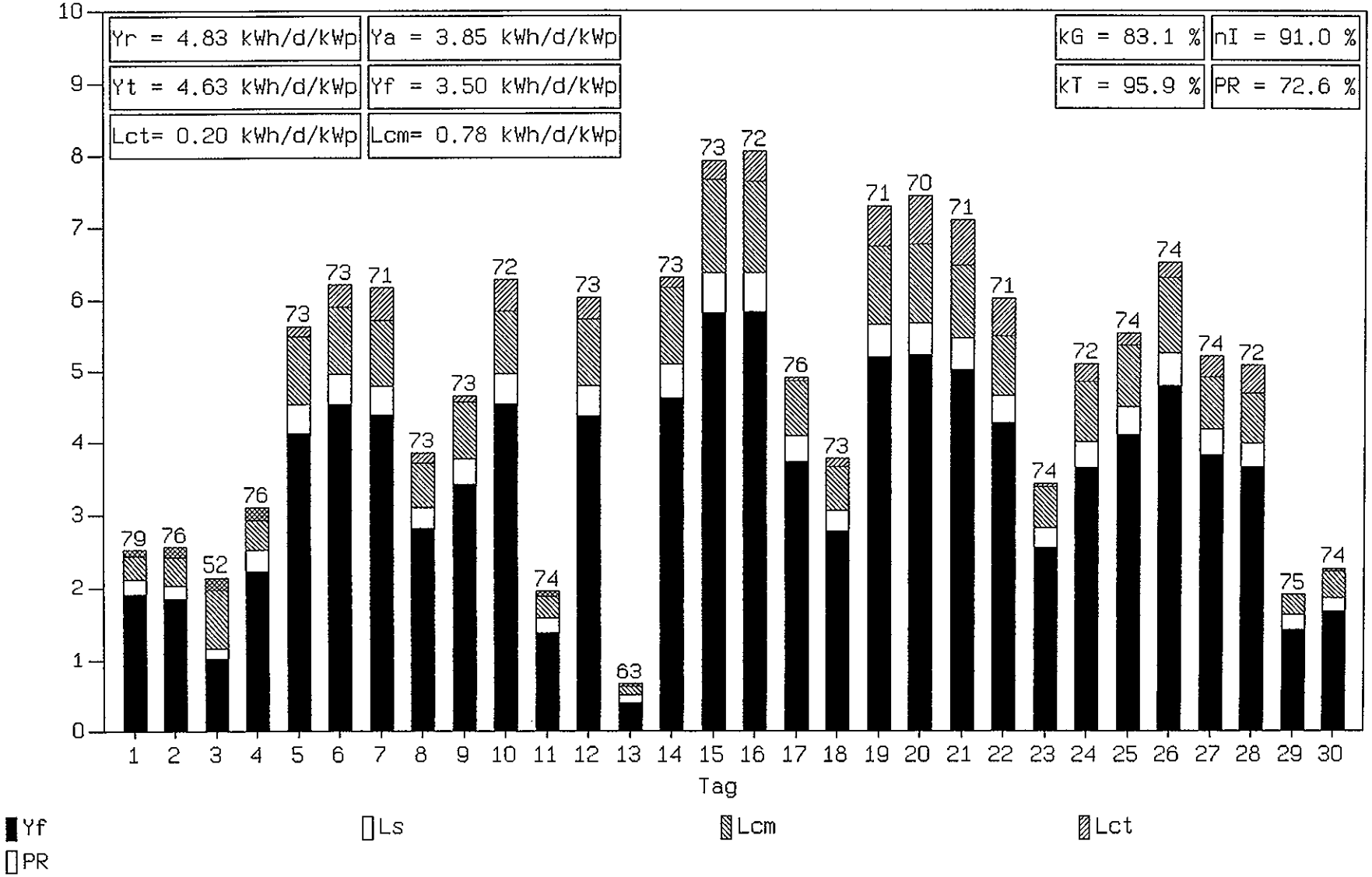
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 4.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

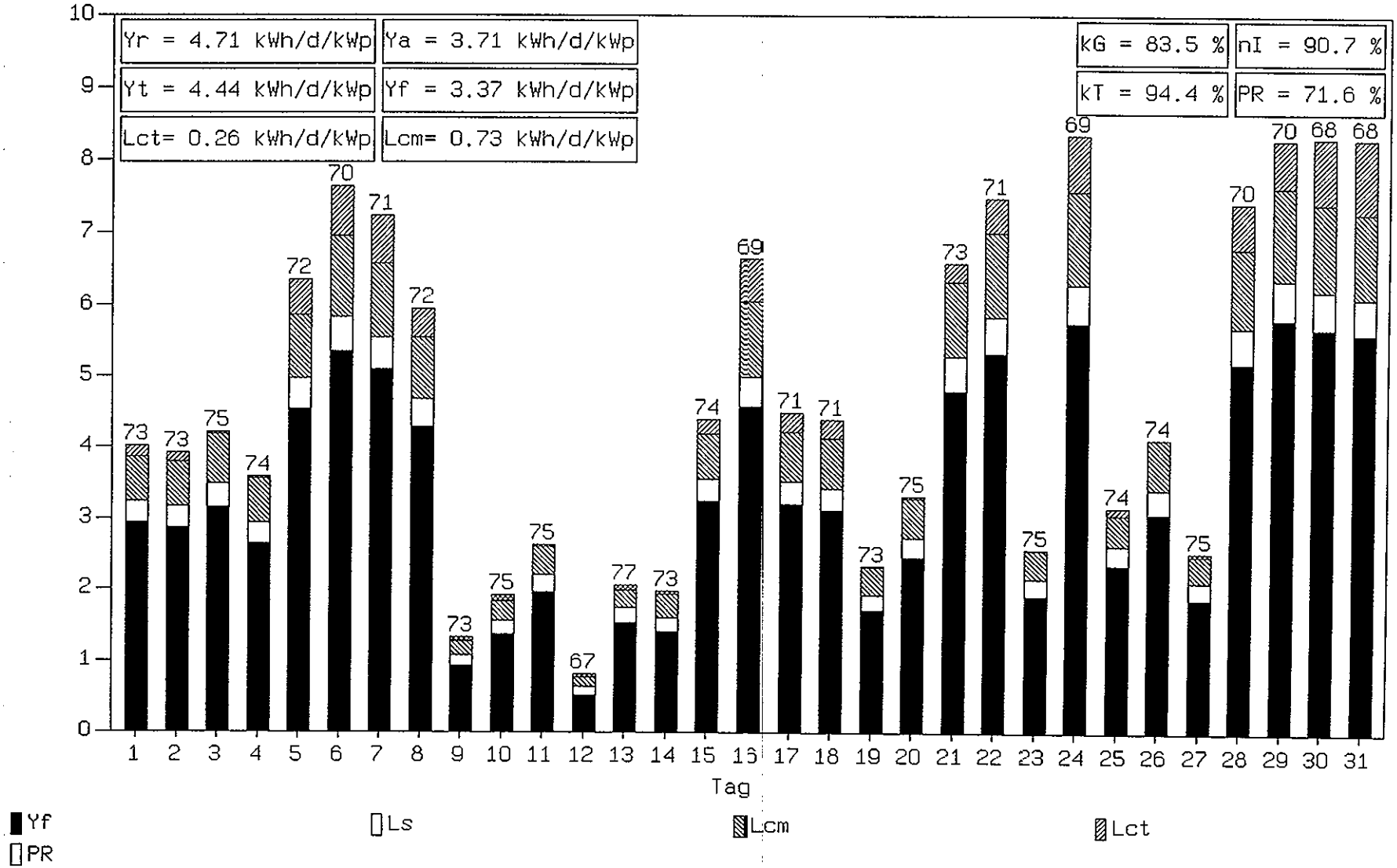
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 5.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



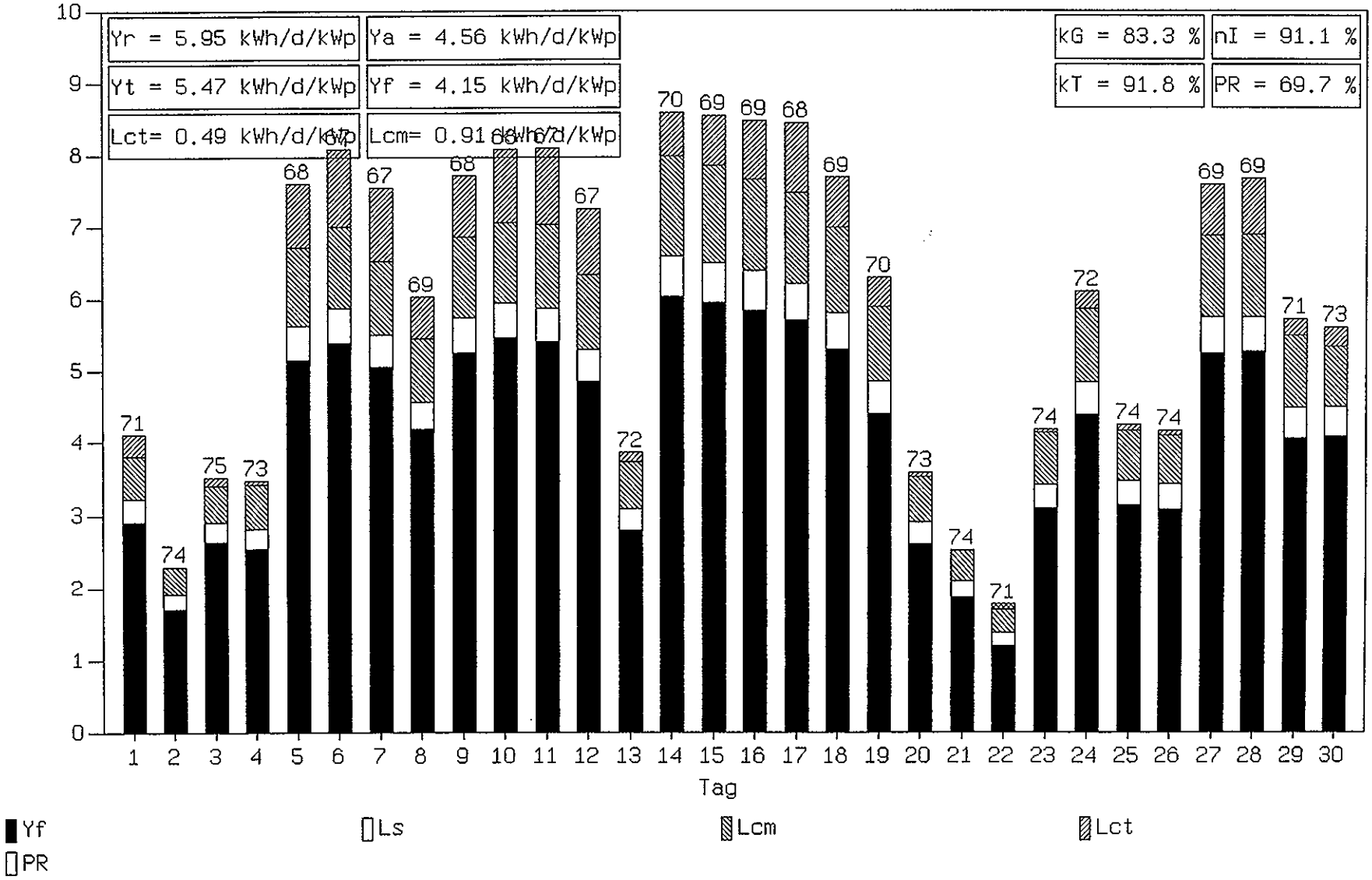
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 6.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



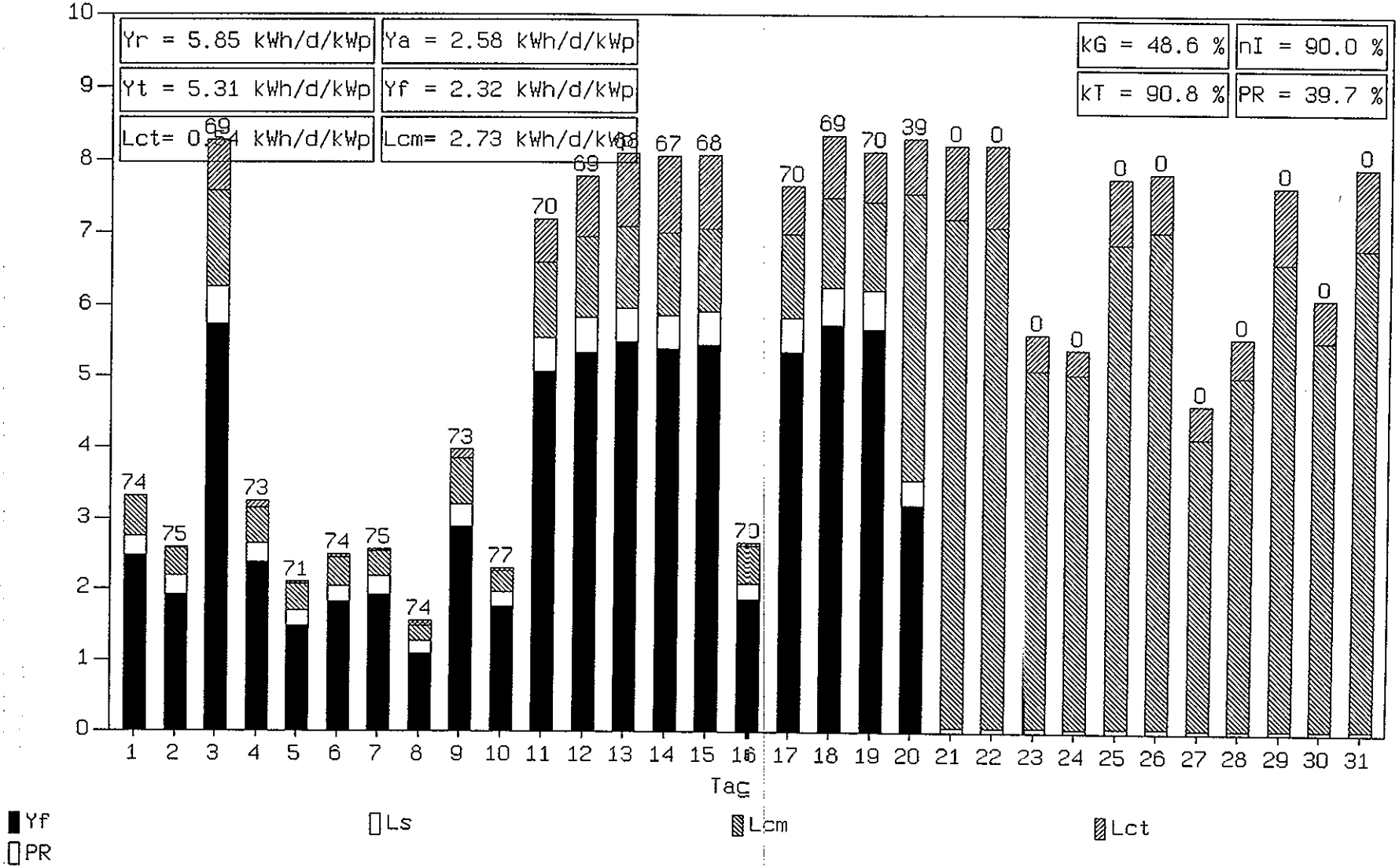
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 7.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



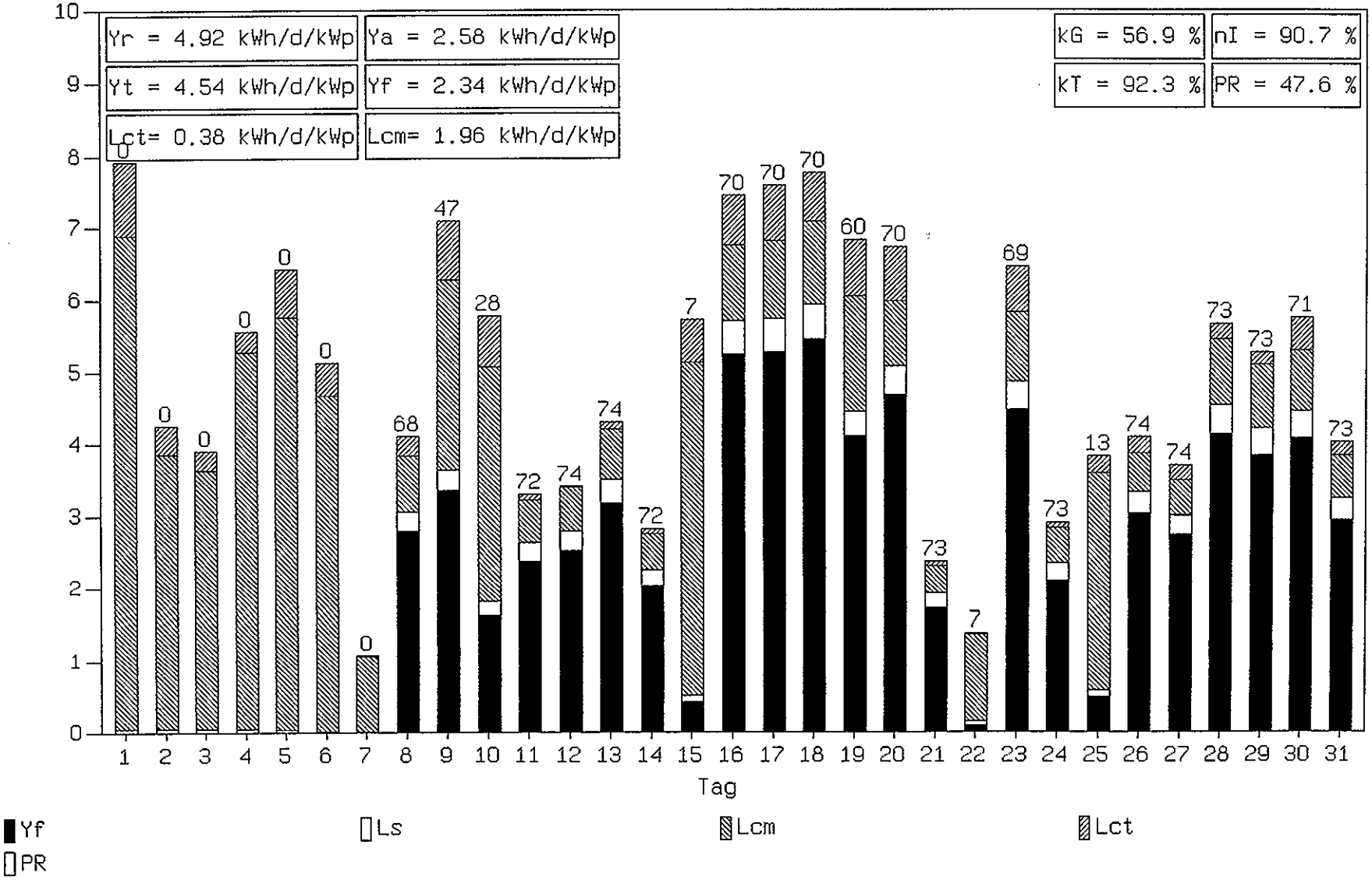
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 8.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

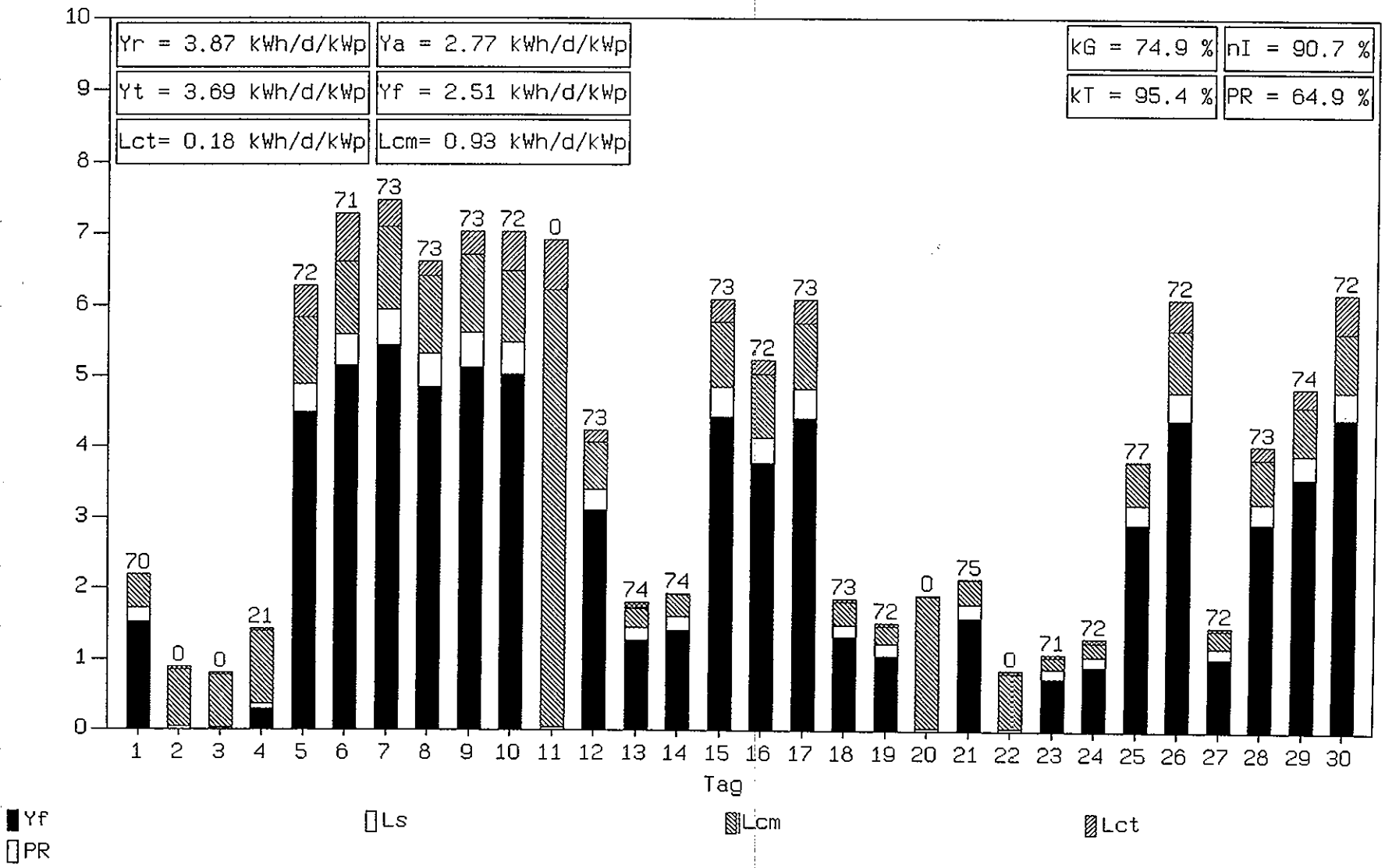
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 9.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



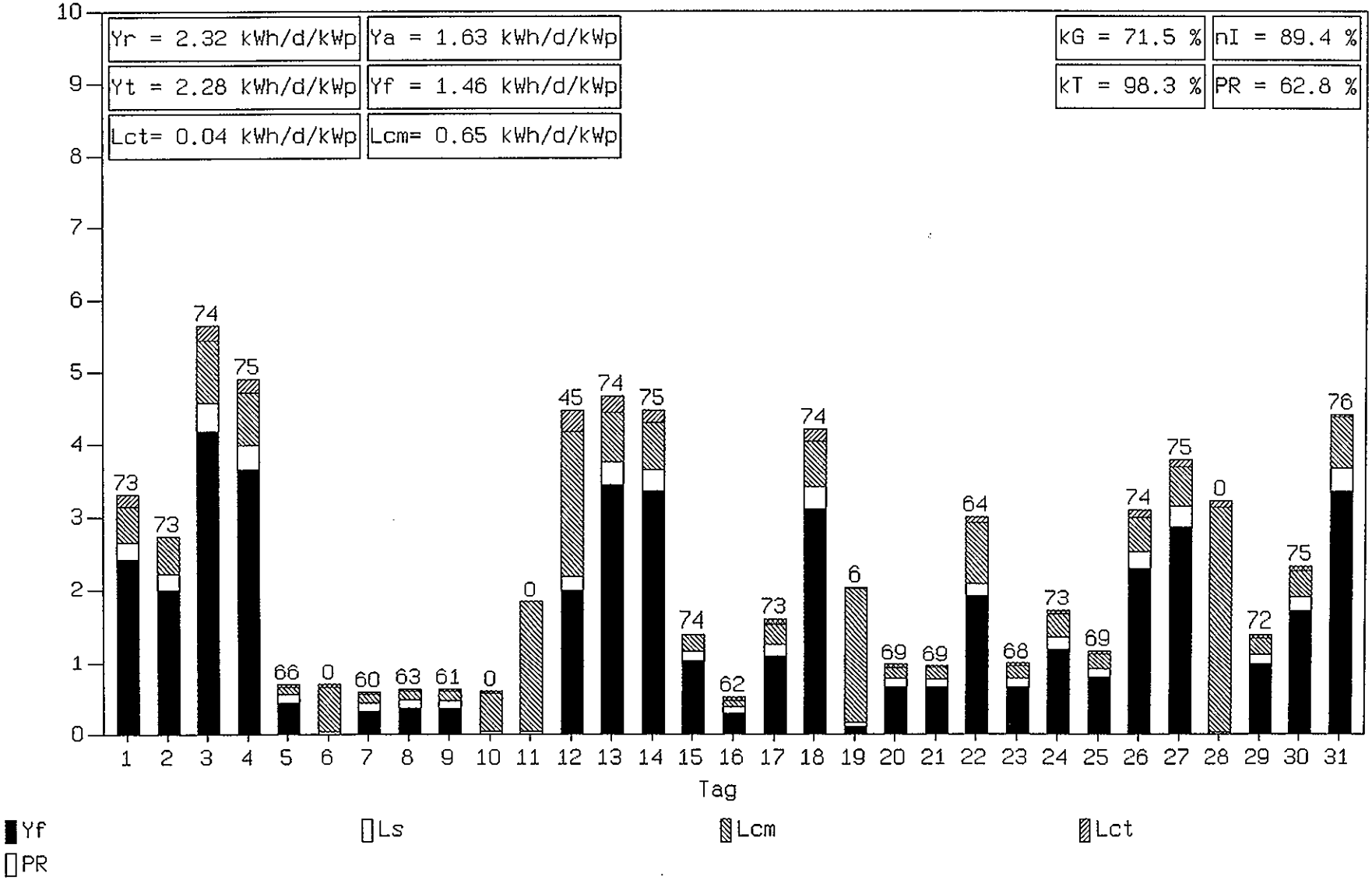
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 10.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

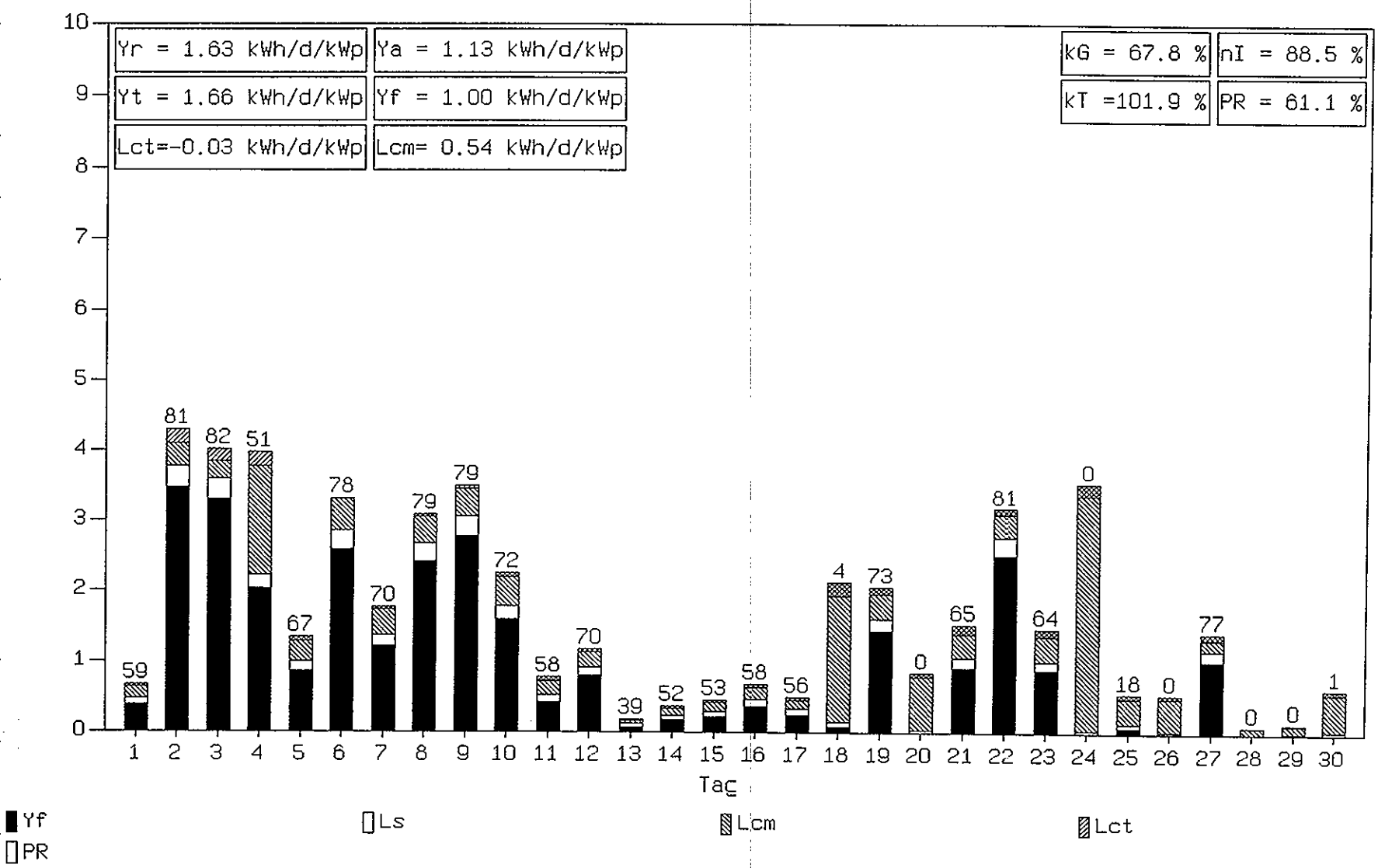
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 11.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

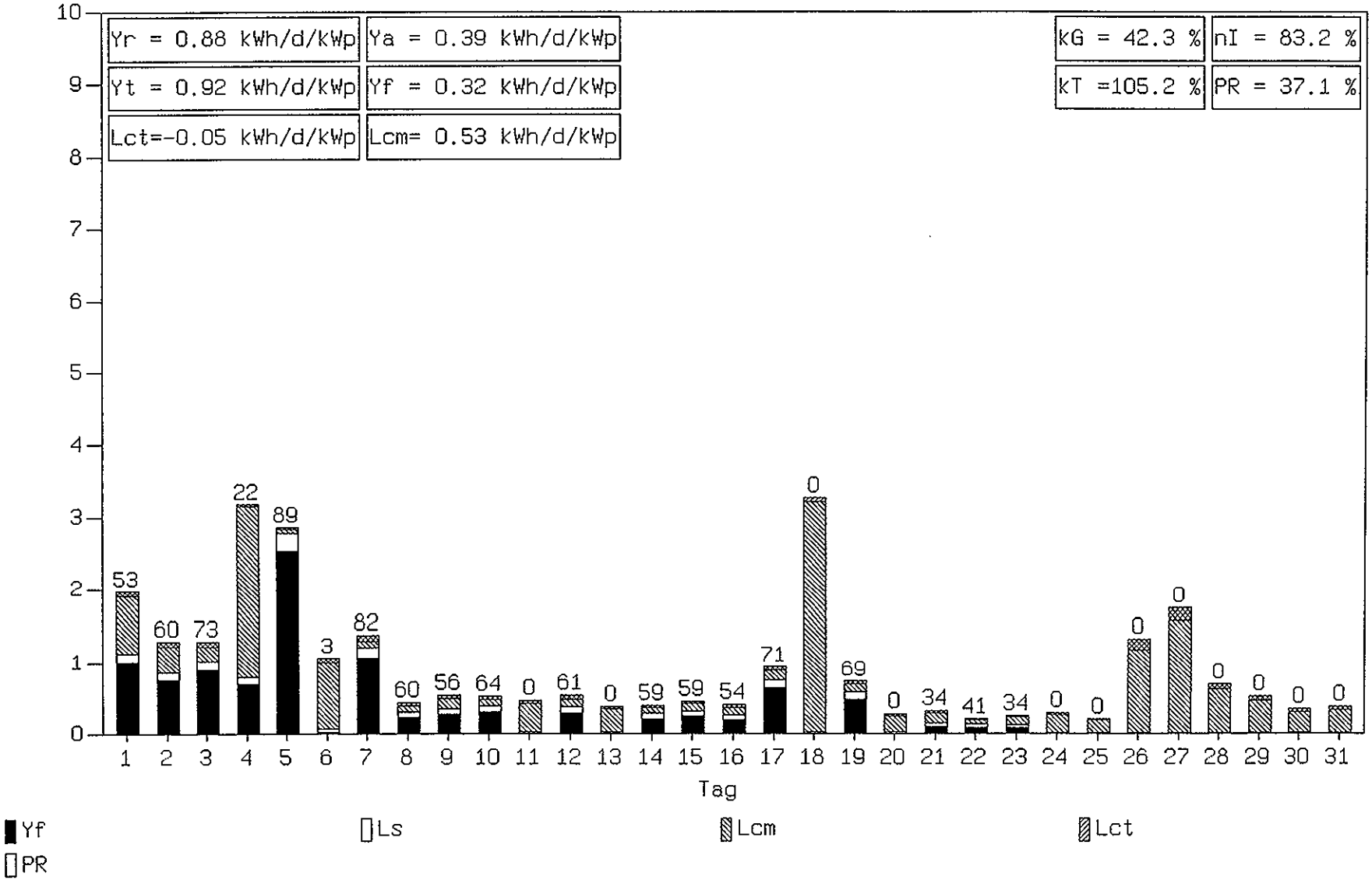
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 12.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

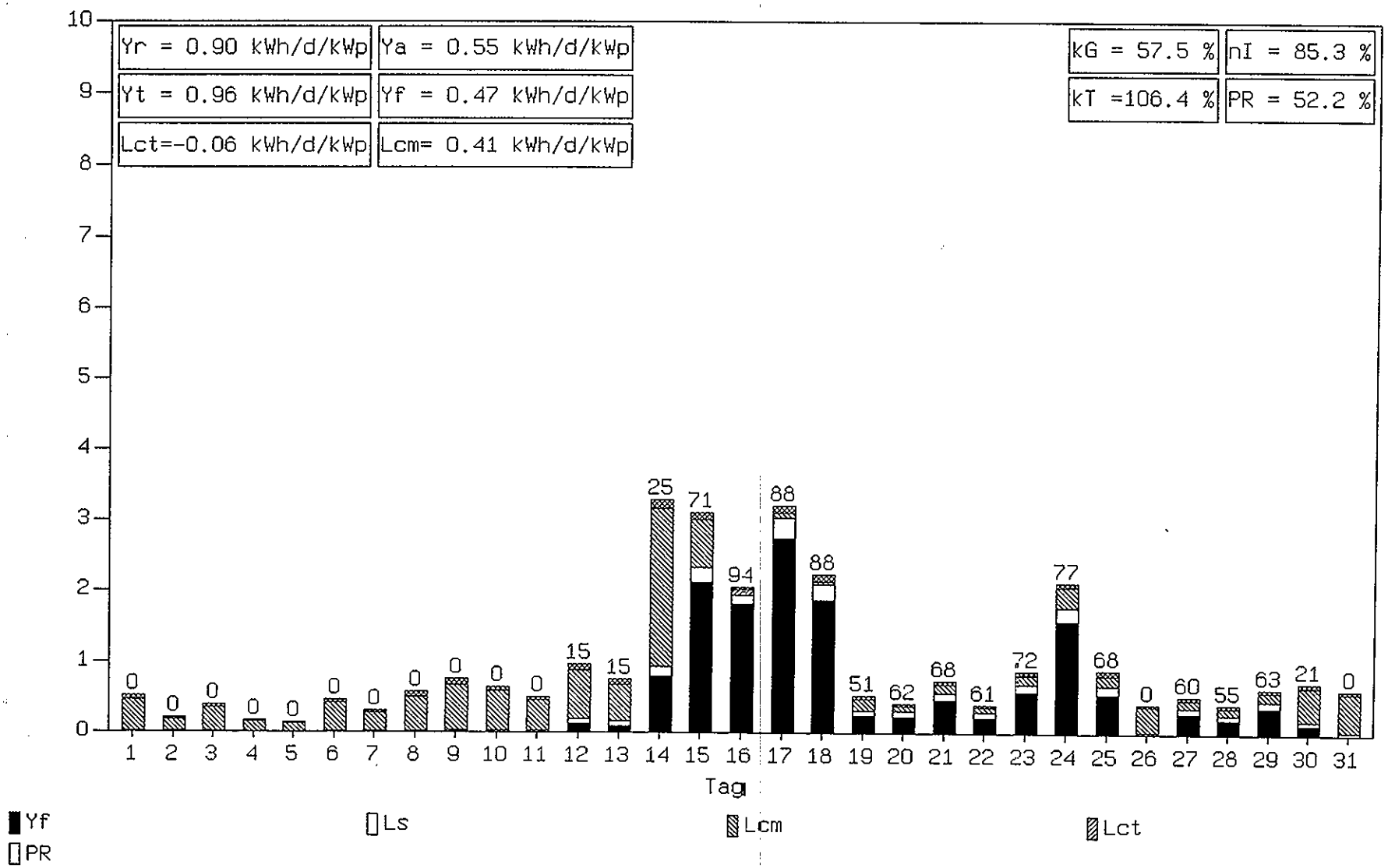
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 1.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



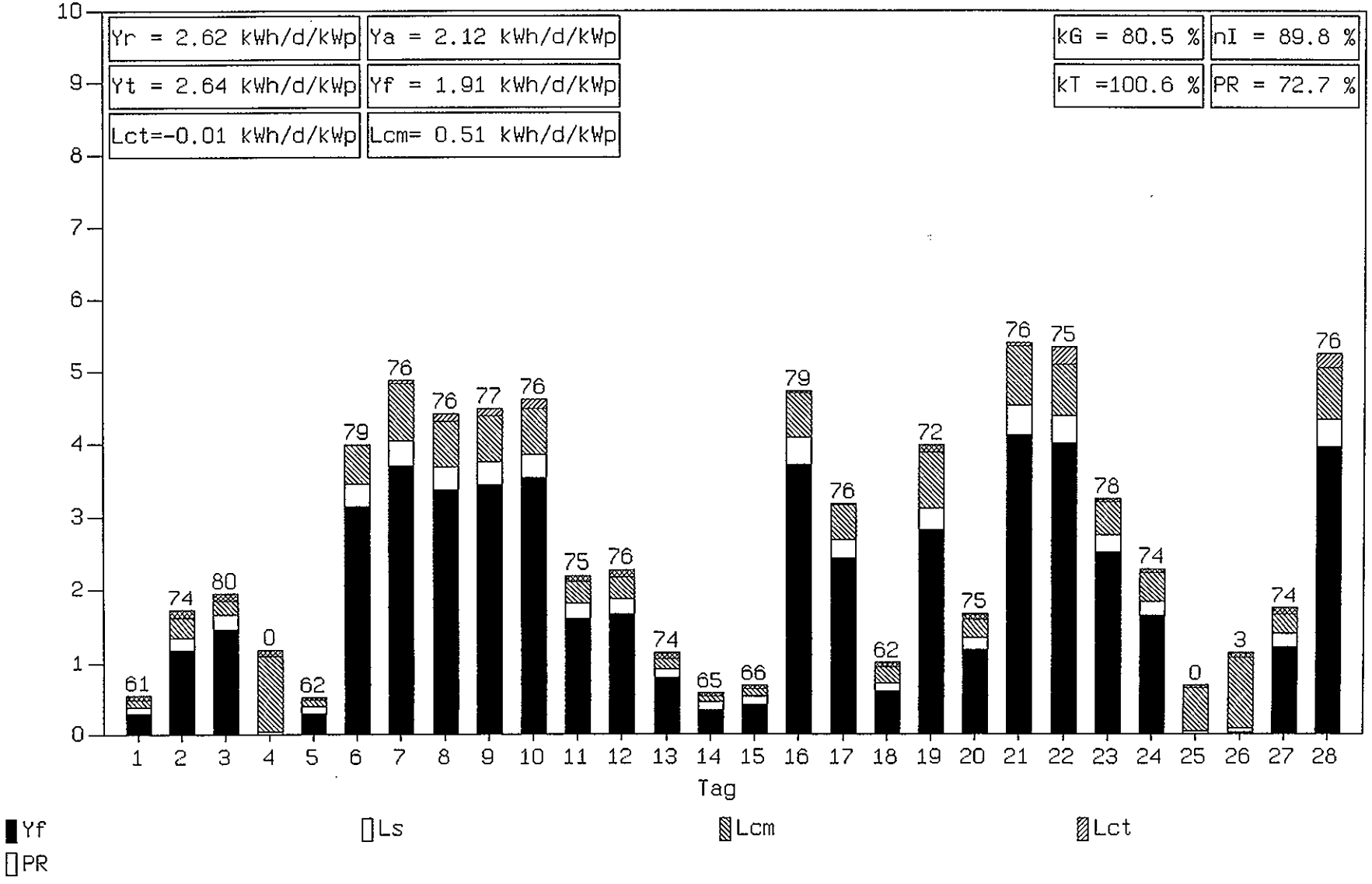
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 2.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

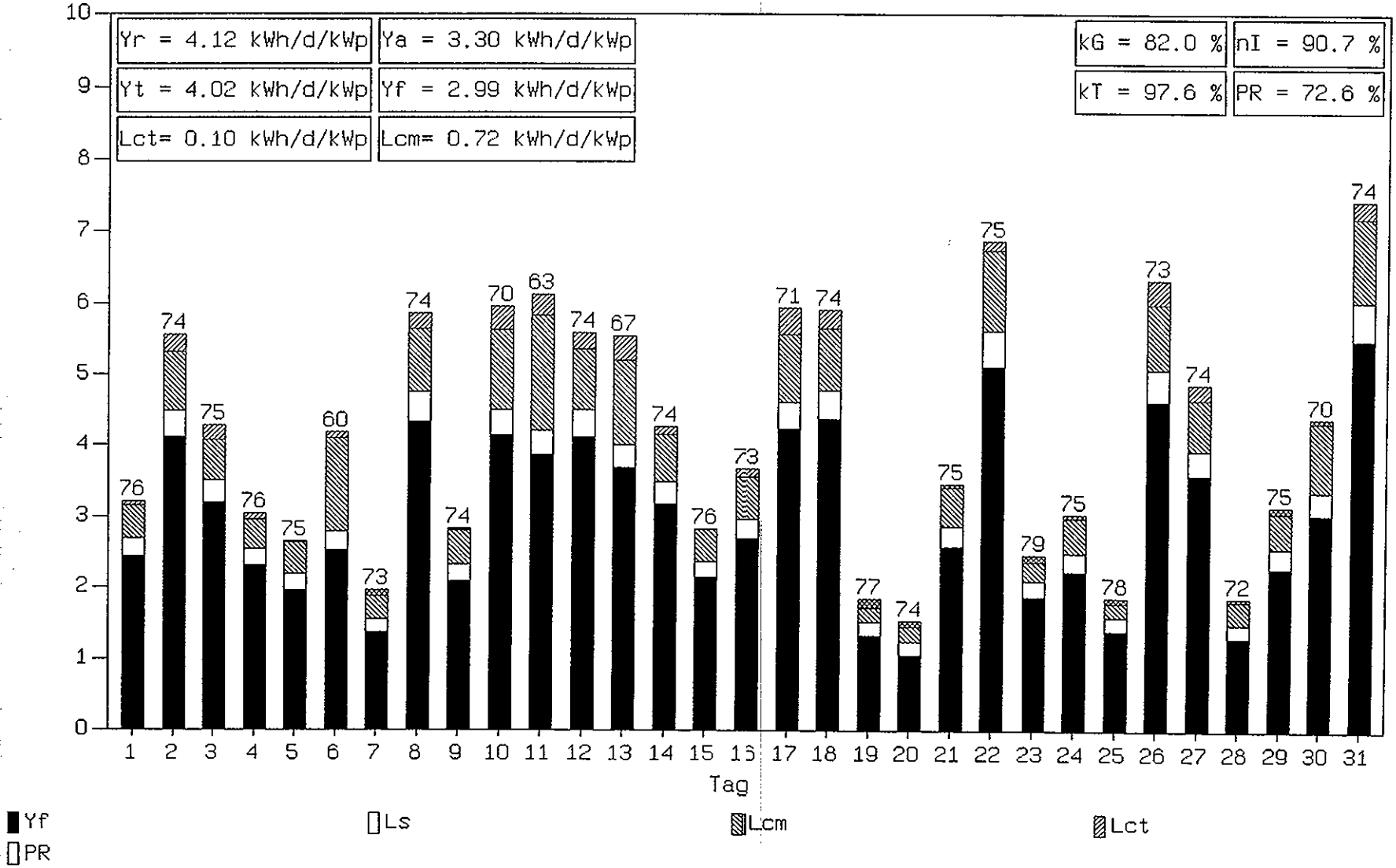
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 3.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



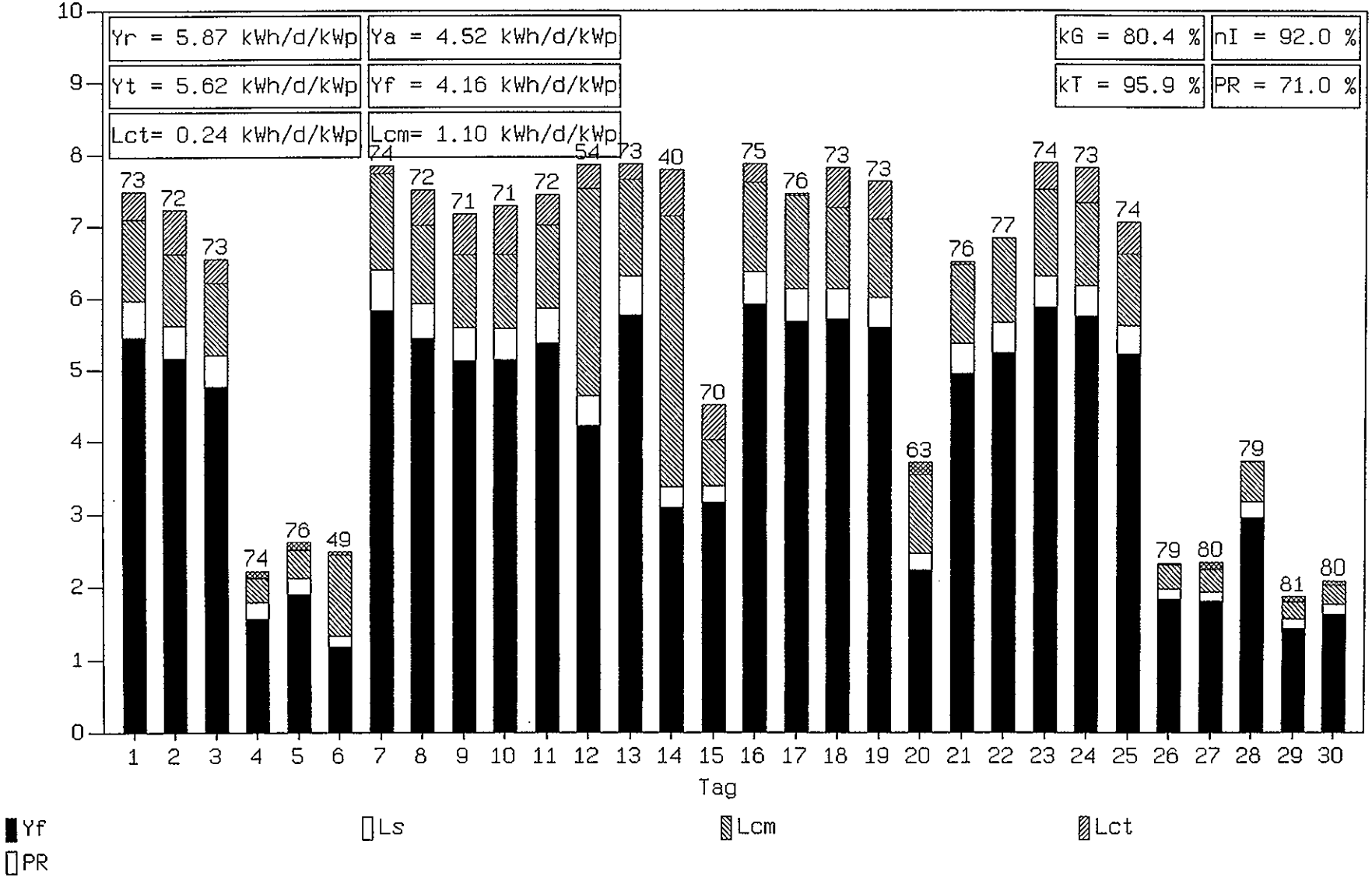
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 4.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

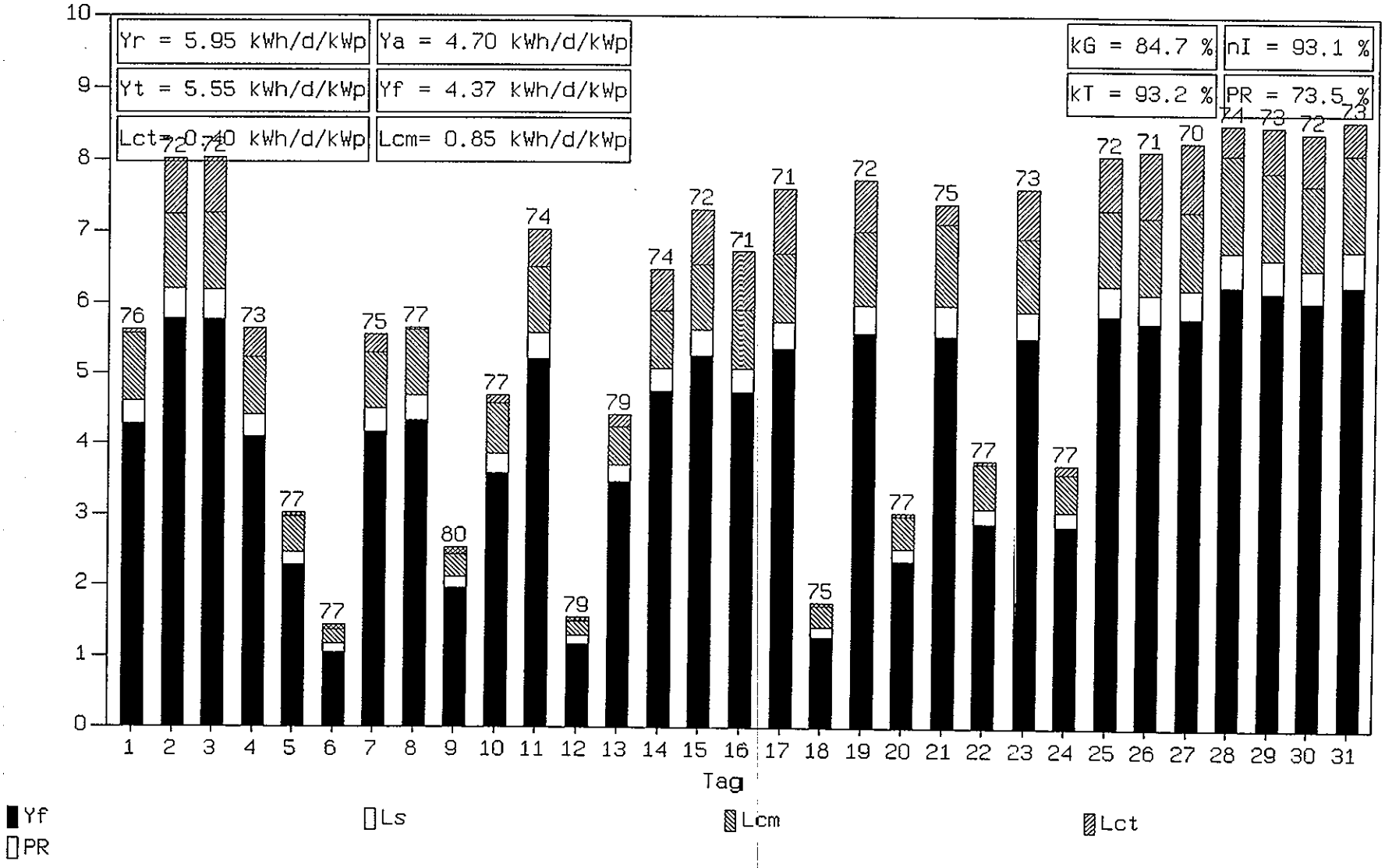
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 5.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



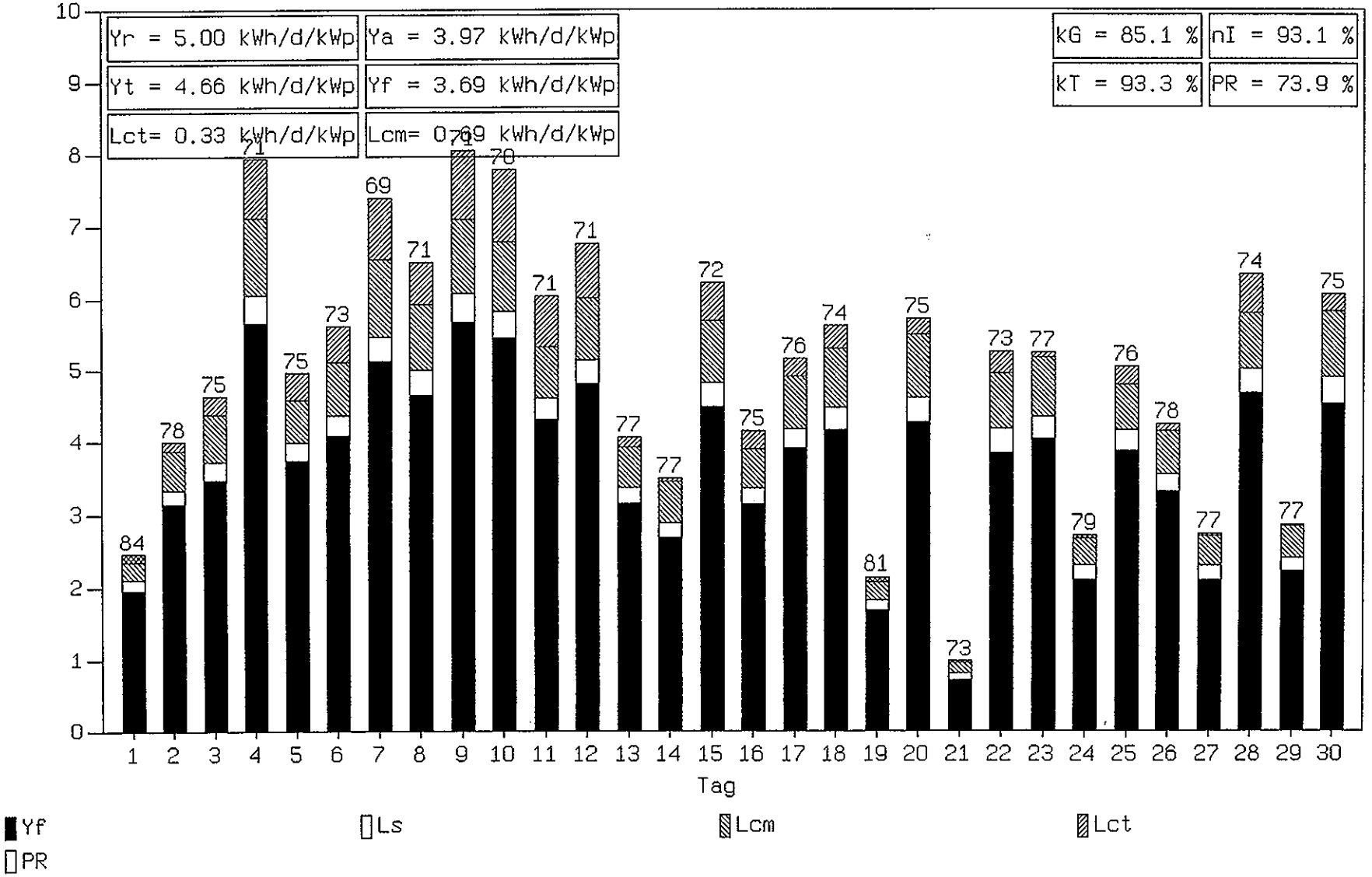
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 6.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

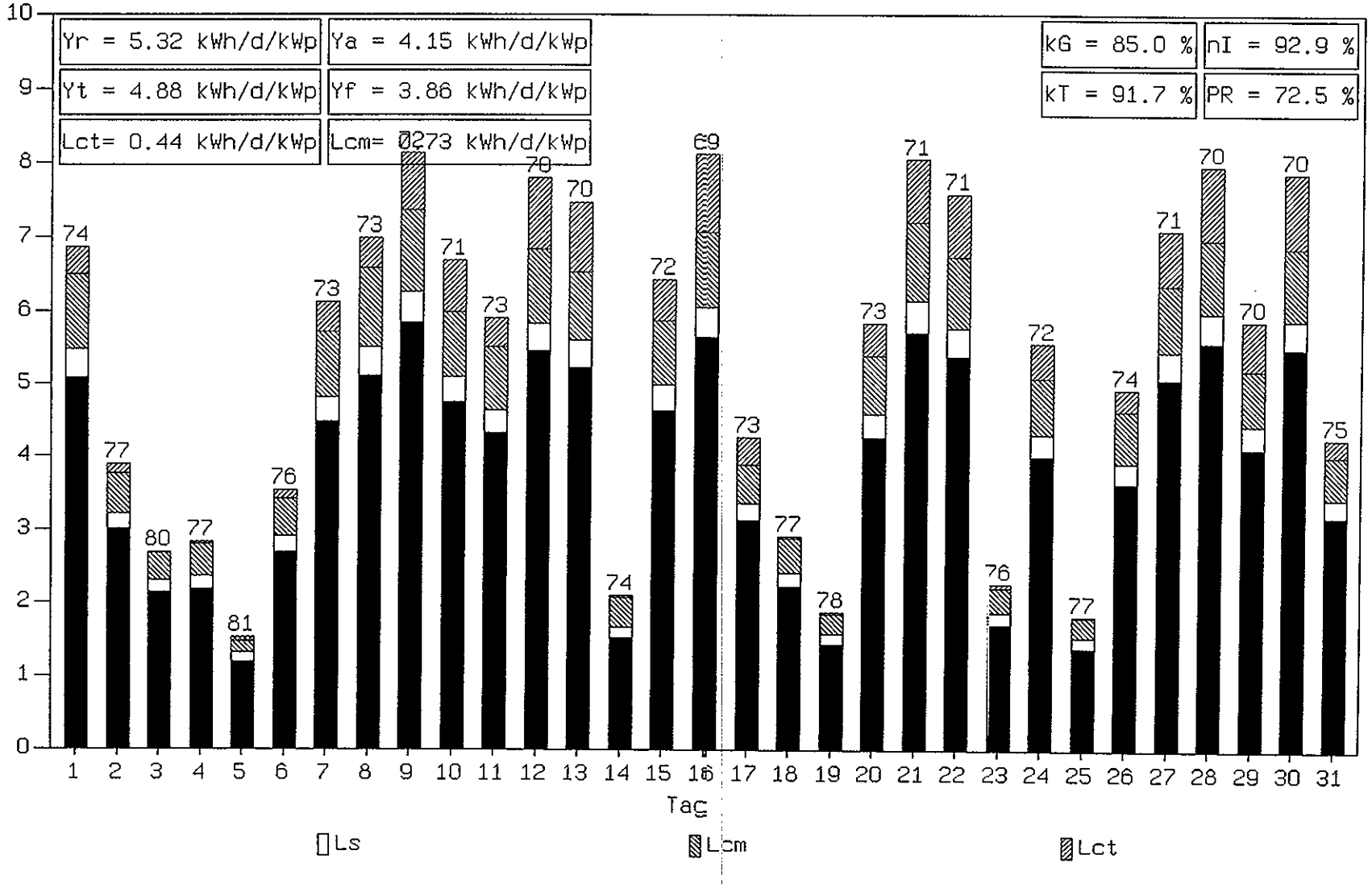
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 7.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

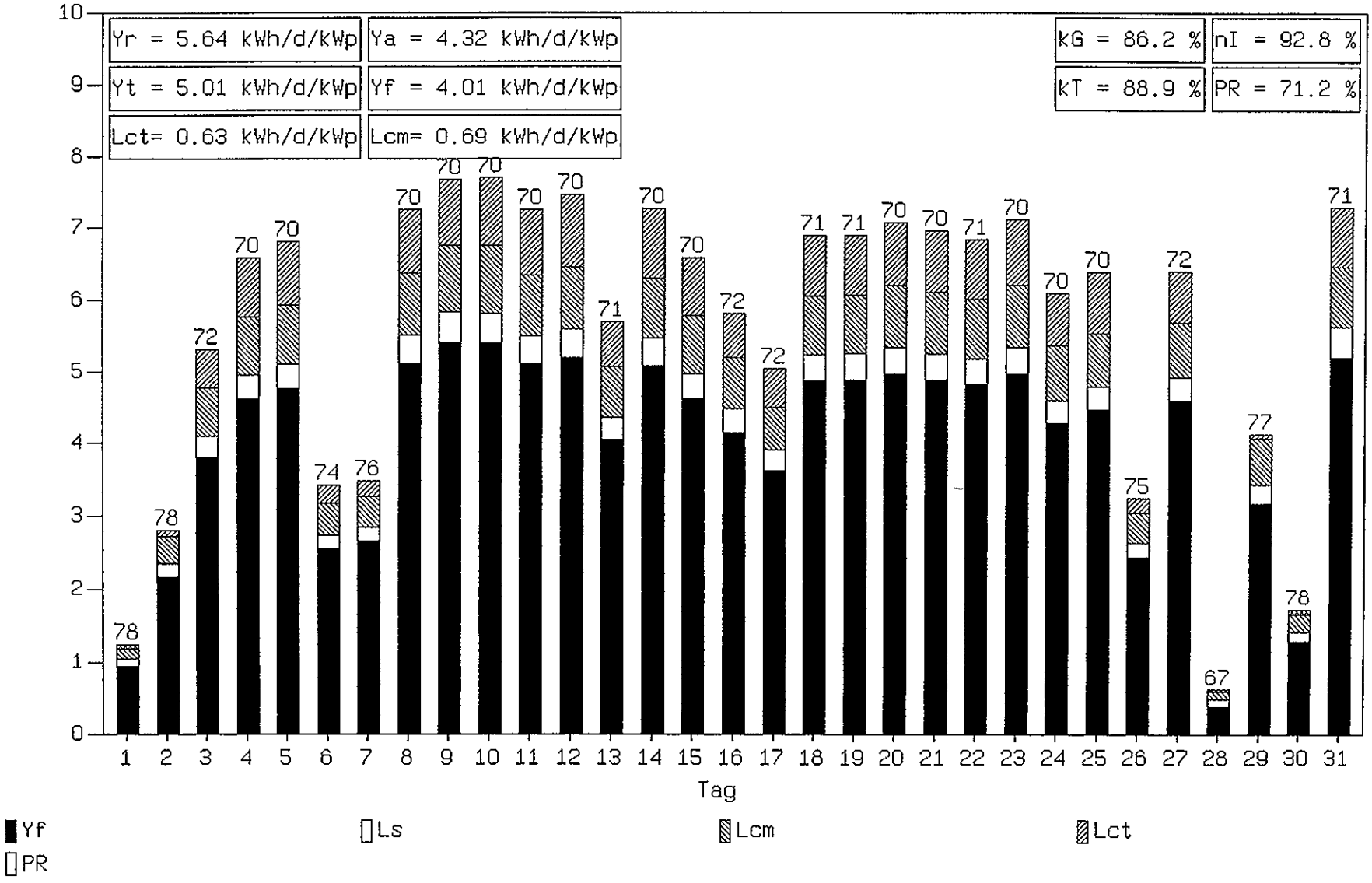
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 8.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



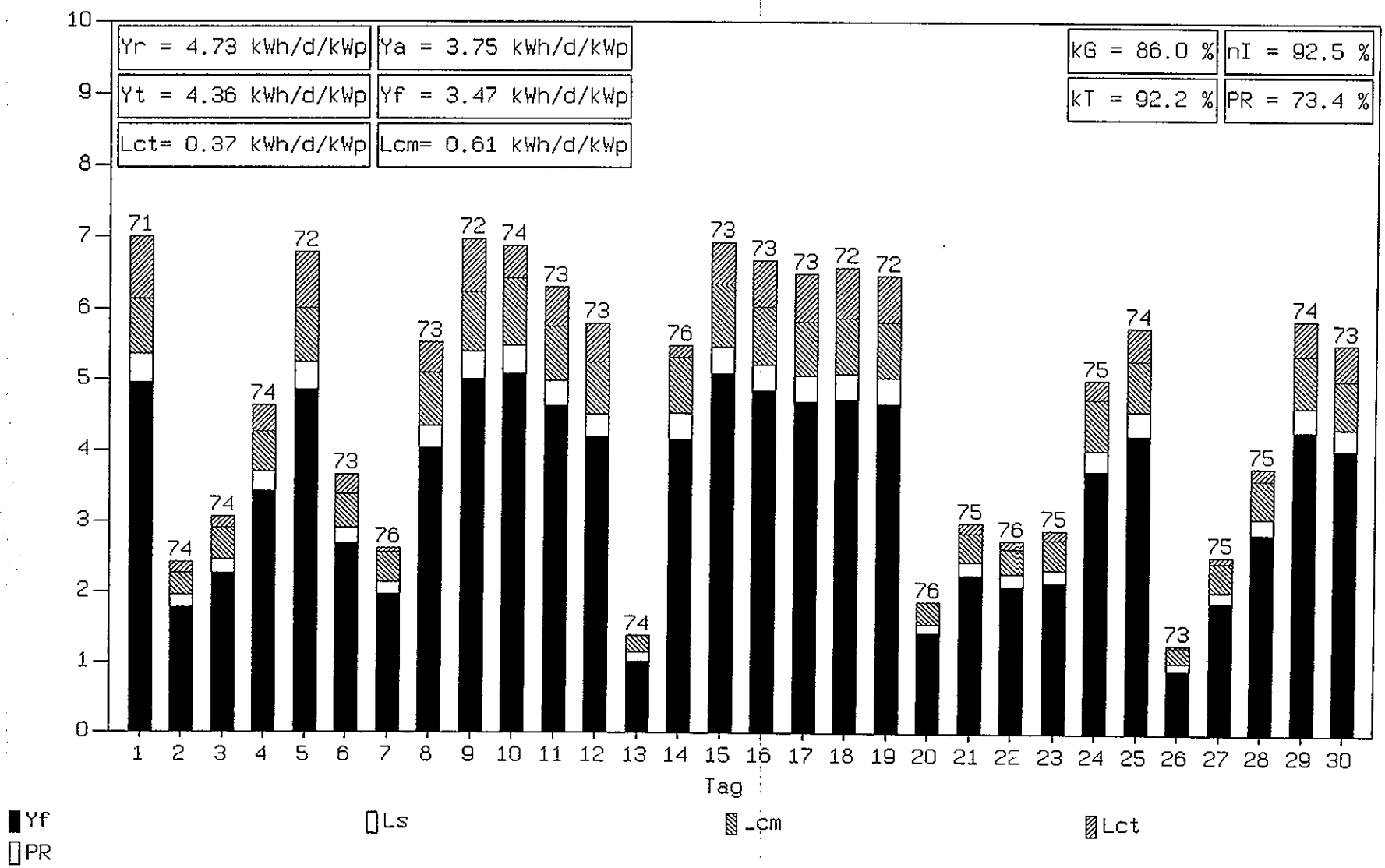
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 9.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

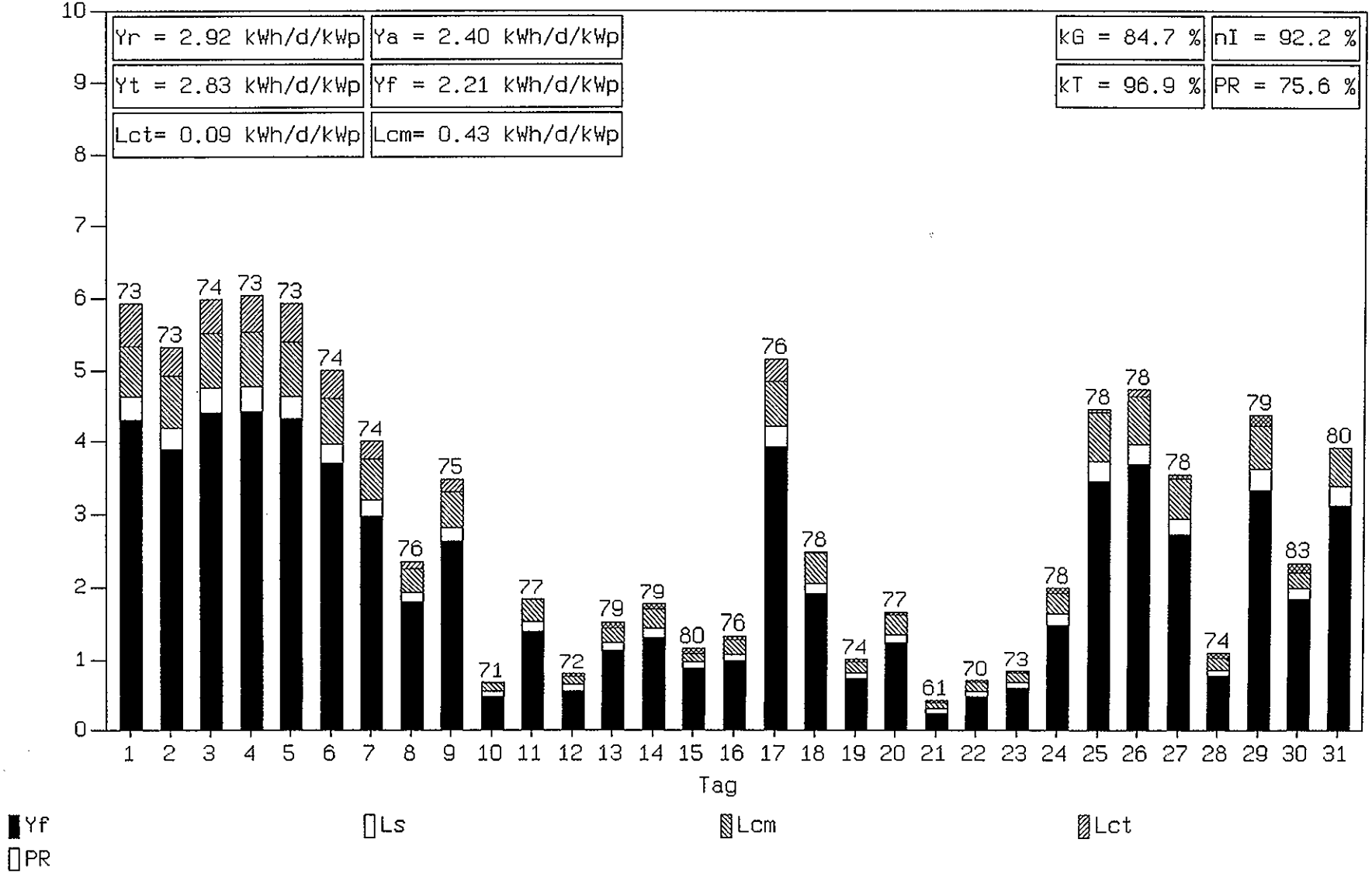
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 10.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

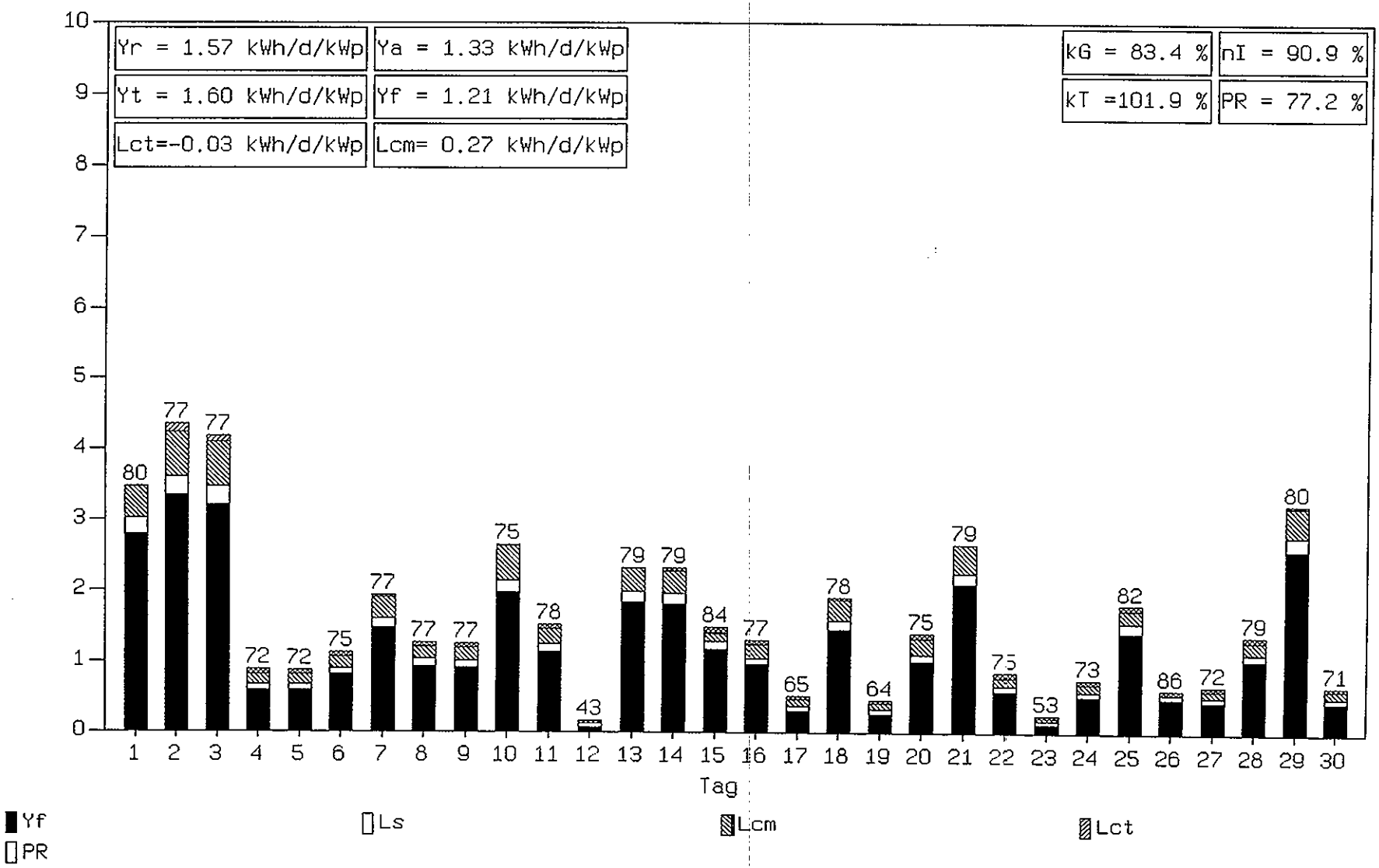
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 11.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



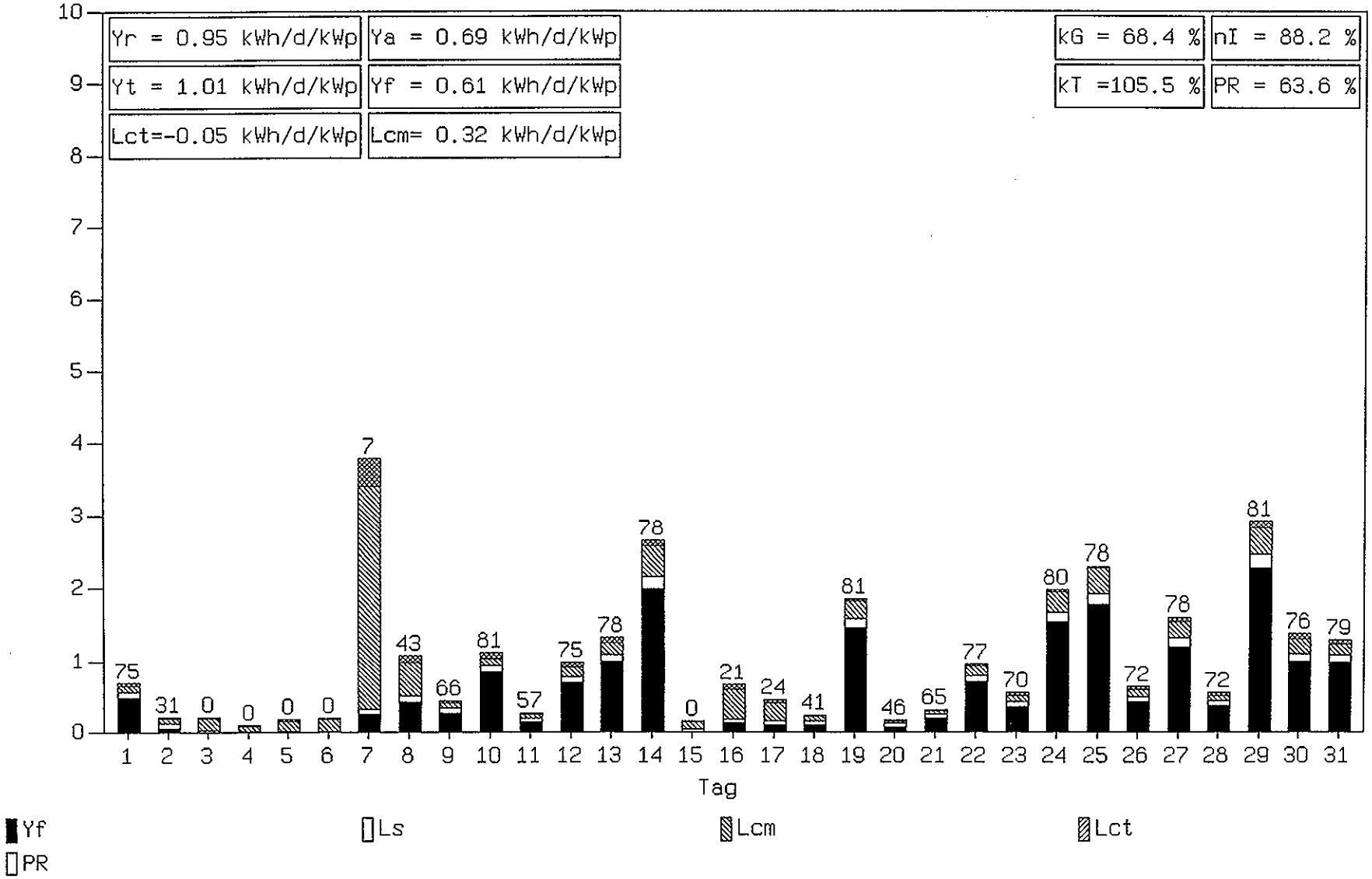
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 12.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

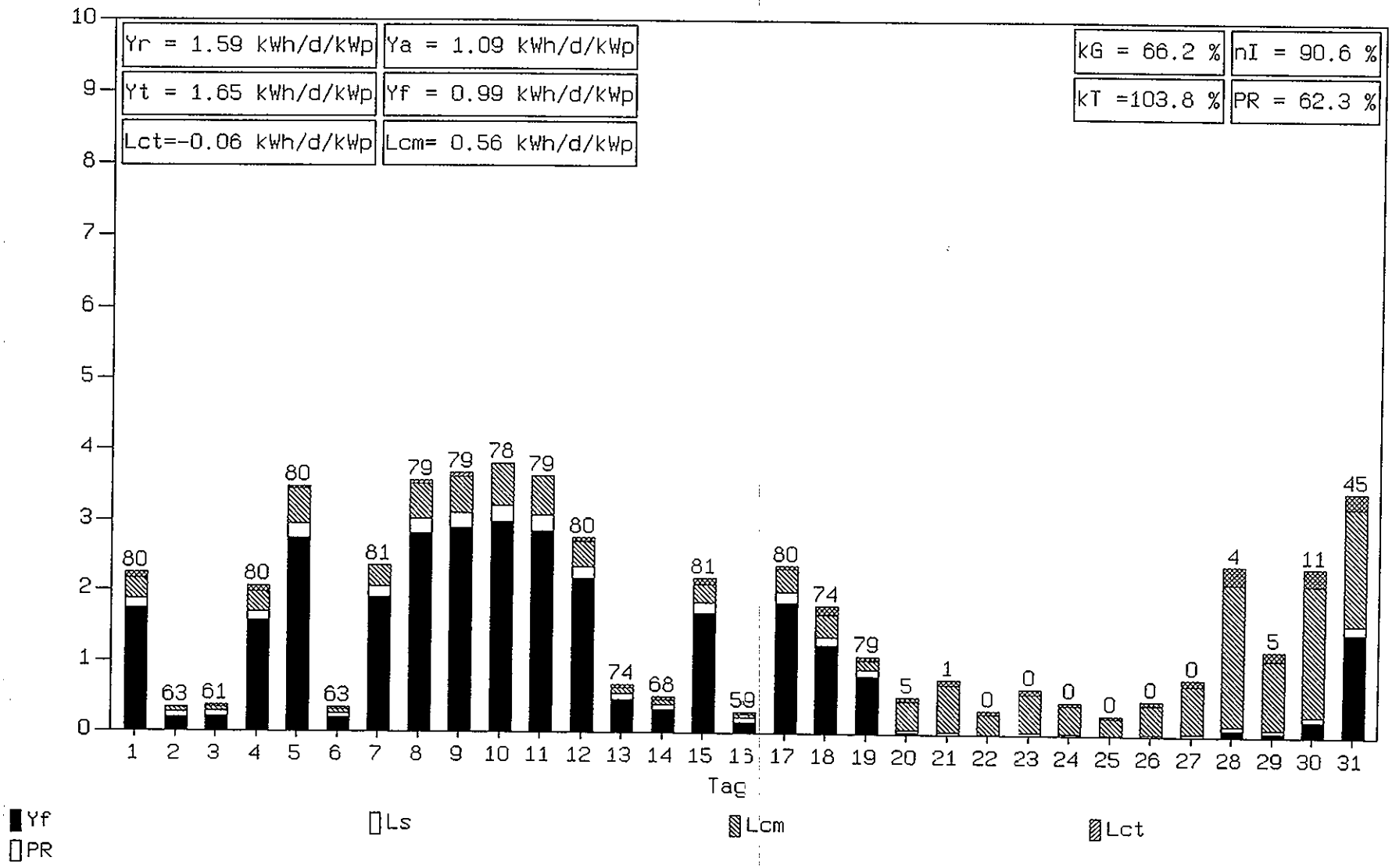
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 1.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

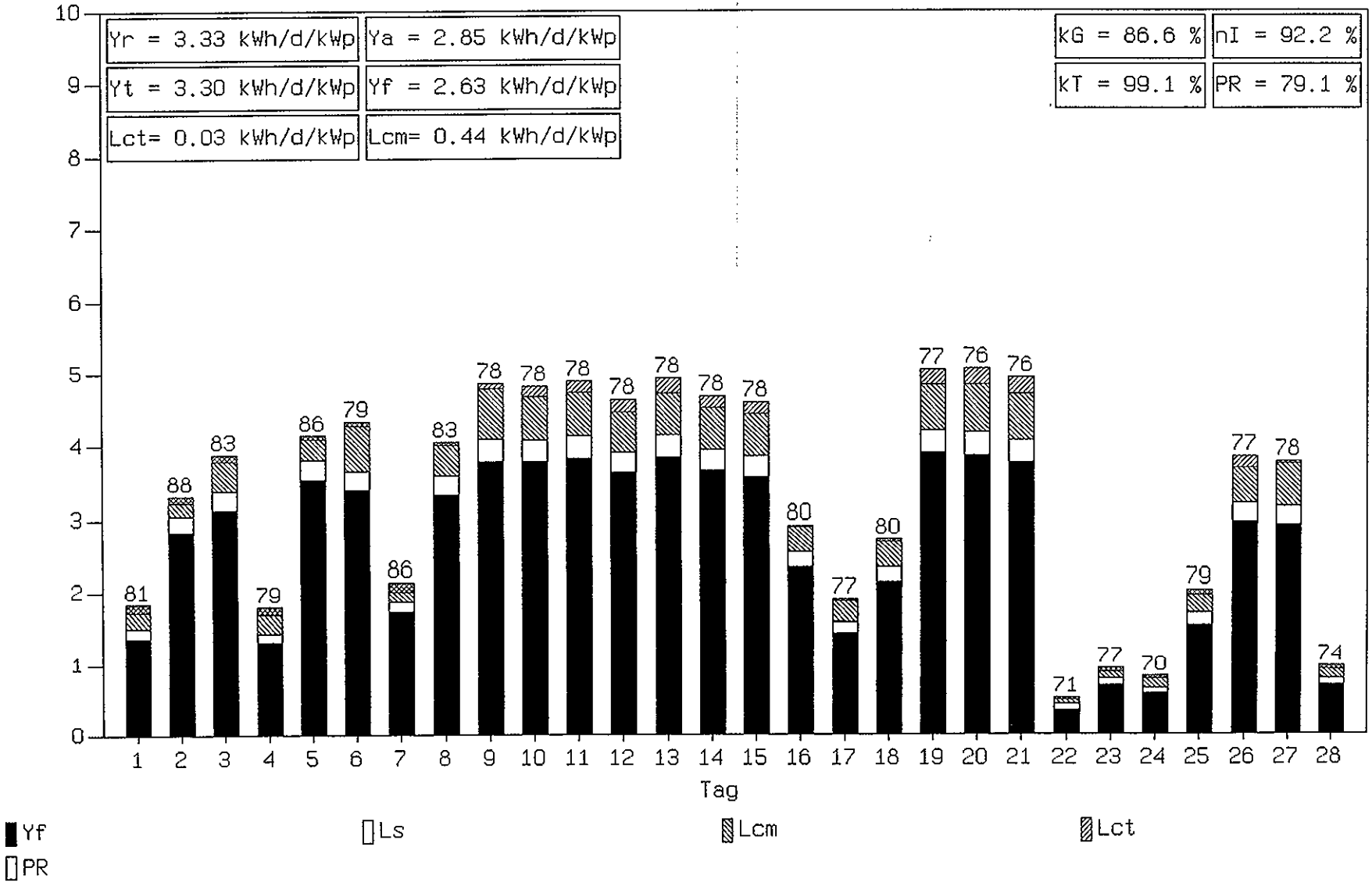
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 2.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

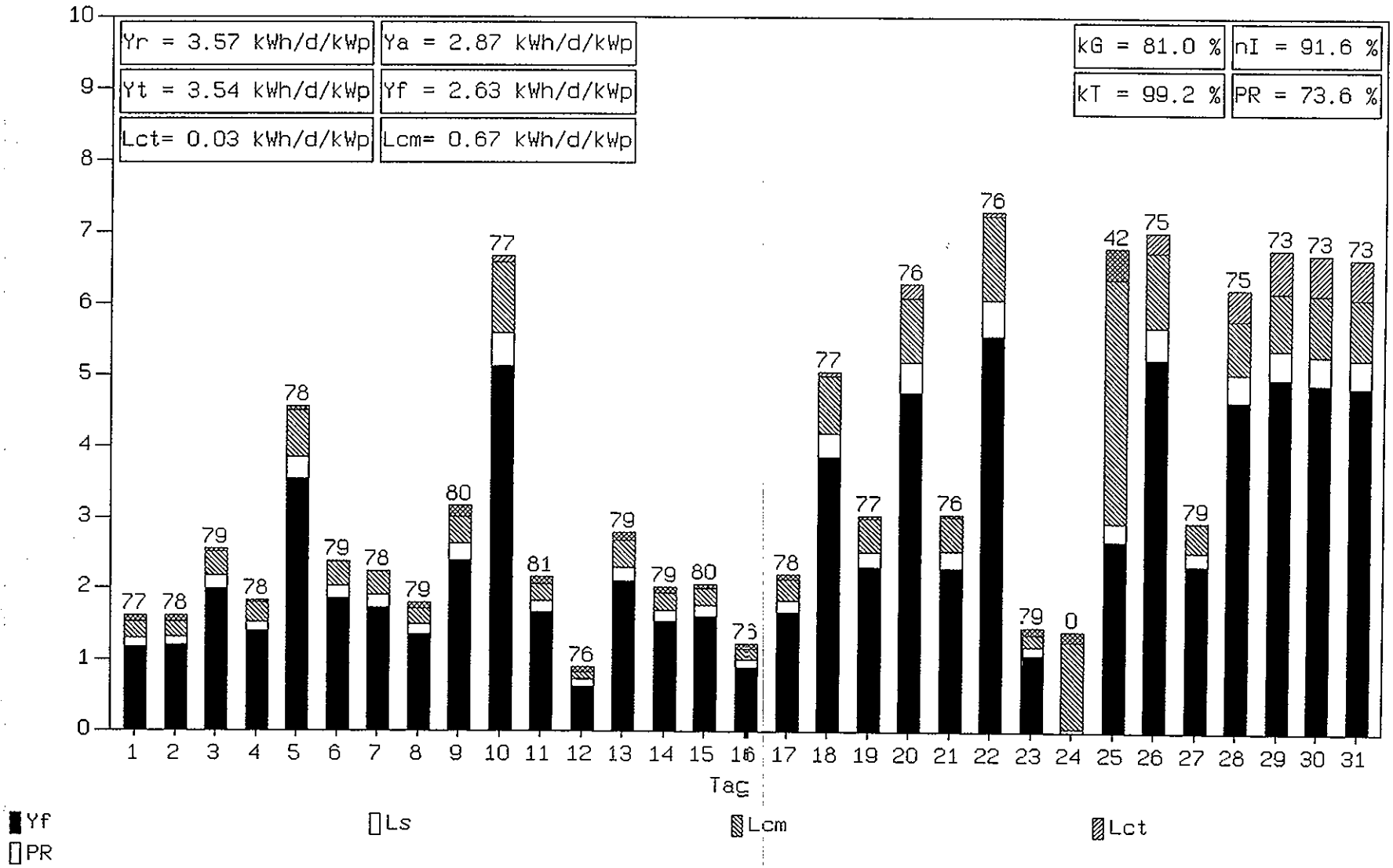
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 3.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



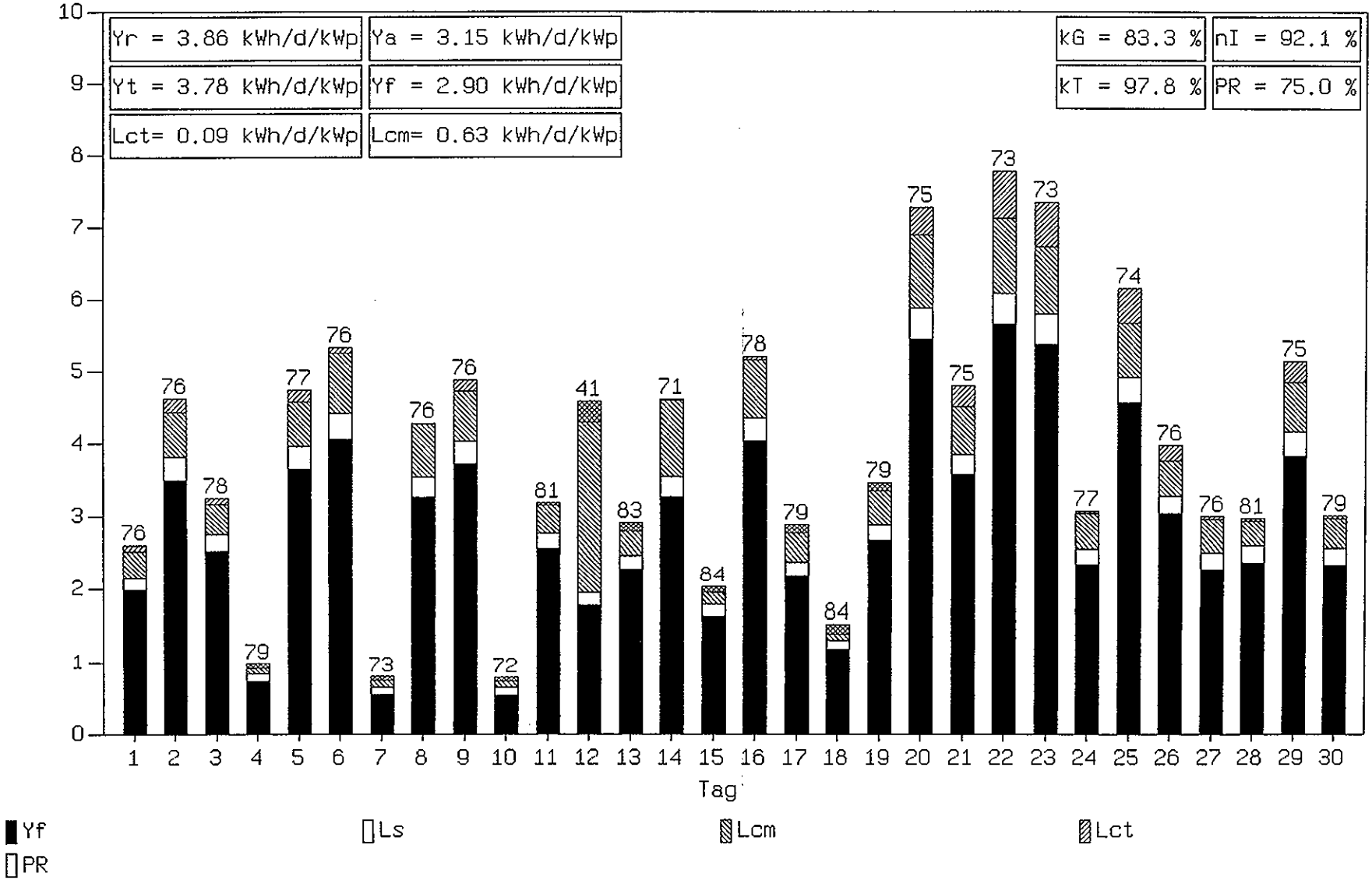
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 4.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



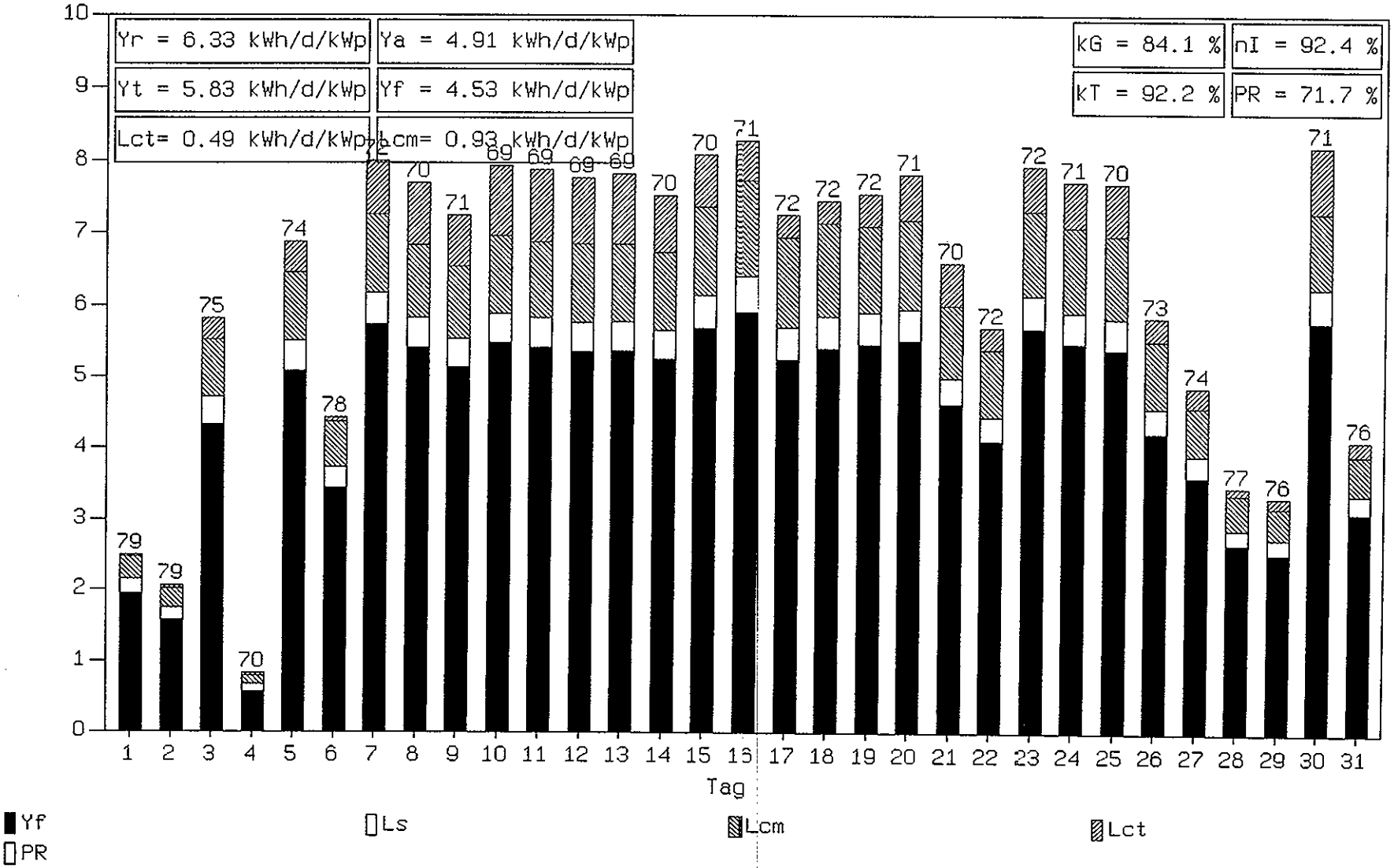
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 5.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



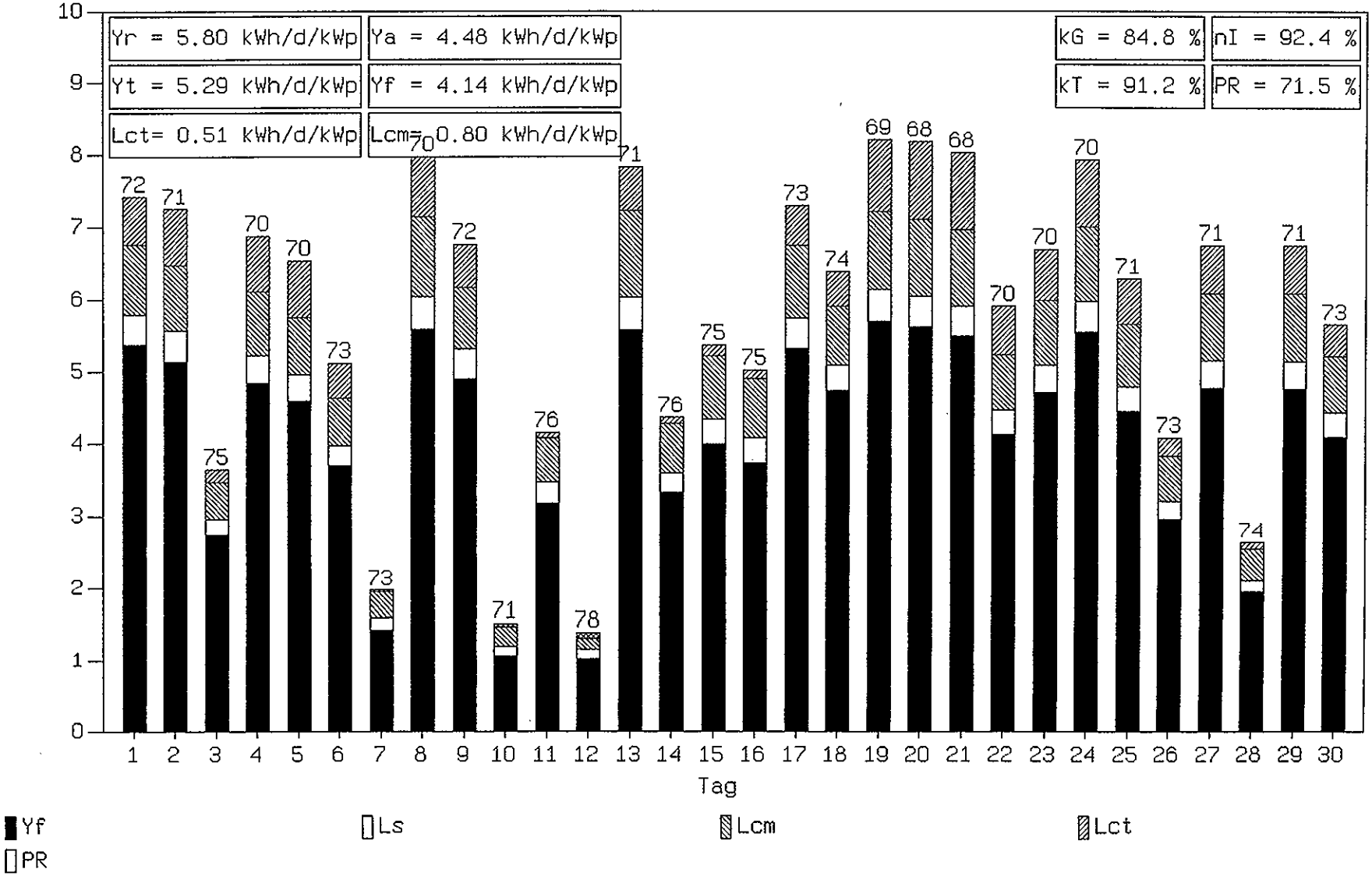
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 6.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

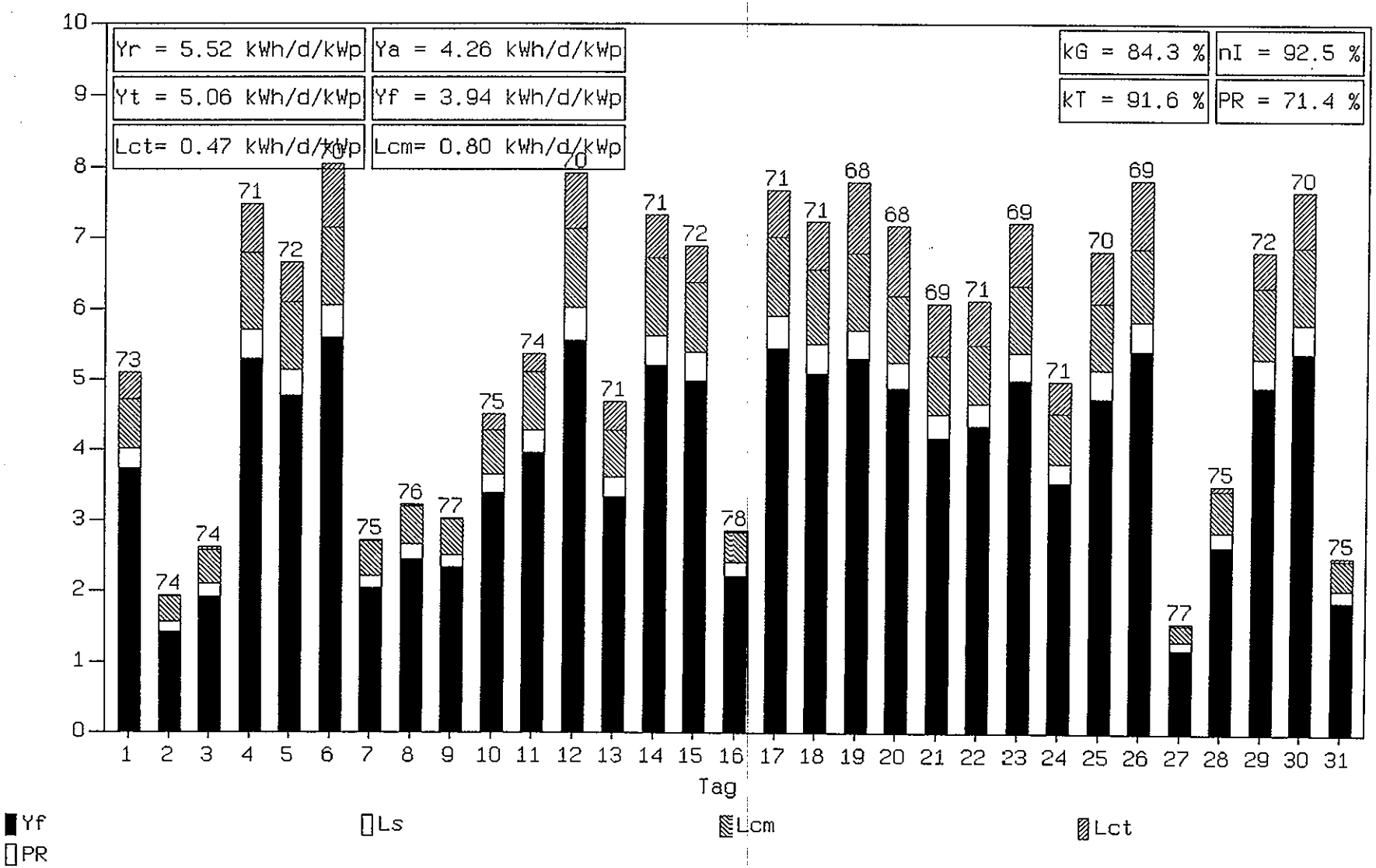
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 7.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

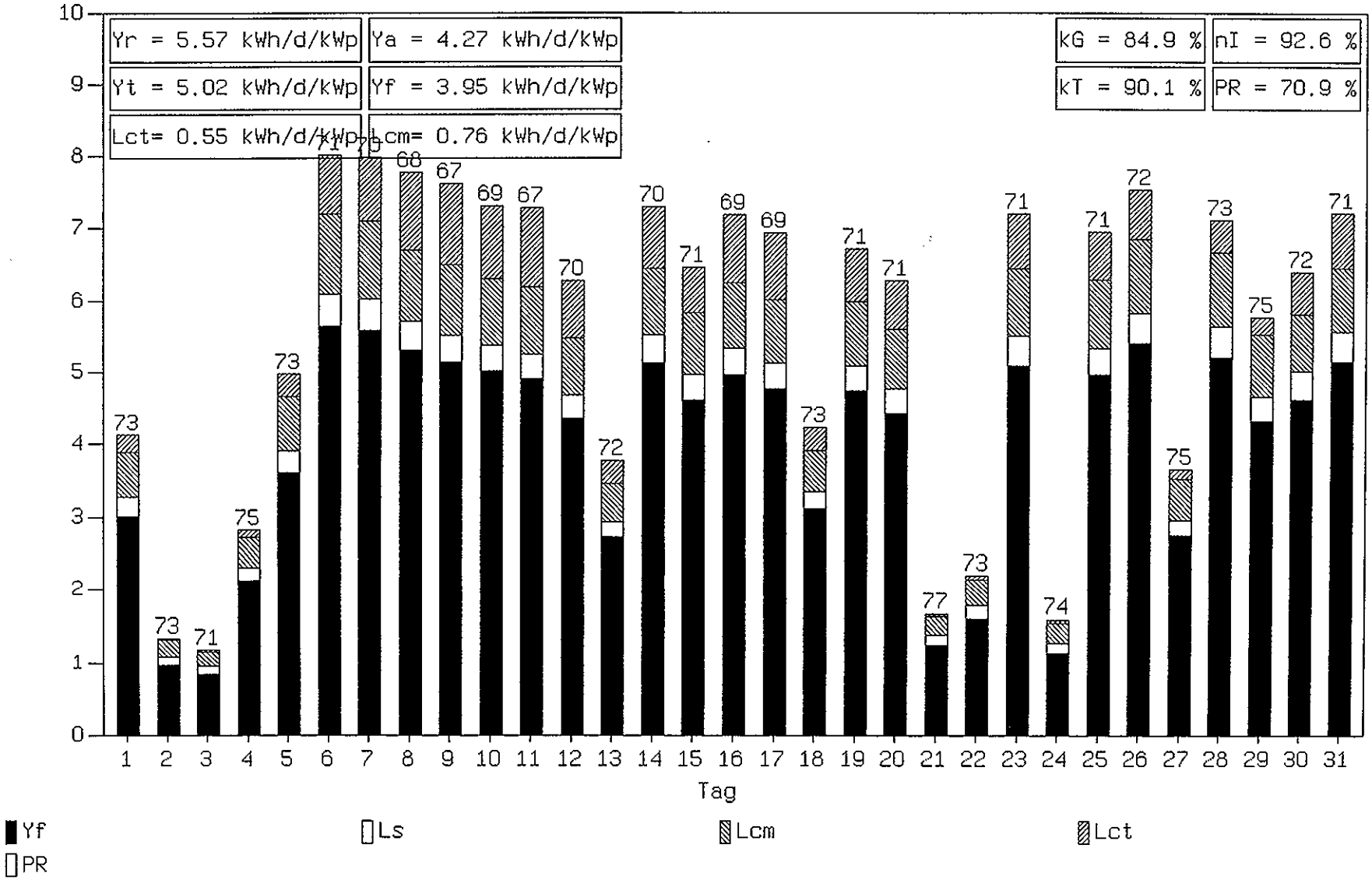
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 8.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

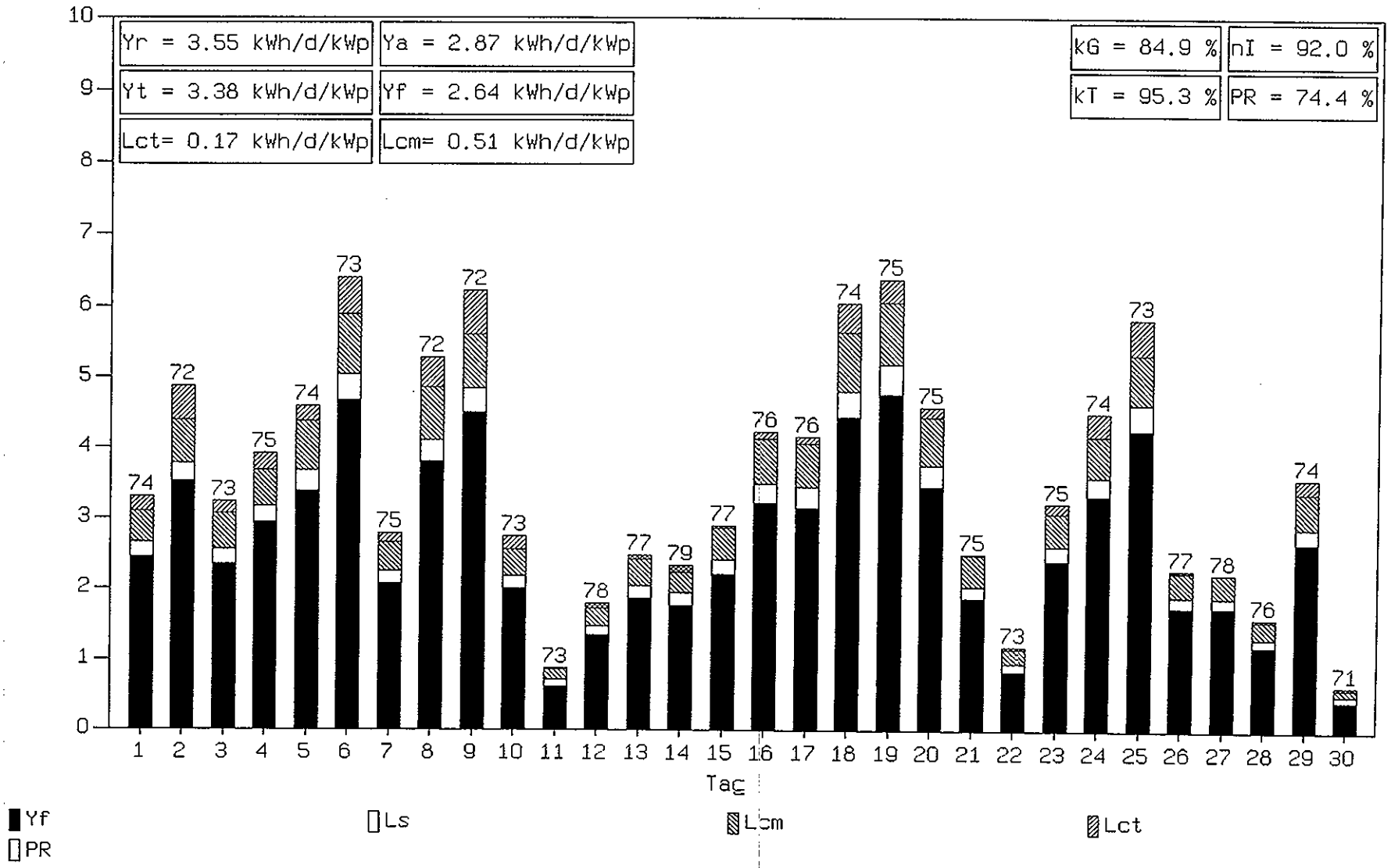
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 9.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

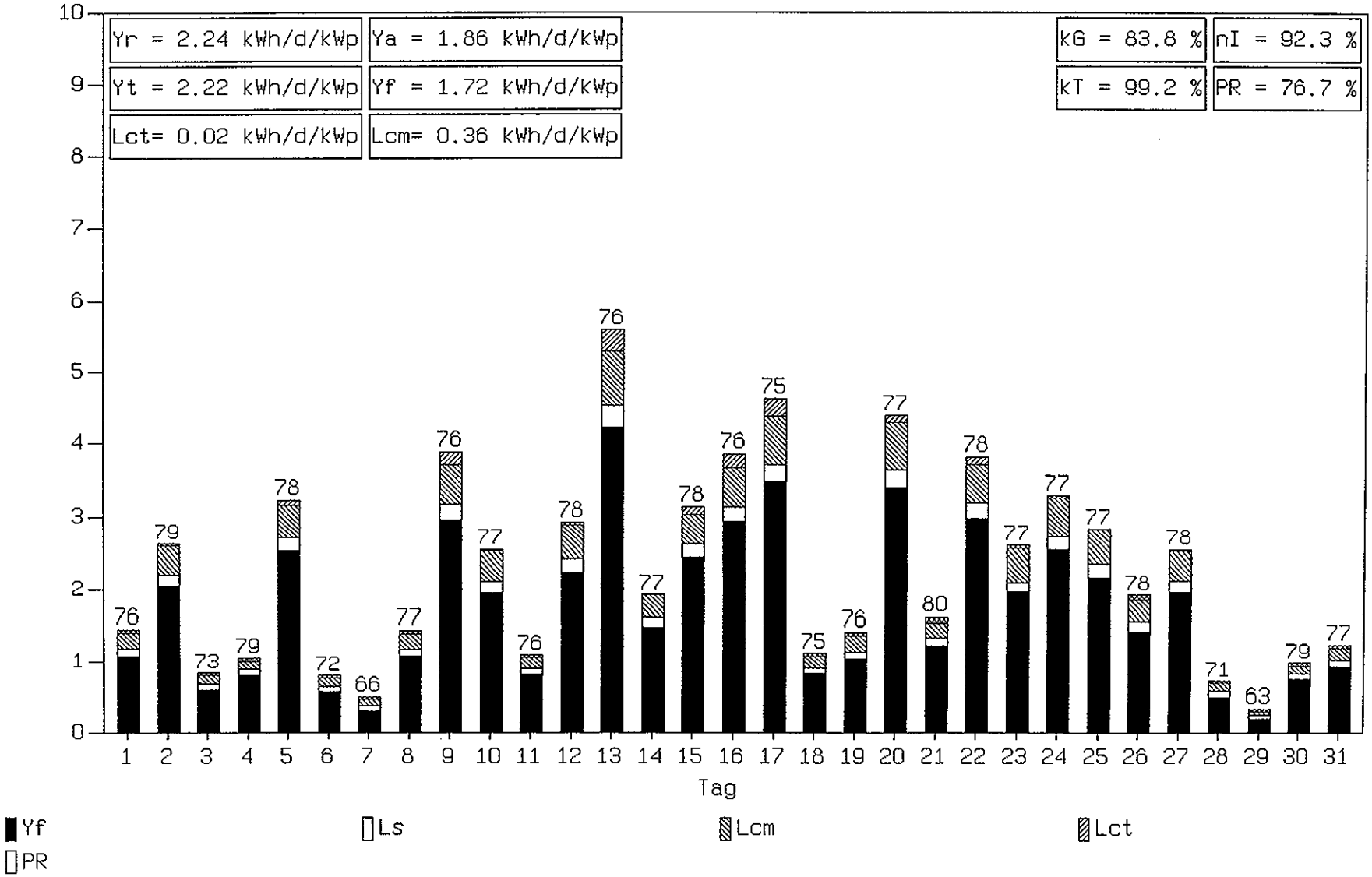
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 10.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

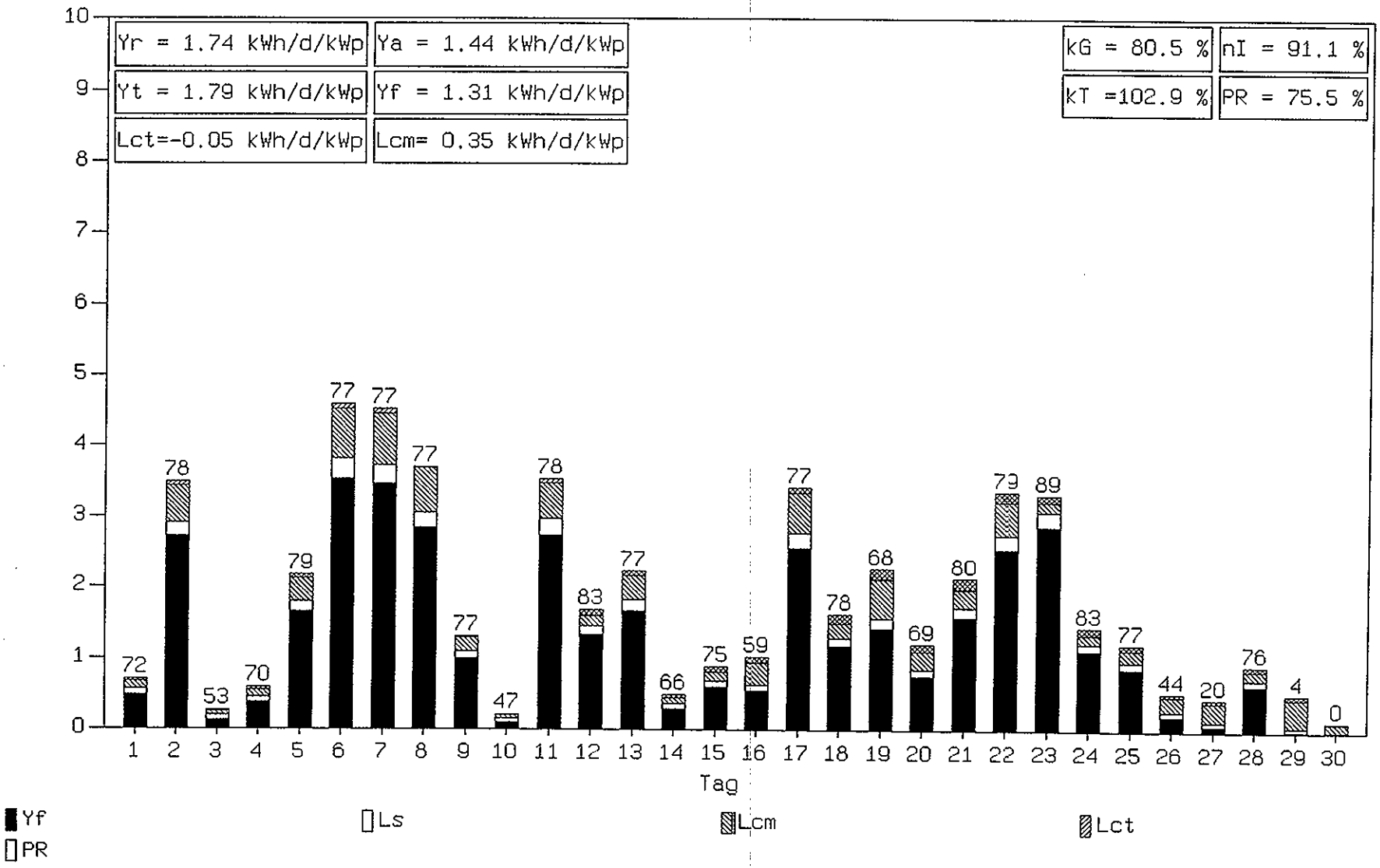
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 11.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



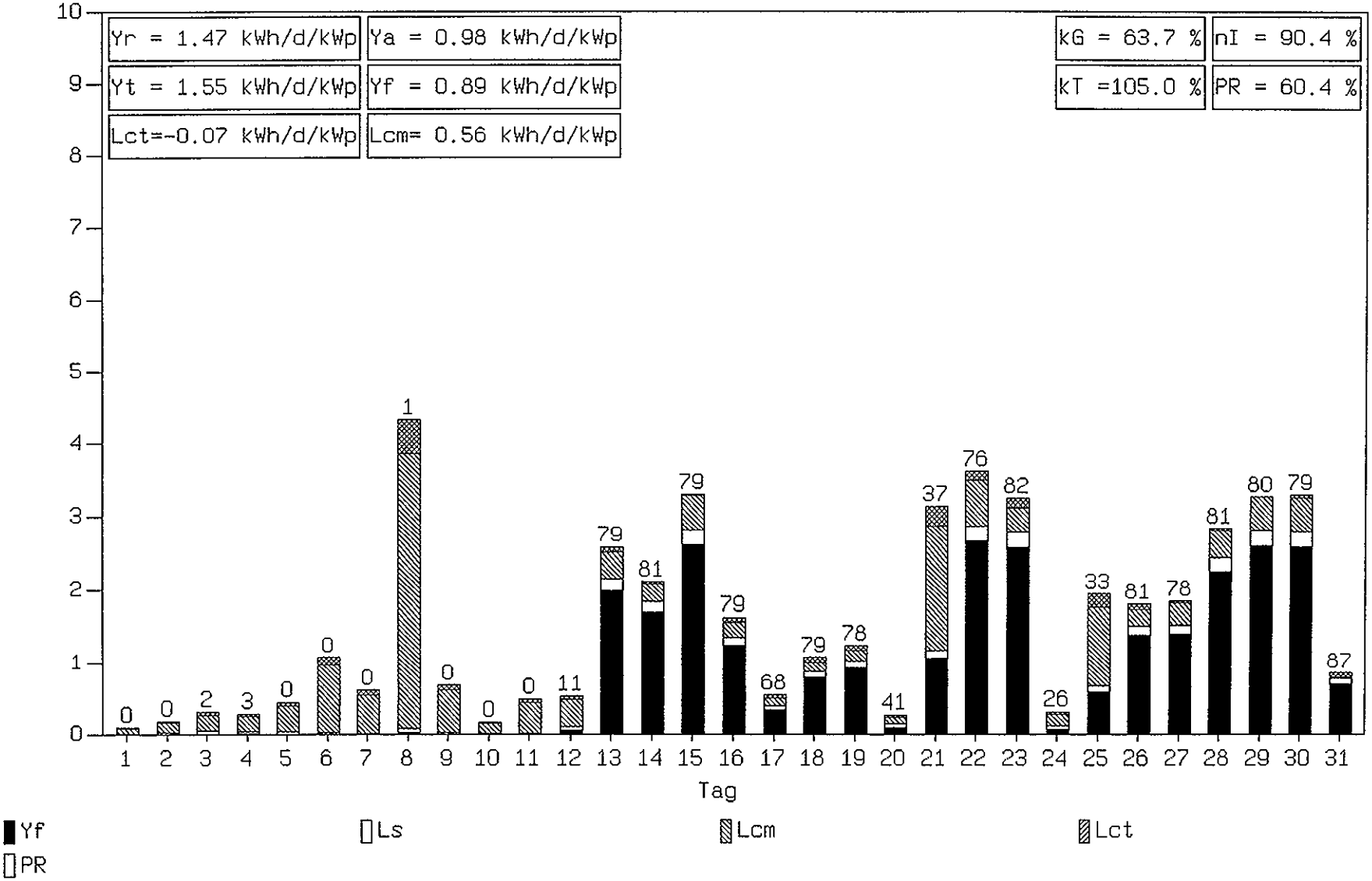
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 12.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



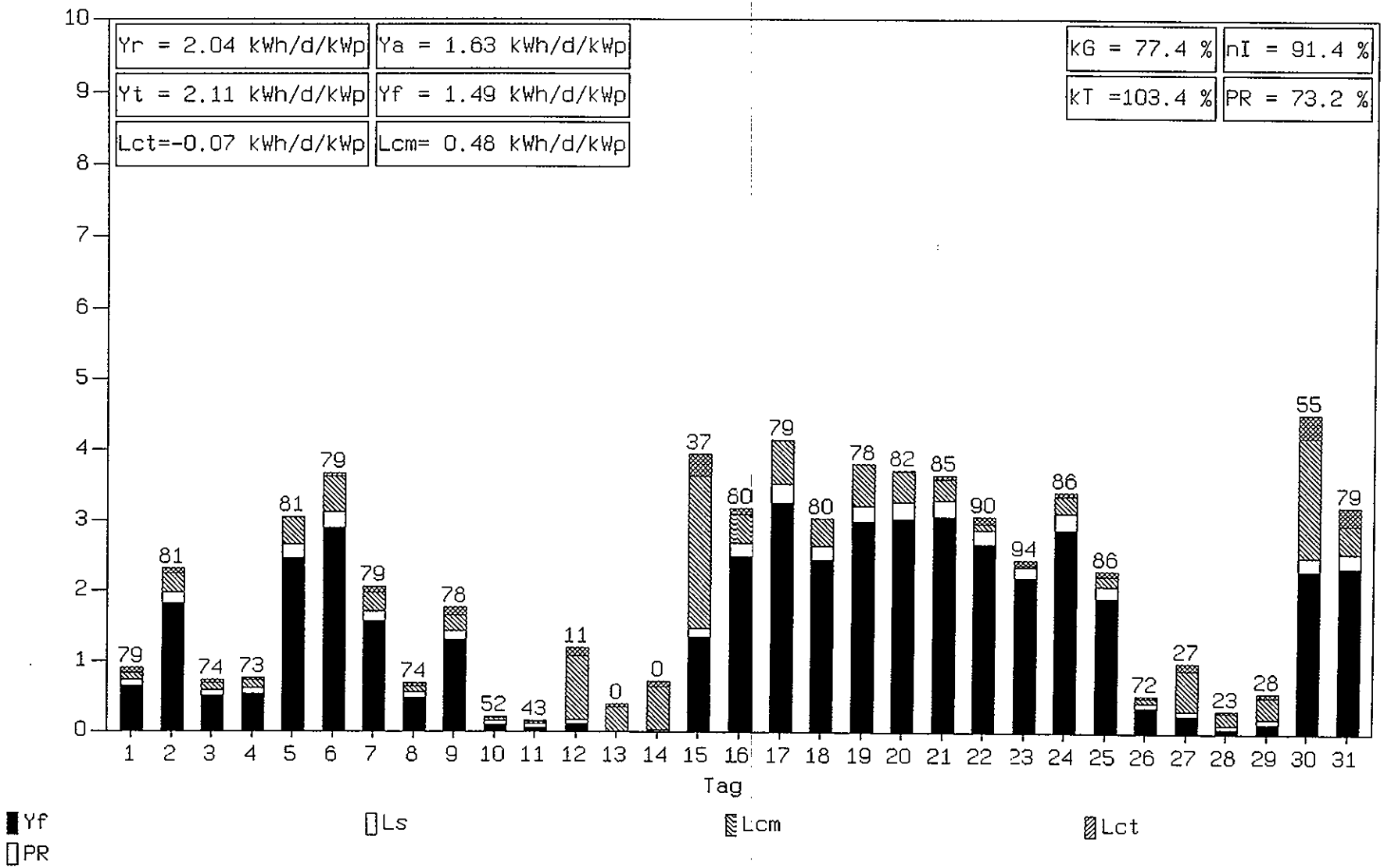
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 1.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



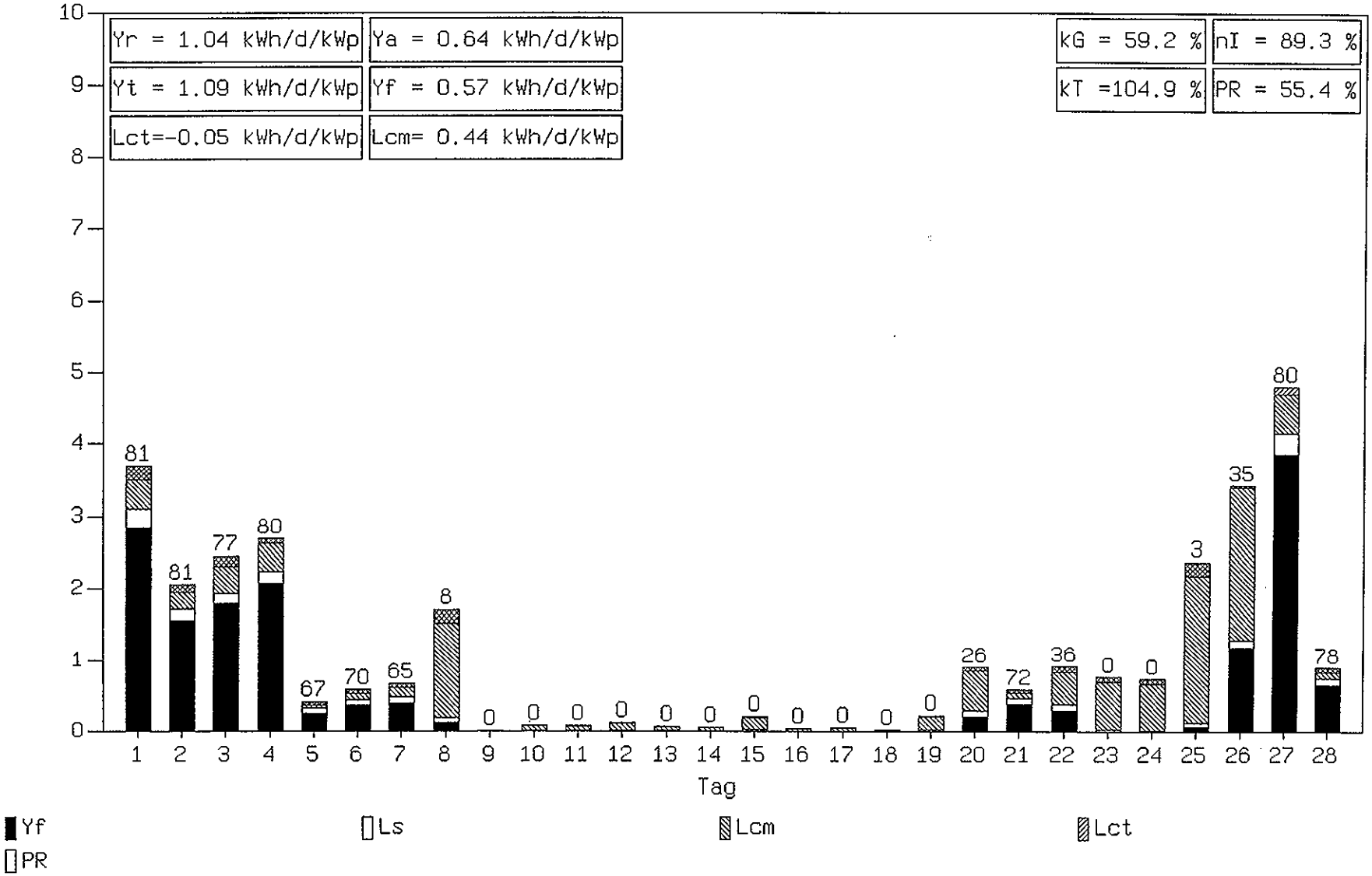
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 2.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

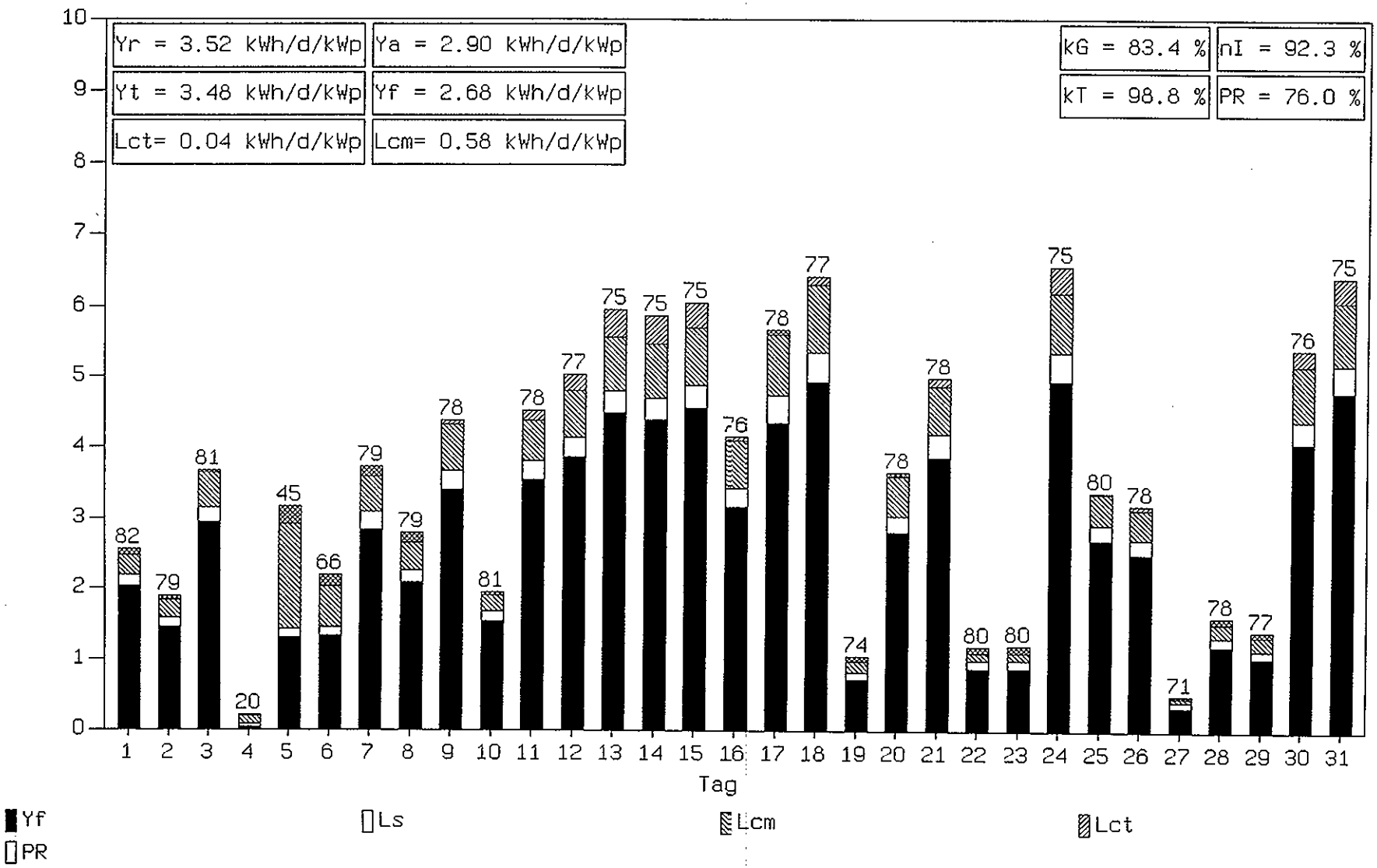
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 3.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



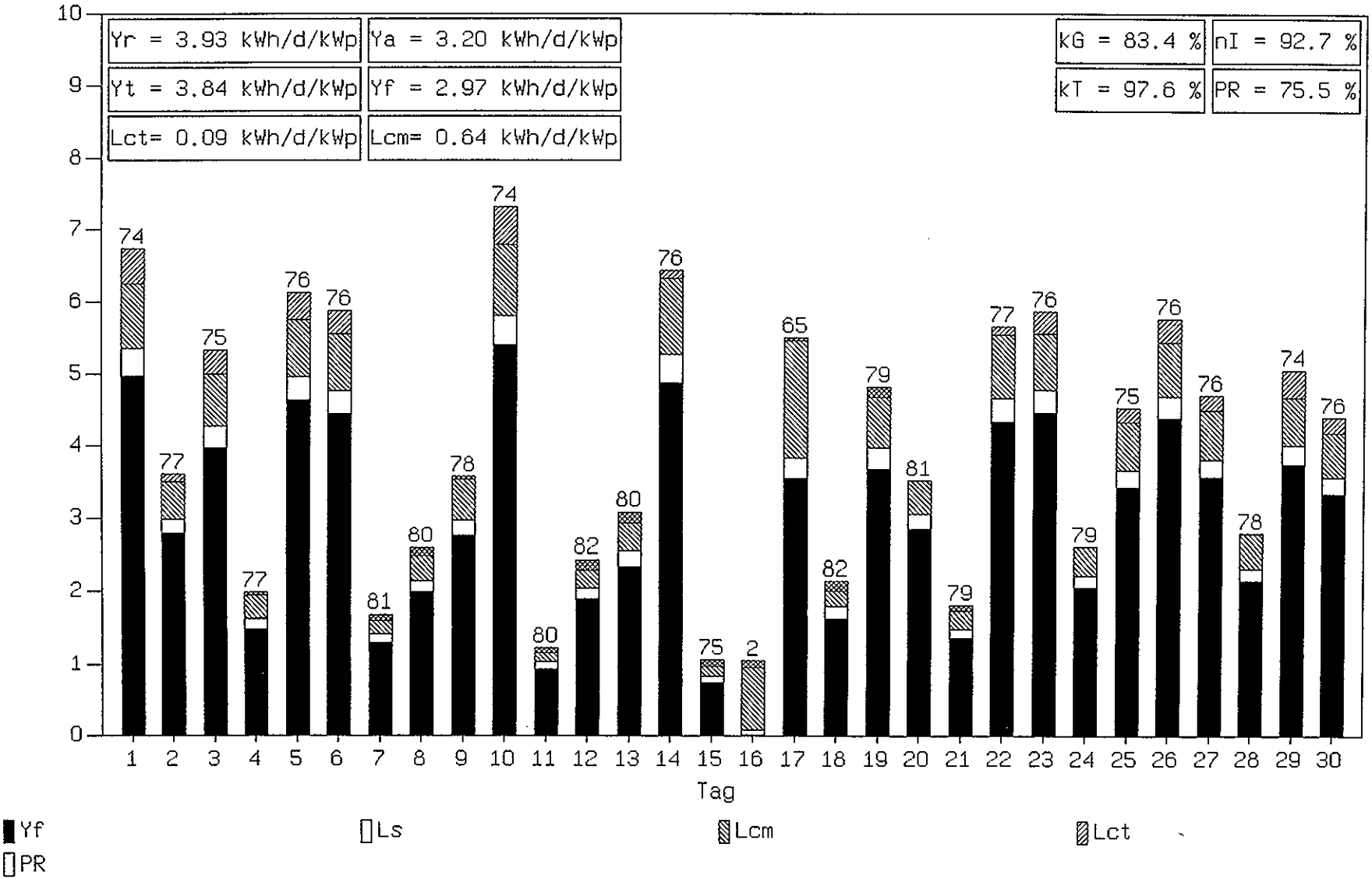
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 4.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



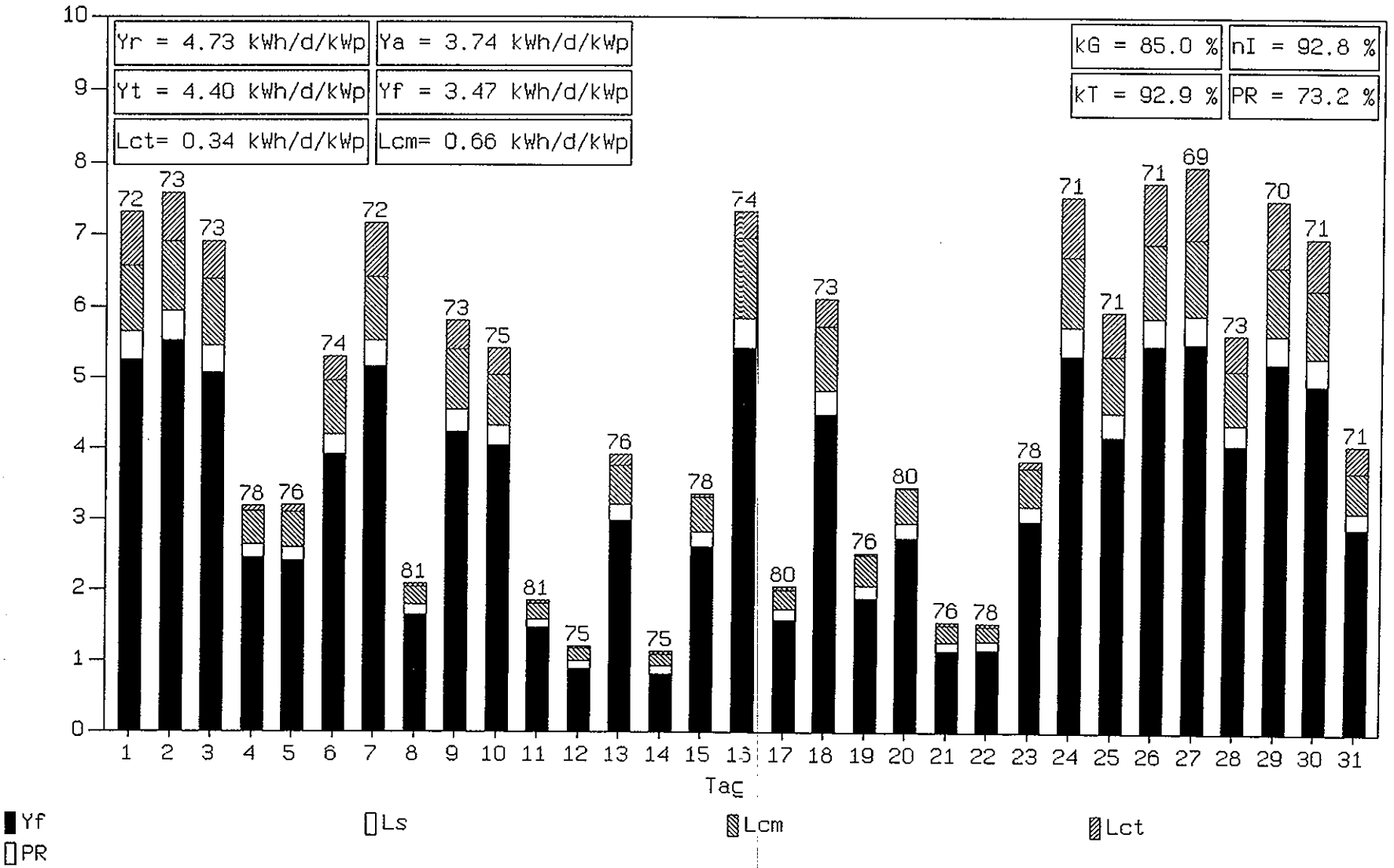
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf Monat: 5.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

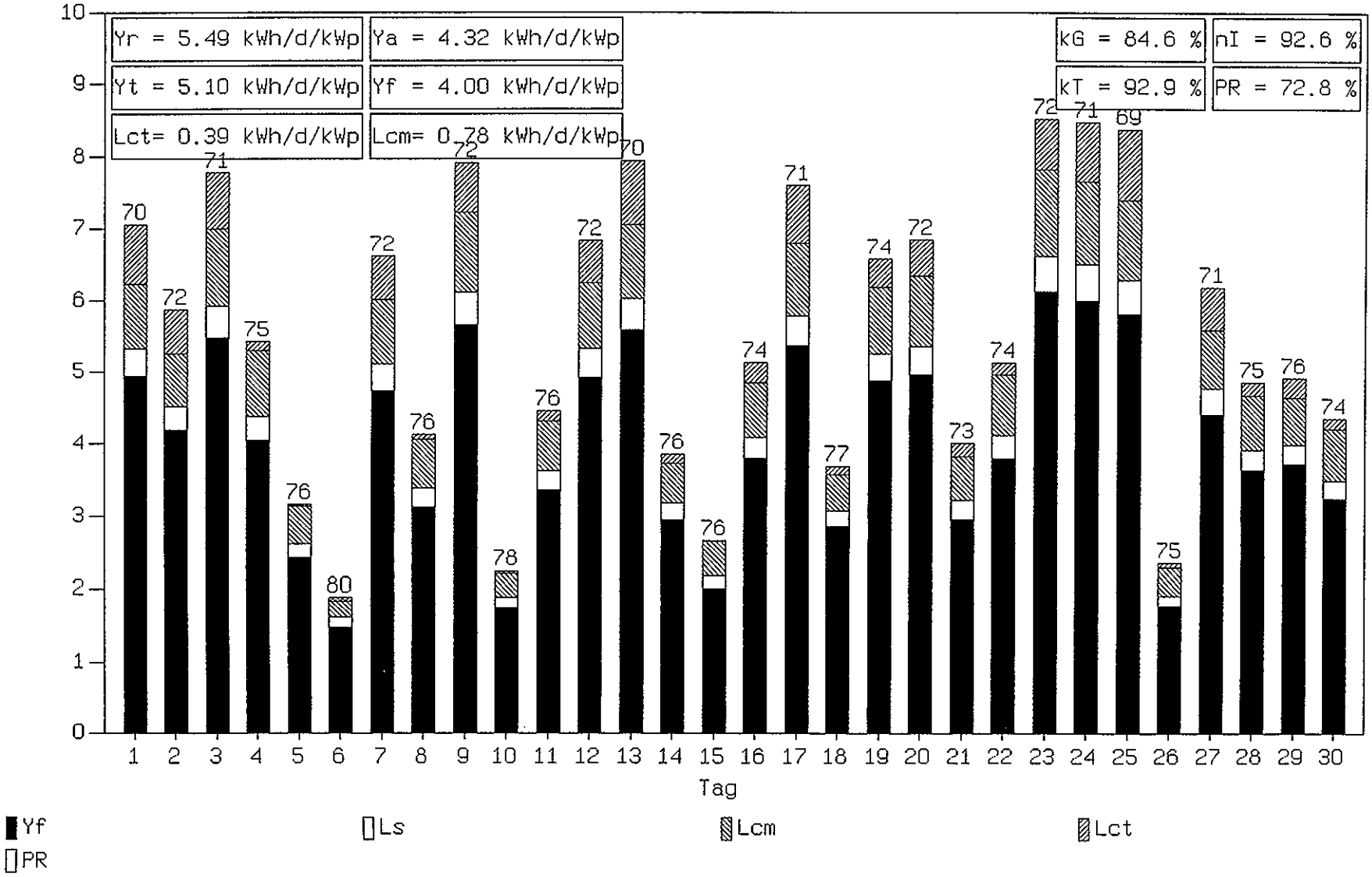
Labor für Photovoltaik

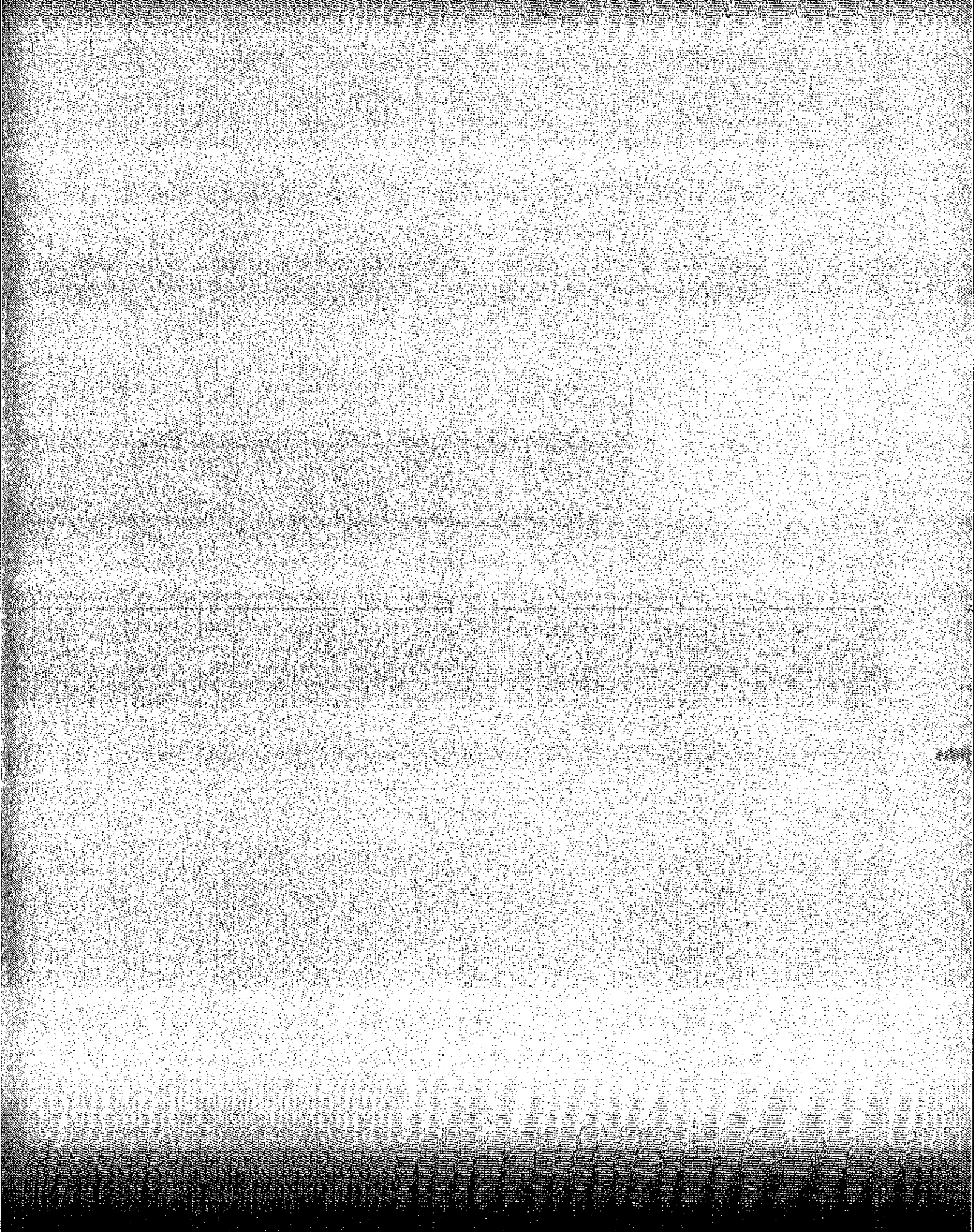
Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Gfeller, Burgdorf

Monat: 6.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



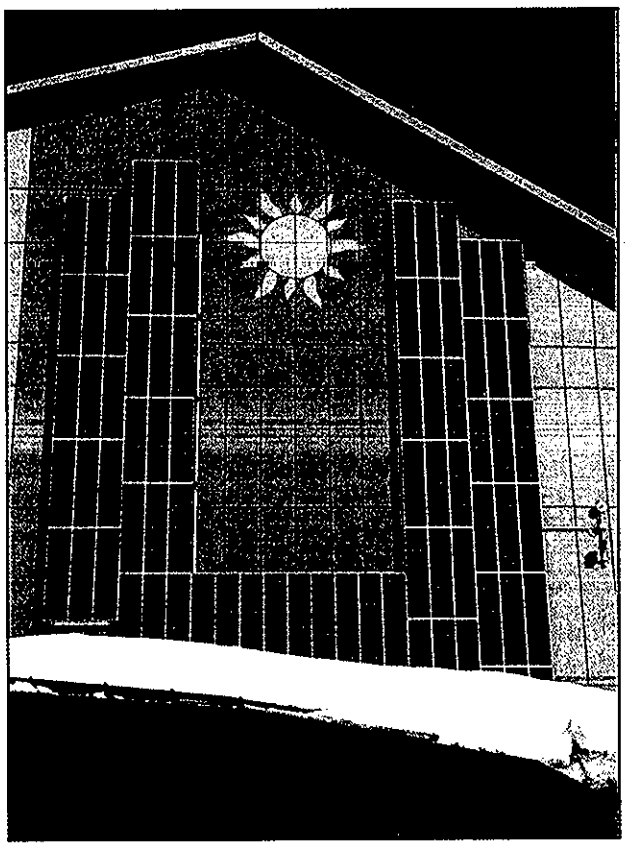


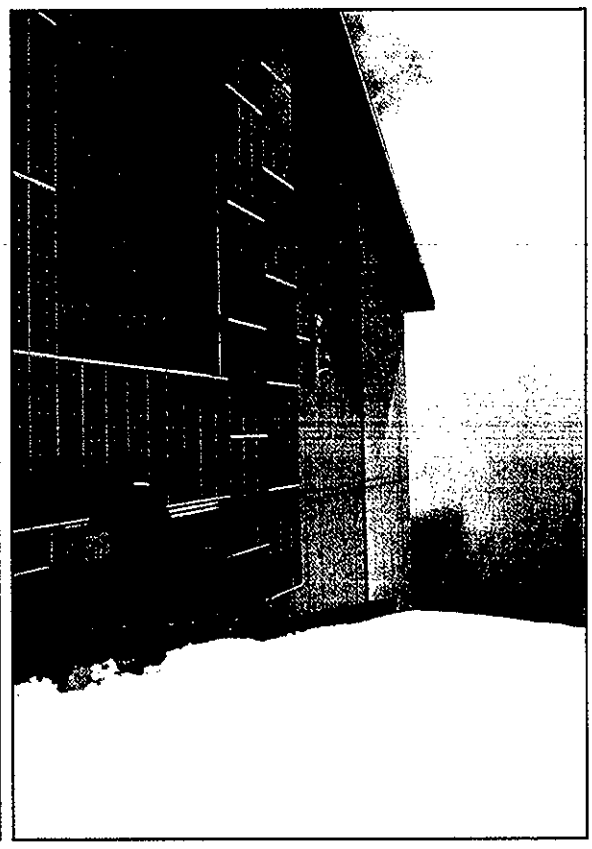
2 Birg, Mürren

Technische Angaben zur Anlage			
Ort:	Mittelstation Birg der Schilthornbahn, 3825 Mürren; 2677 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	21.12.1992		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M55 (78 Stück)		
Feldleistung:	4134 Wp (nominell)	**Neigung:**	90° (Fassade)
Bruttofläche:	33,3 m^2	**Ausrichtung:**	5° West
Wechselrichter:	Solcon 3400HE		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichstrom und Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung
- Netzspannung





Ingenieurschule Burgdorf

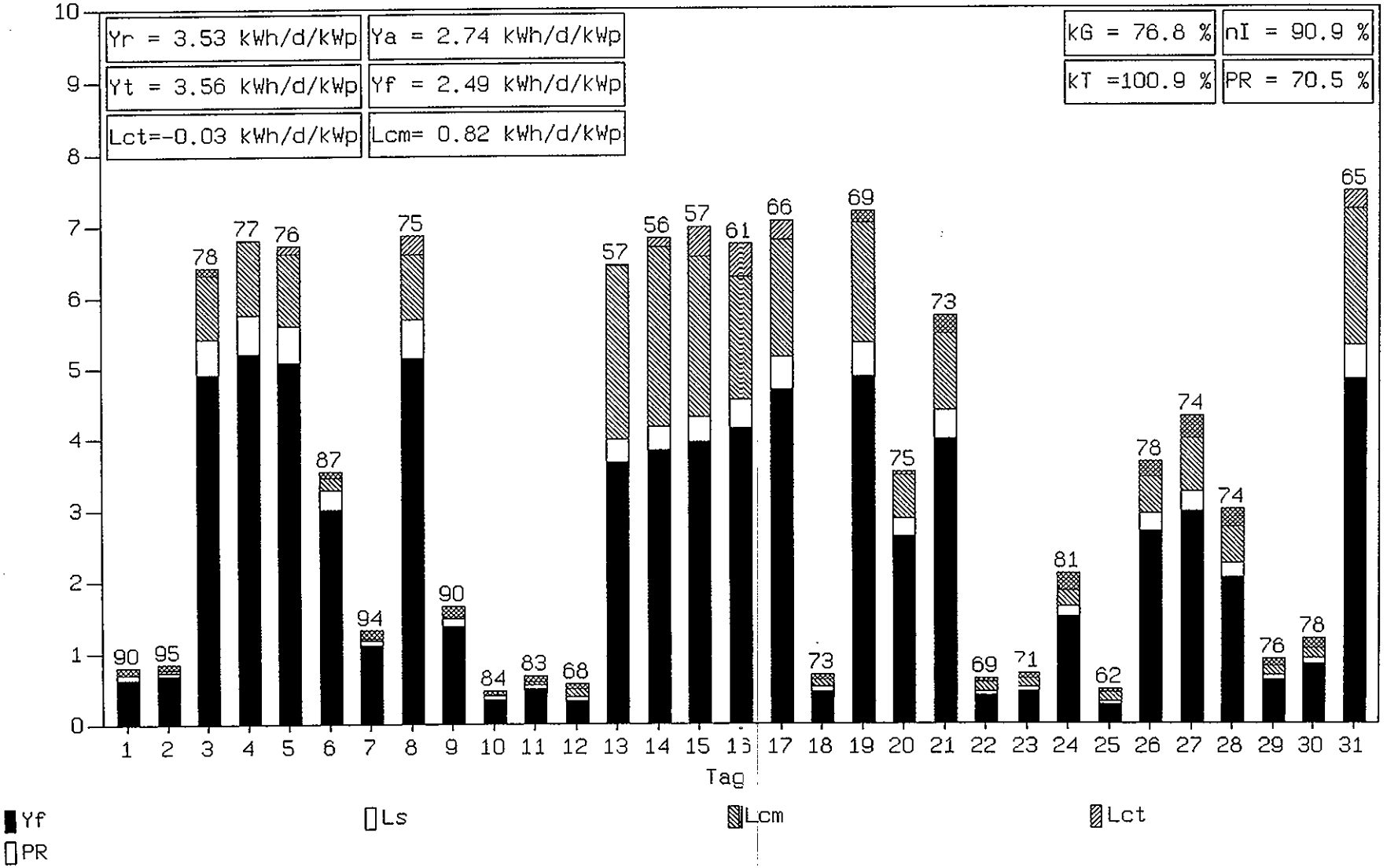
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 1.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



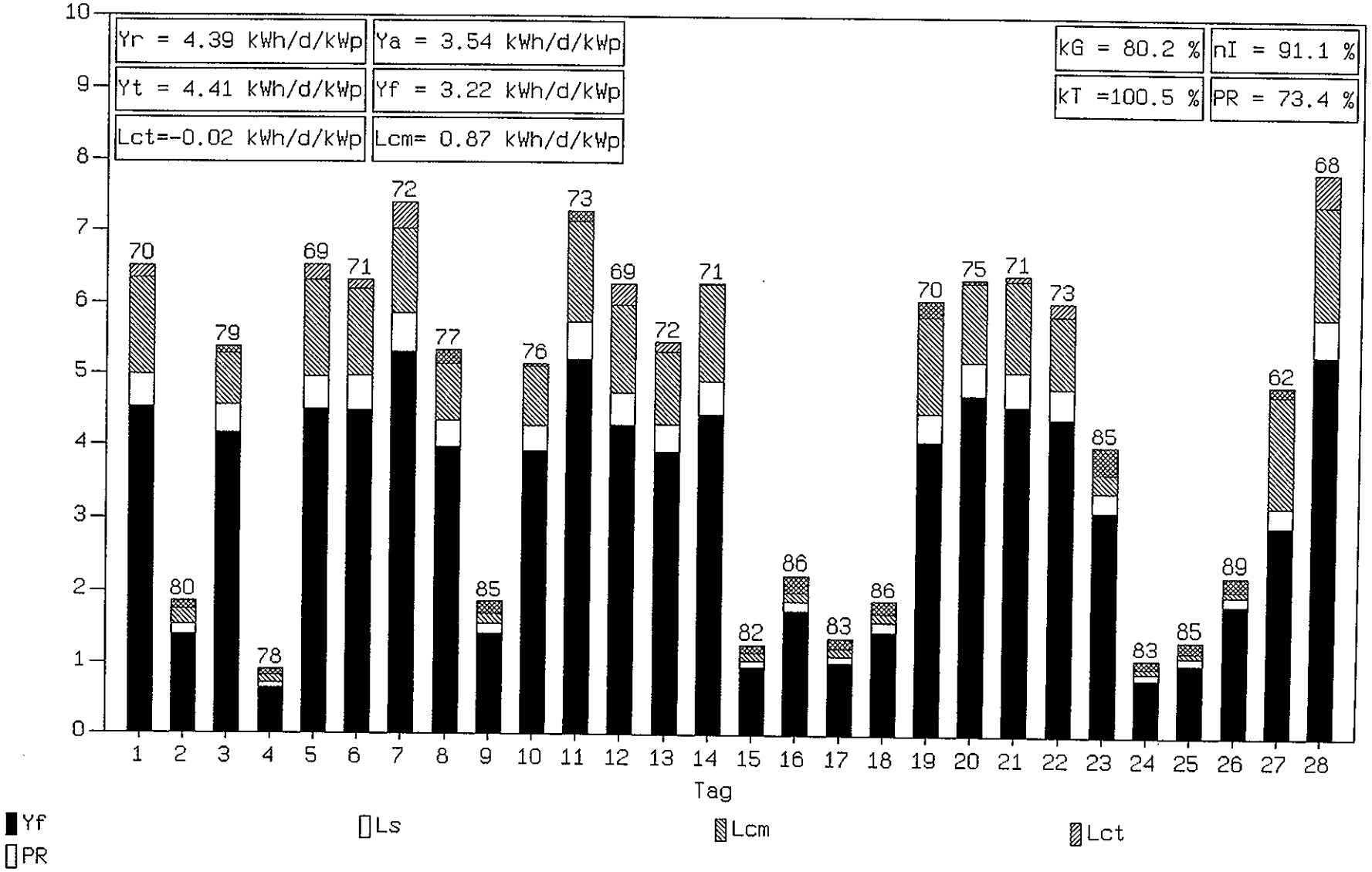
Ingenieurschule Burgdorf .

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 2.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

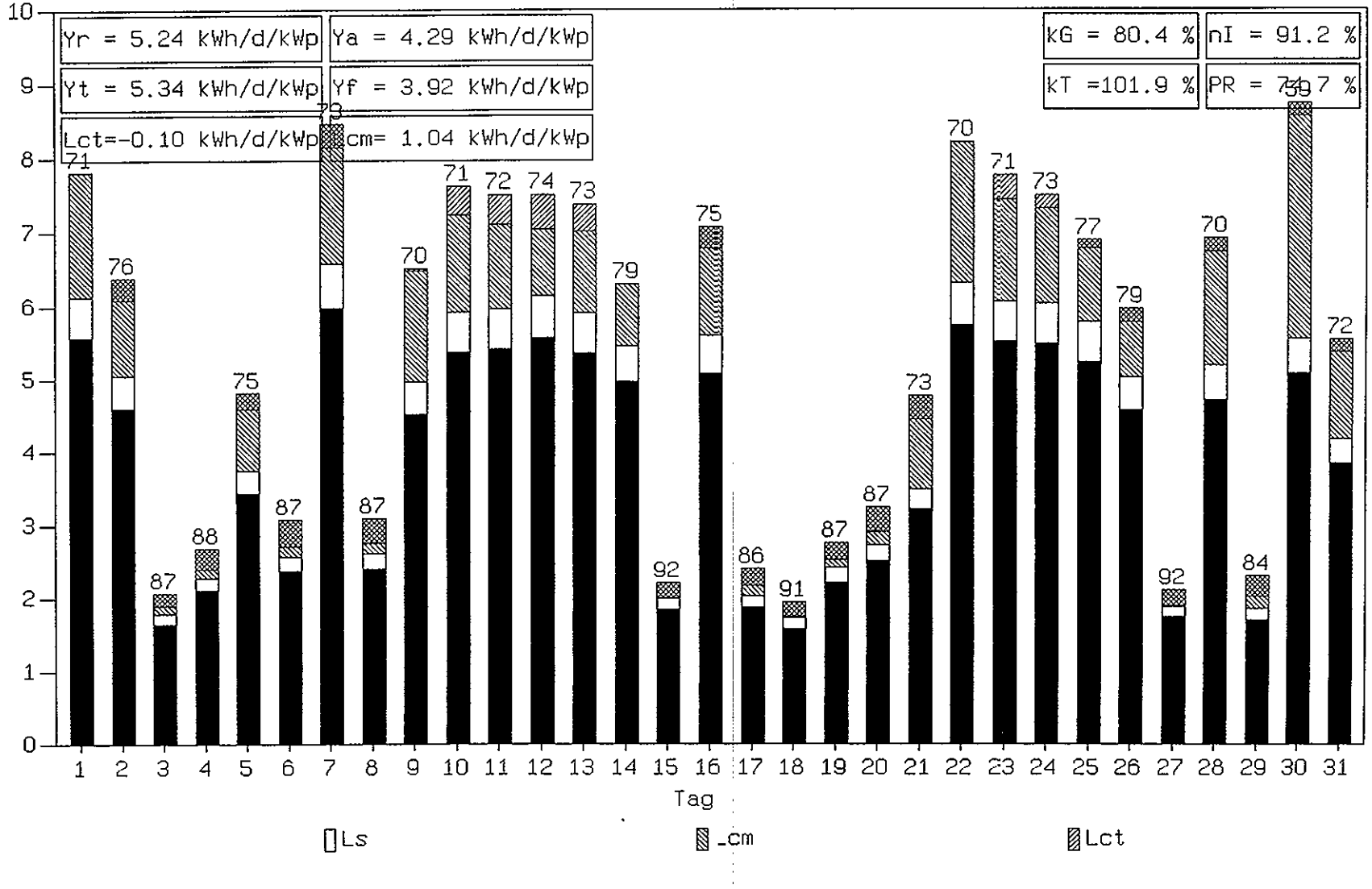
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 3.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



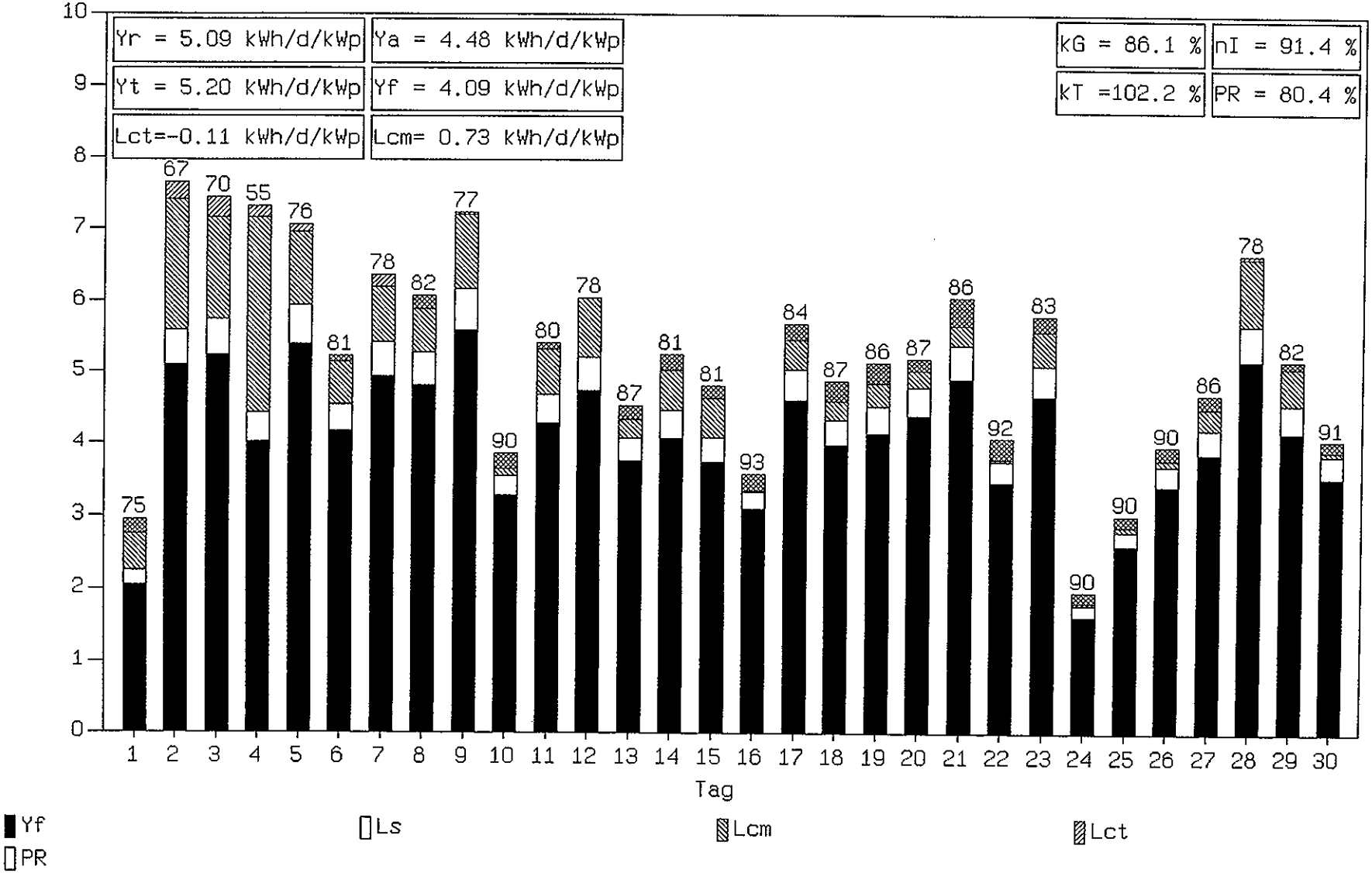
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 4.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

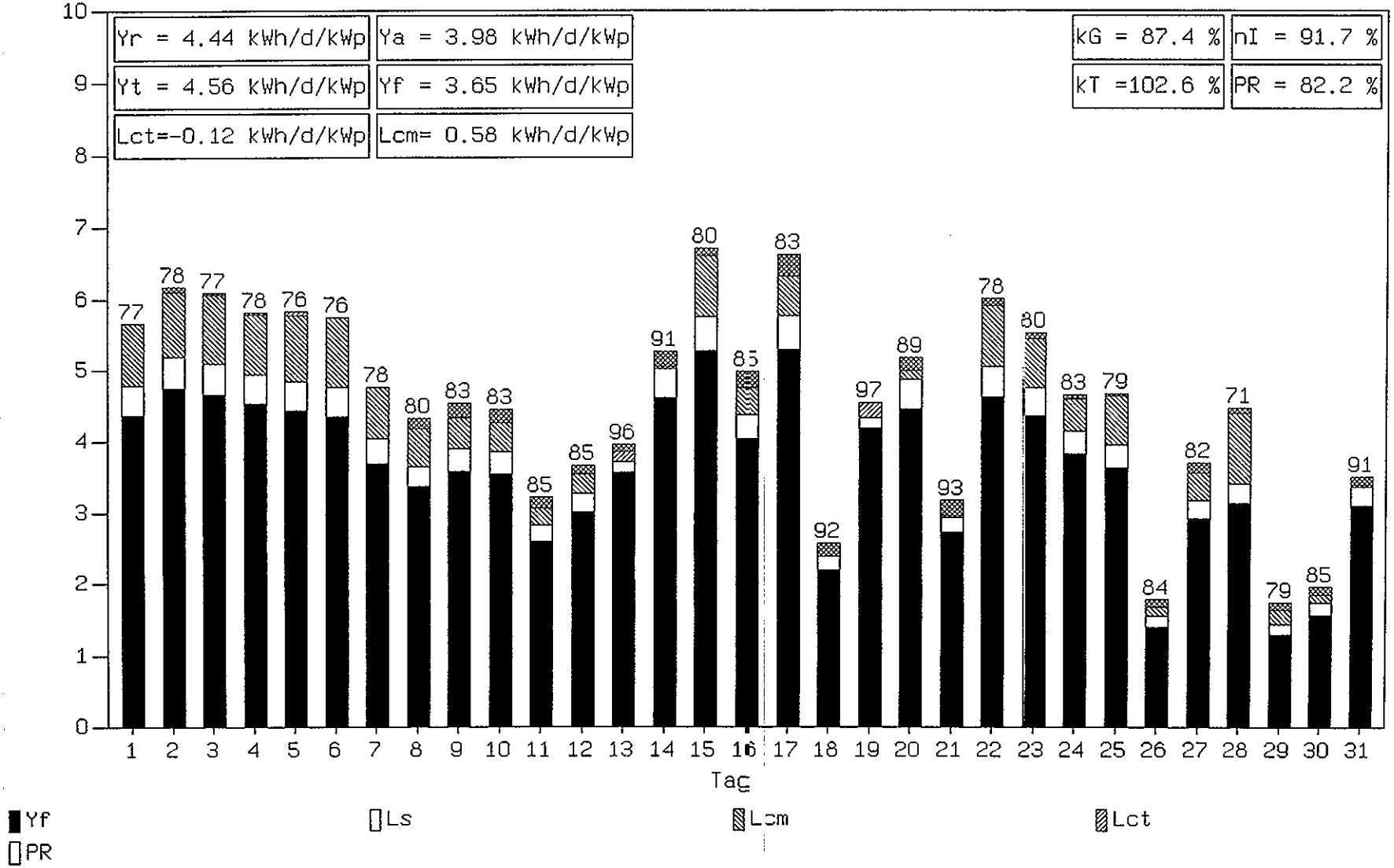
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 5.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



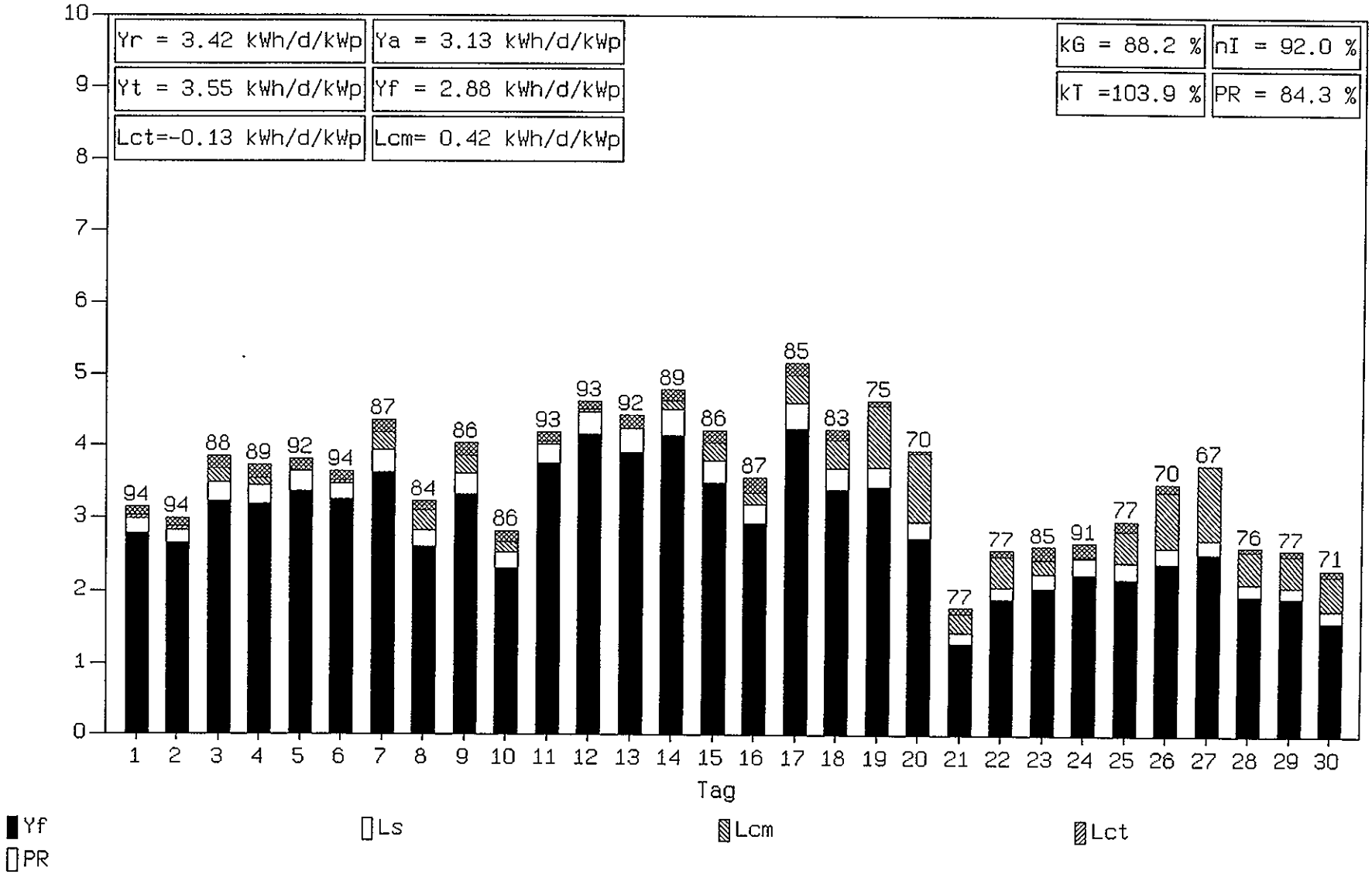
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 6.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

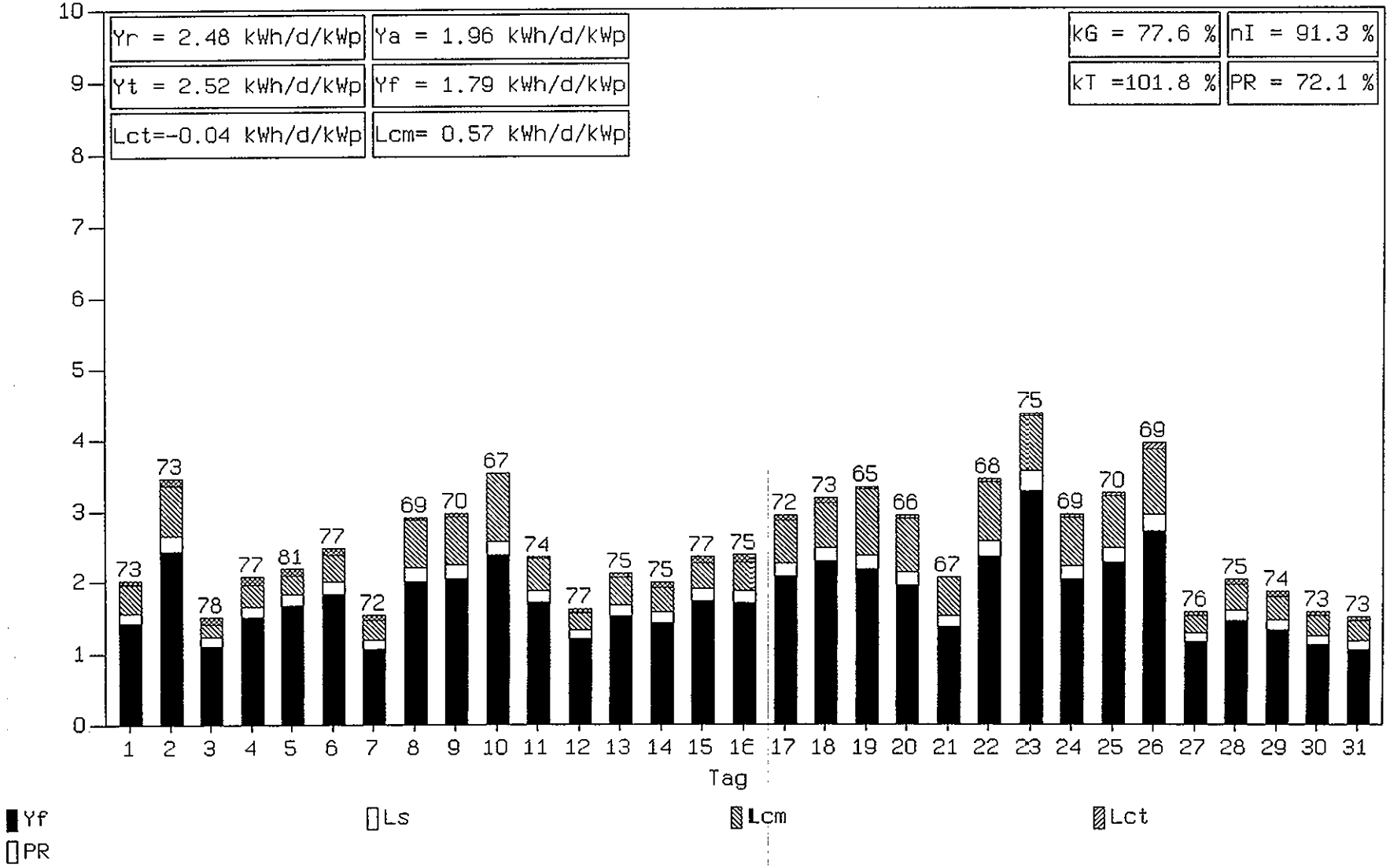
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 7.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



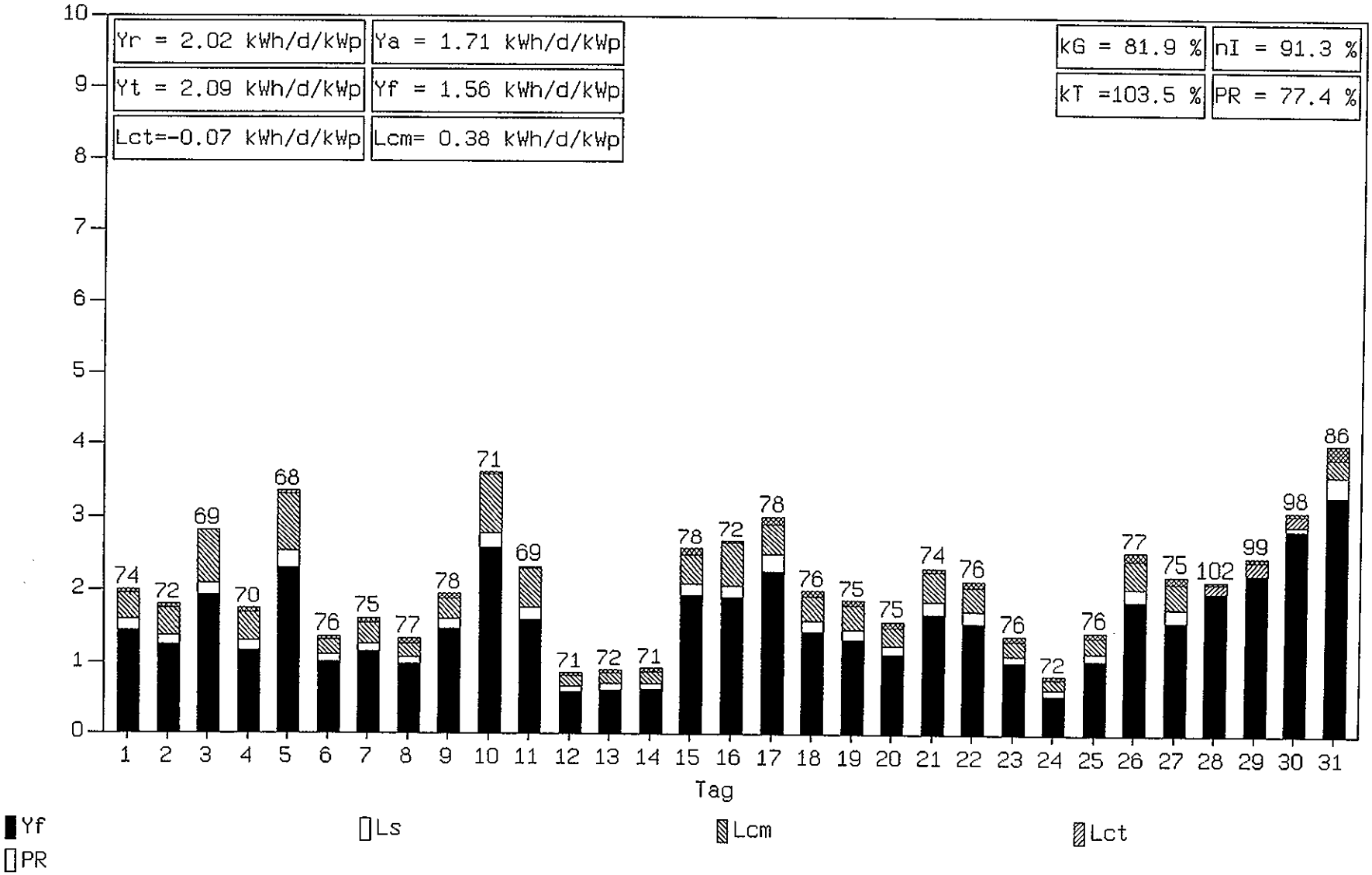
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 8.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



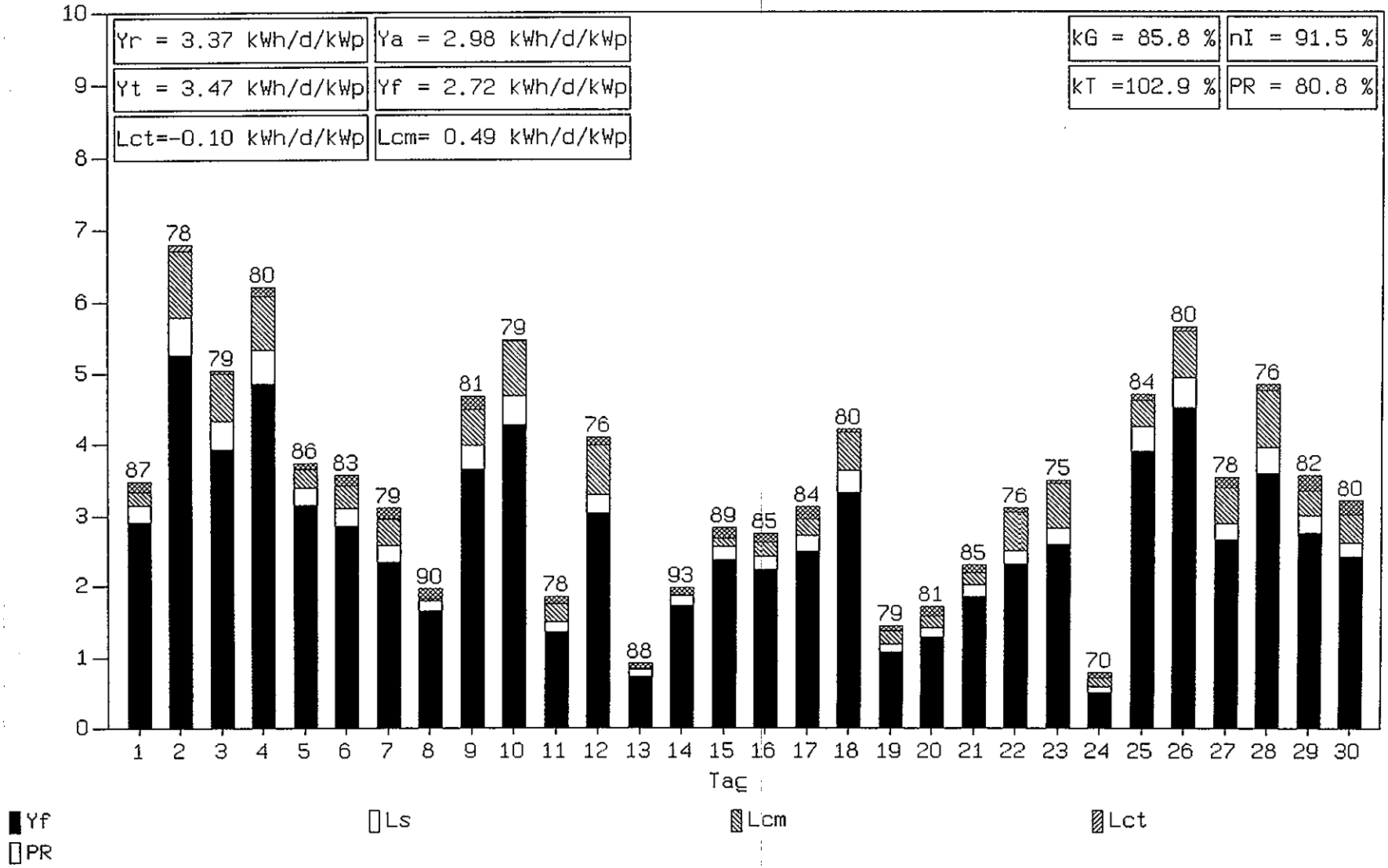
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 9.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



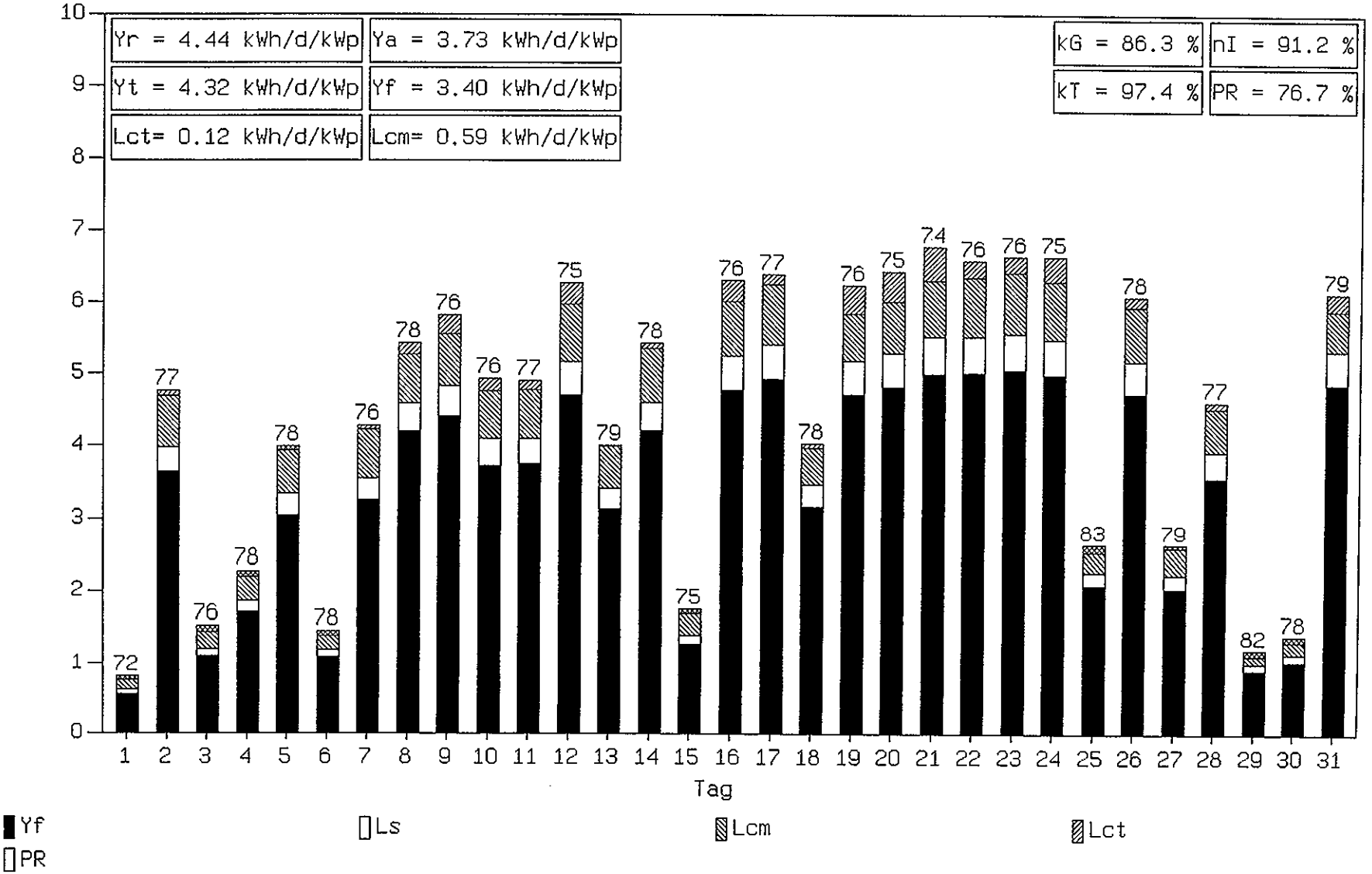
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 10.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

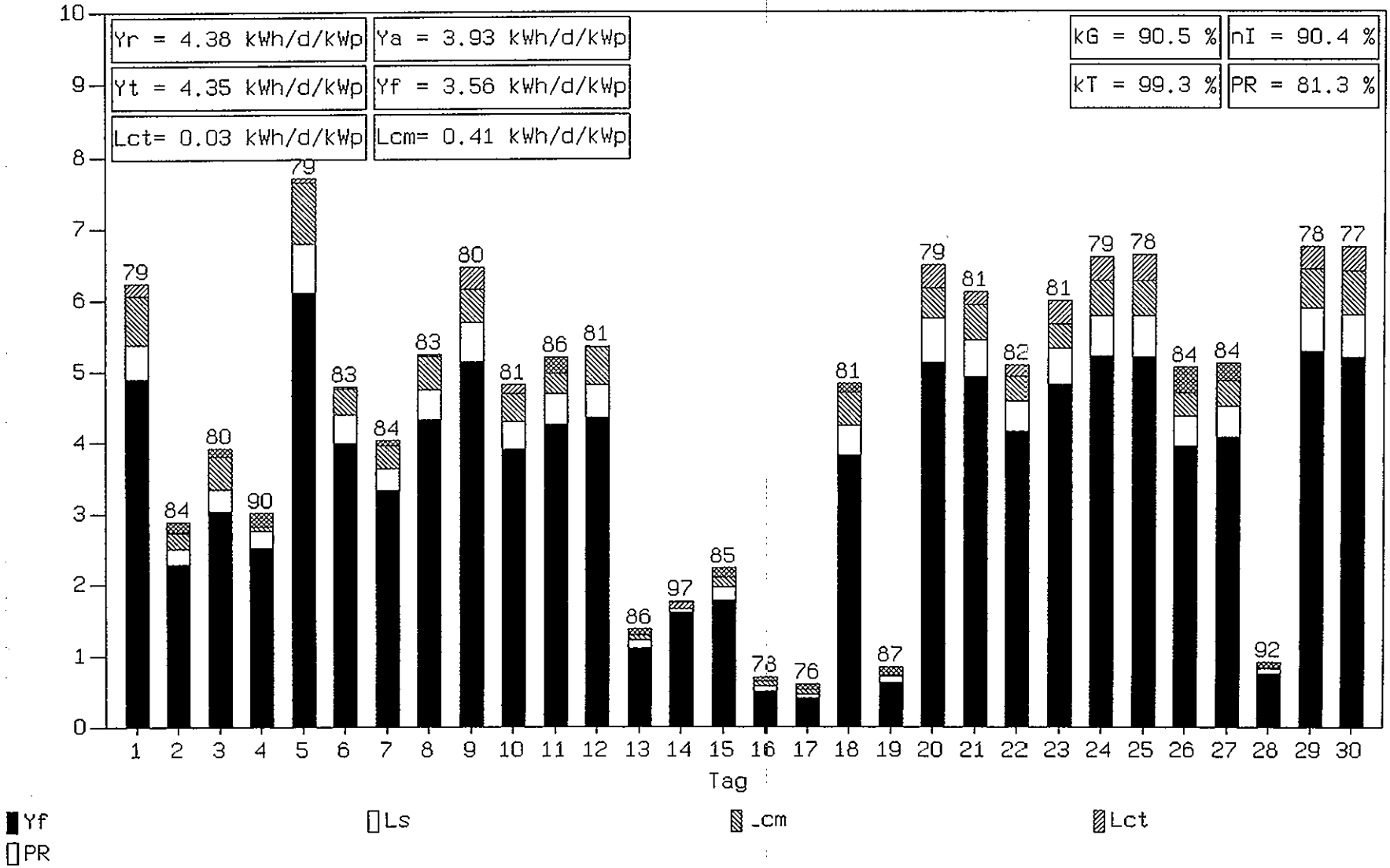
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 11.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



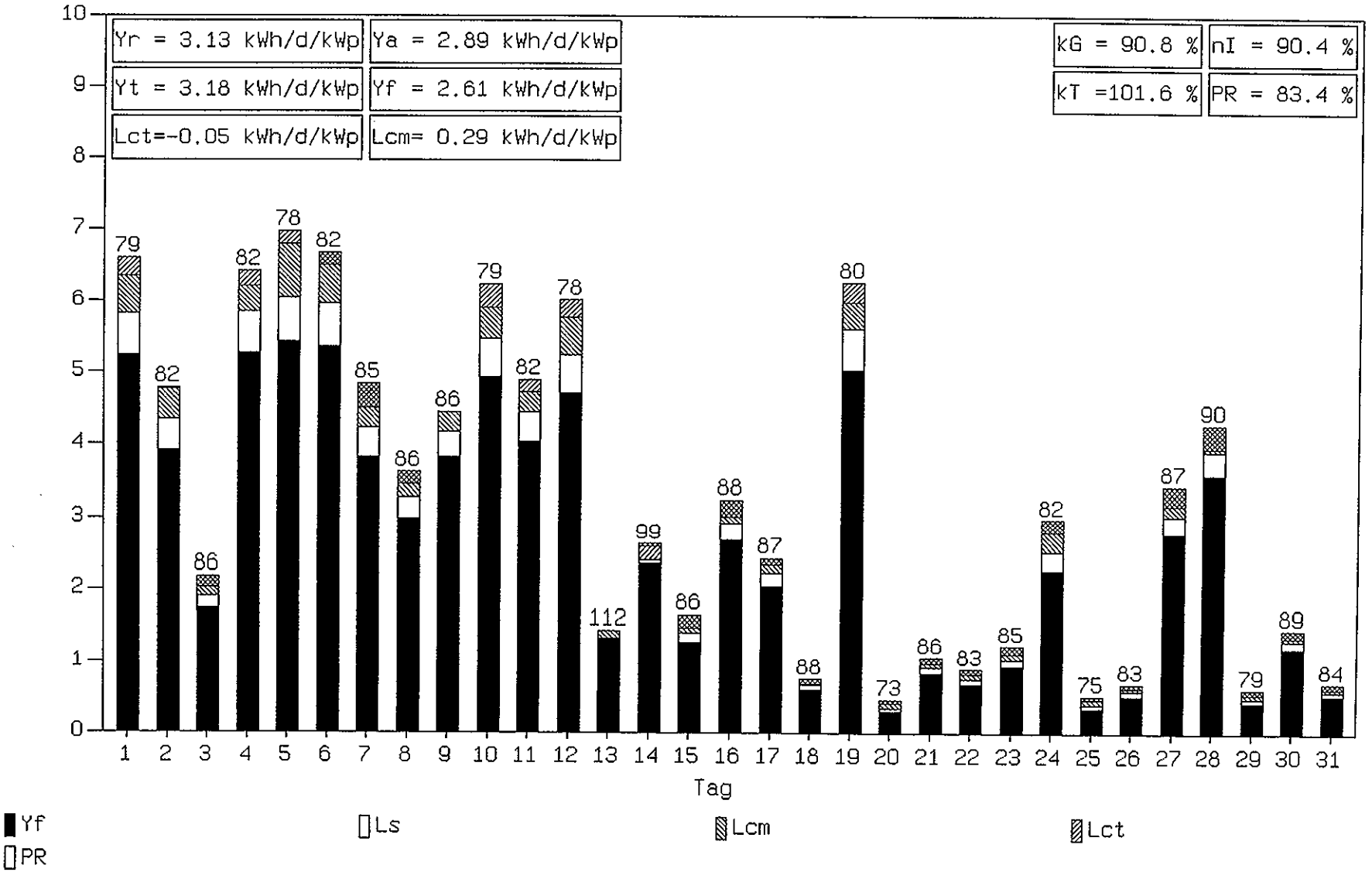
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 12.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



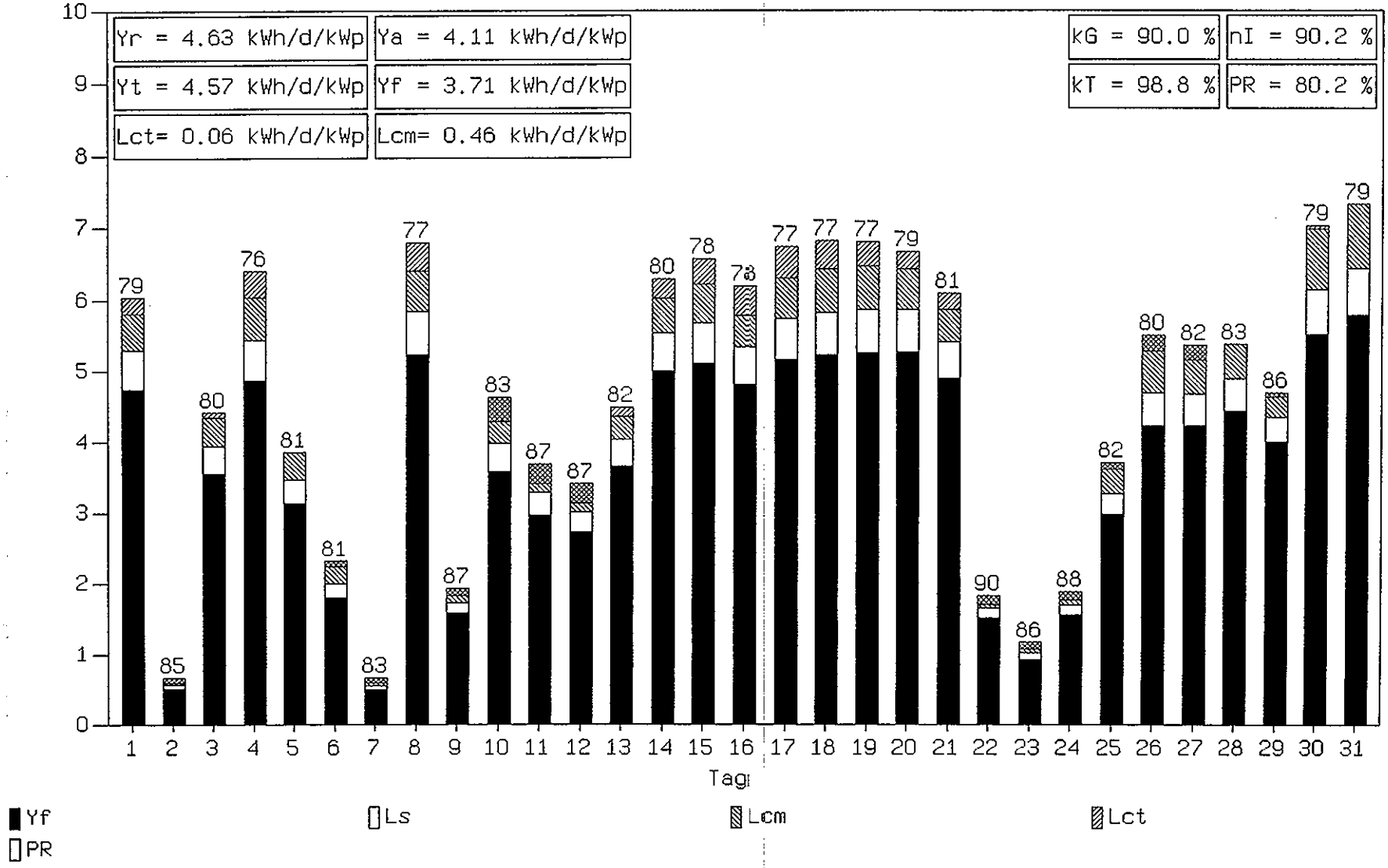
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 1.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



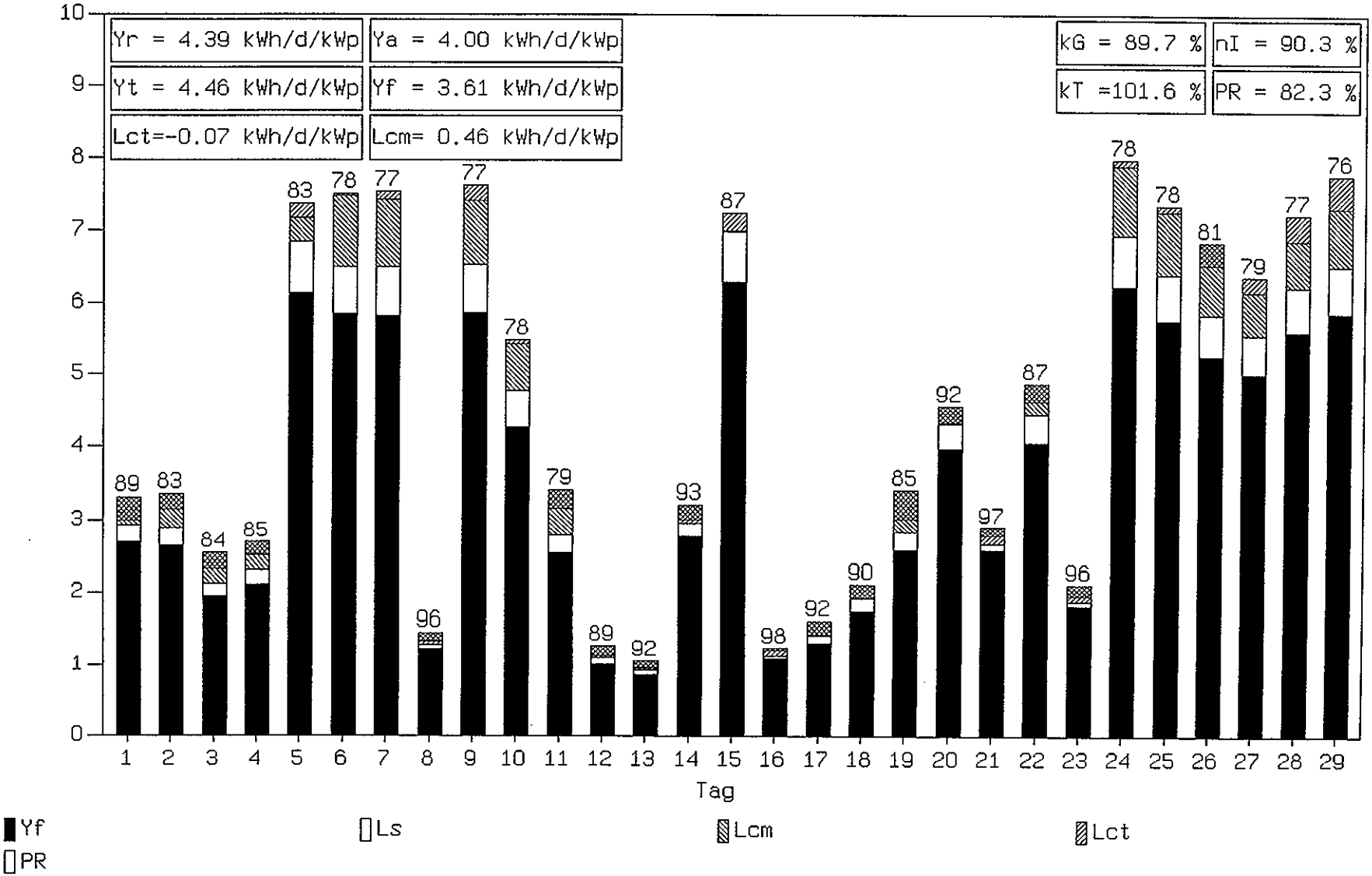
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 2.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

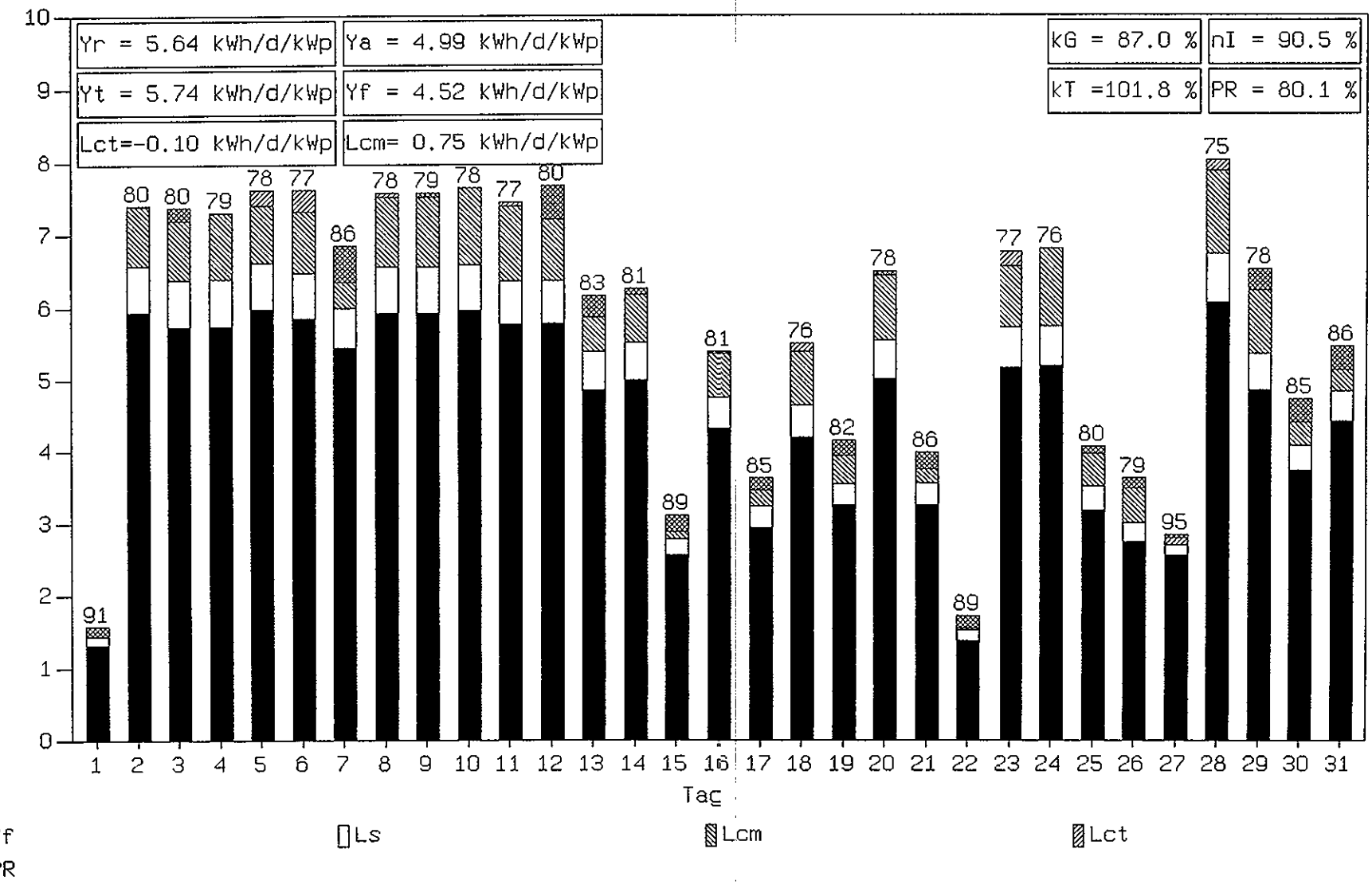
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 3.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



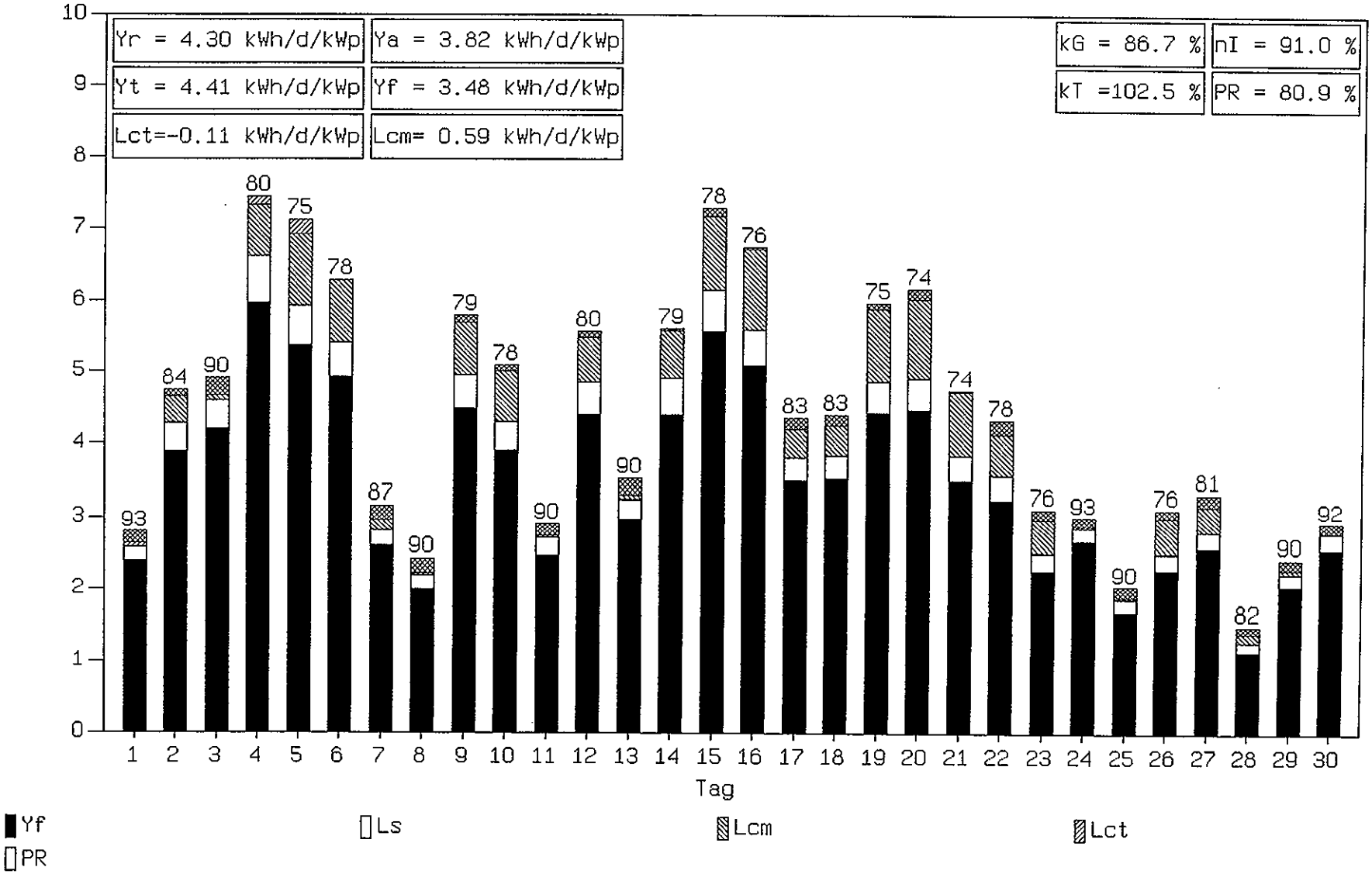
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 4.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



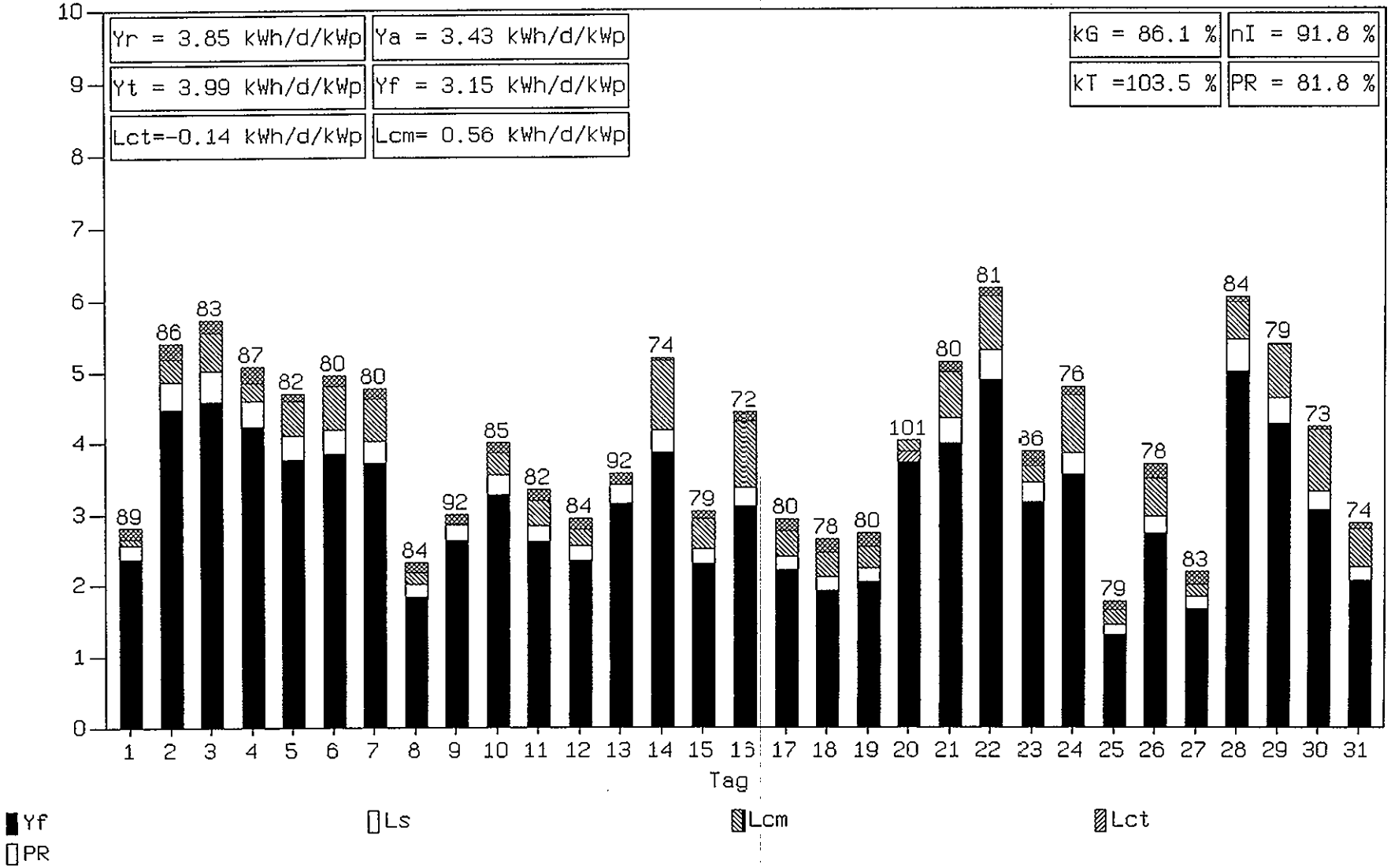
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 5.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



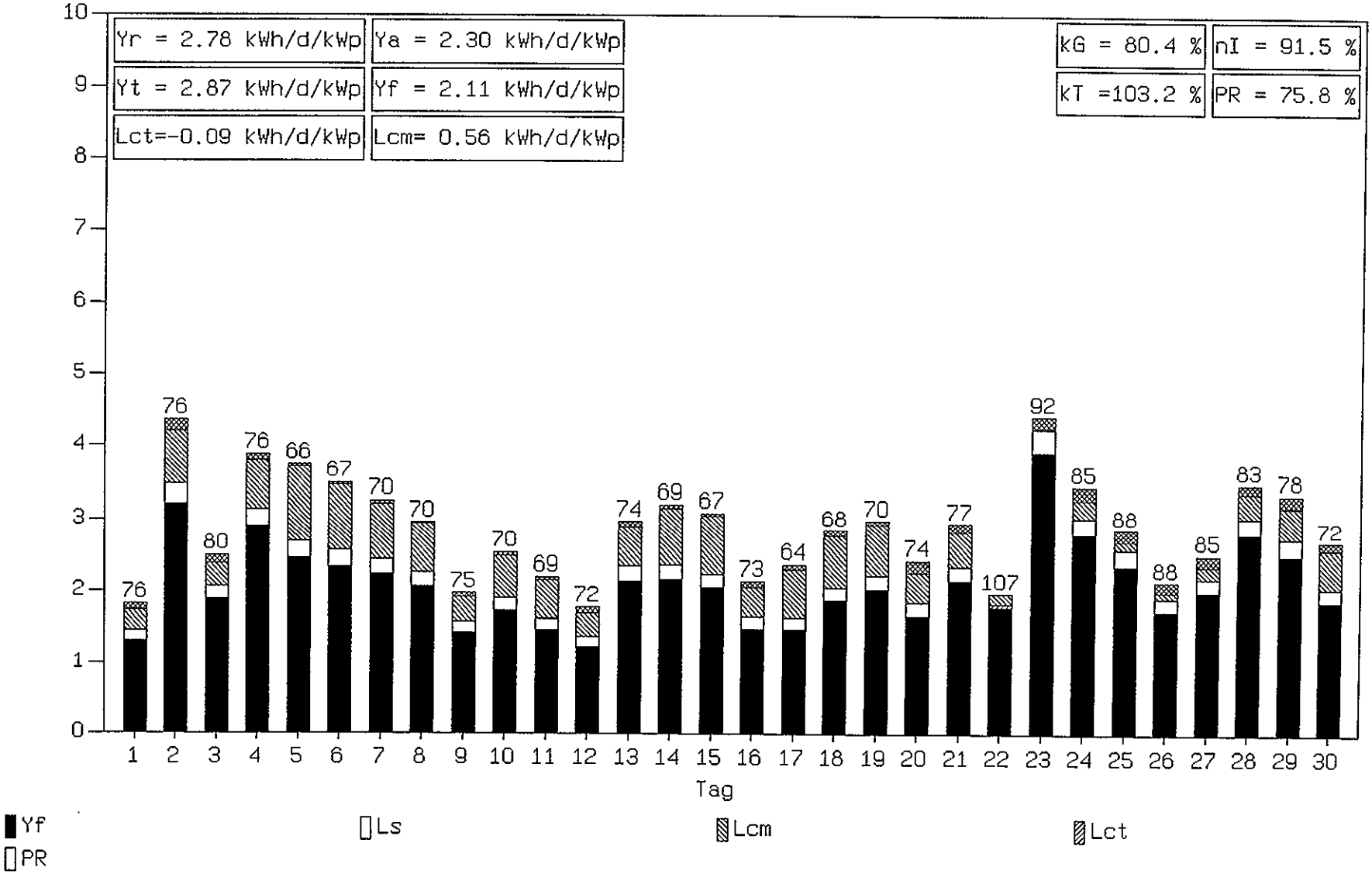
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 6.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

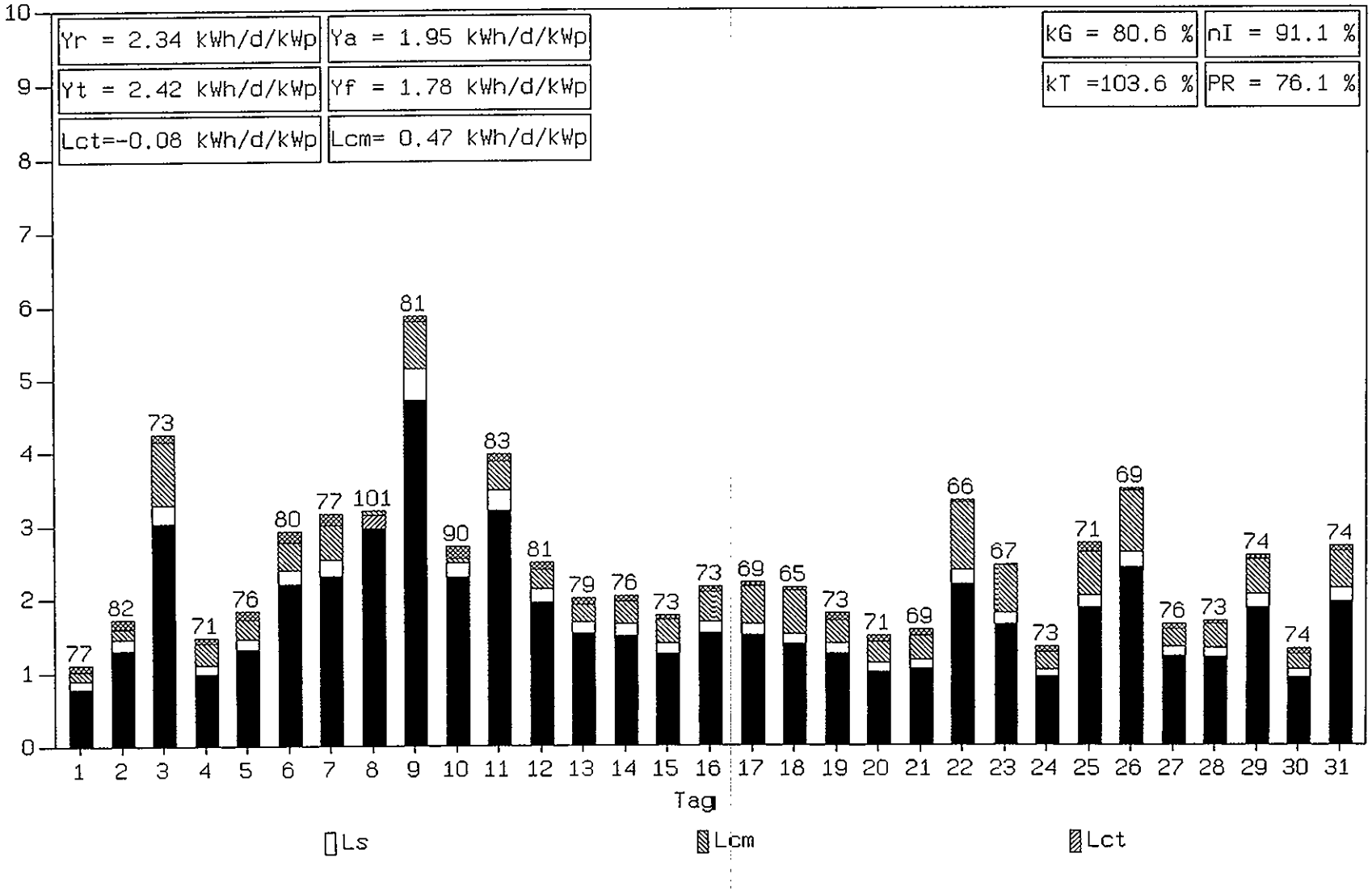
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 7.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



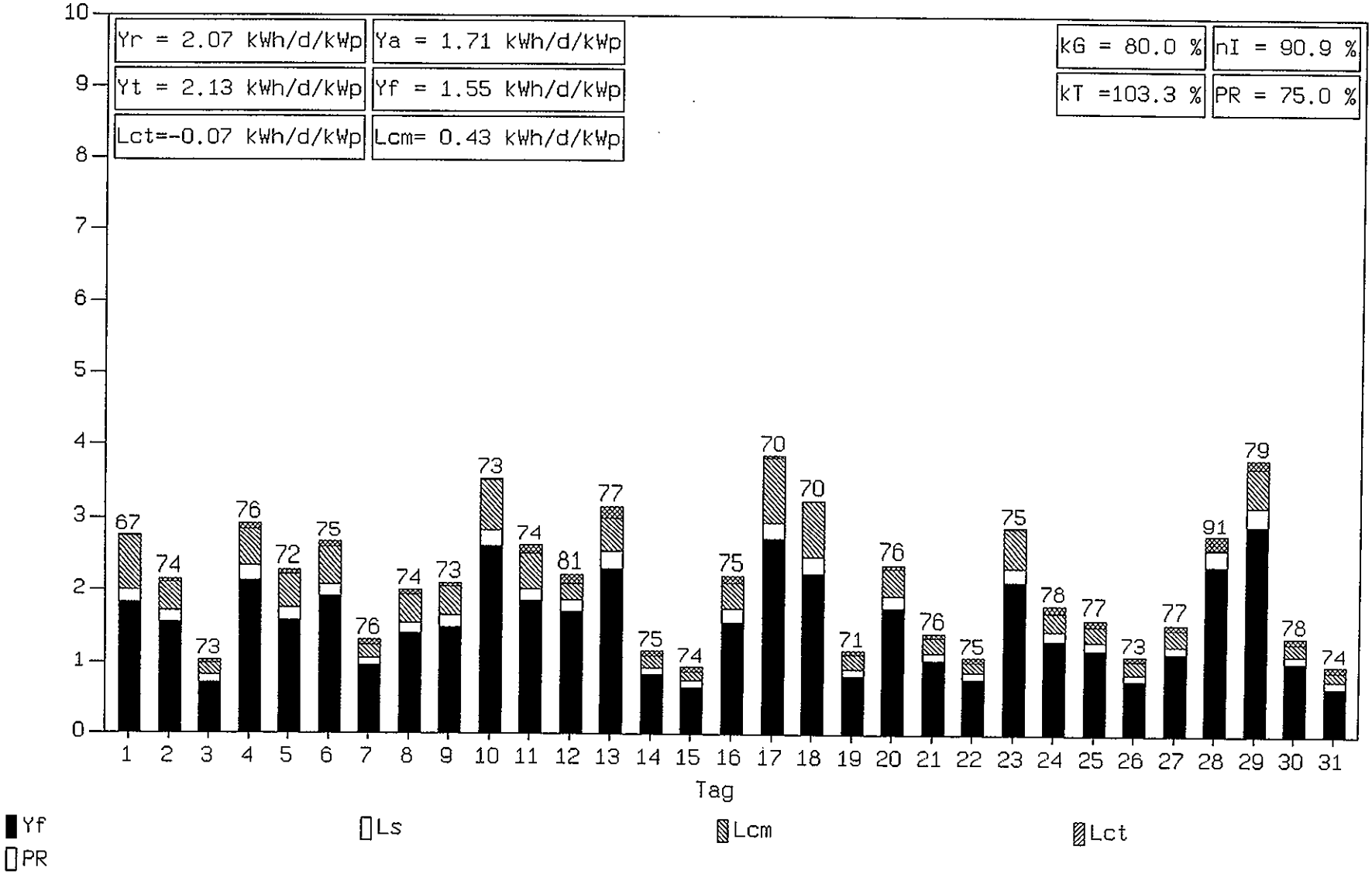
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 8.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



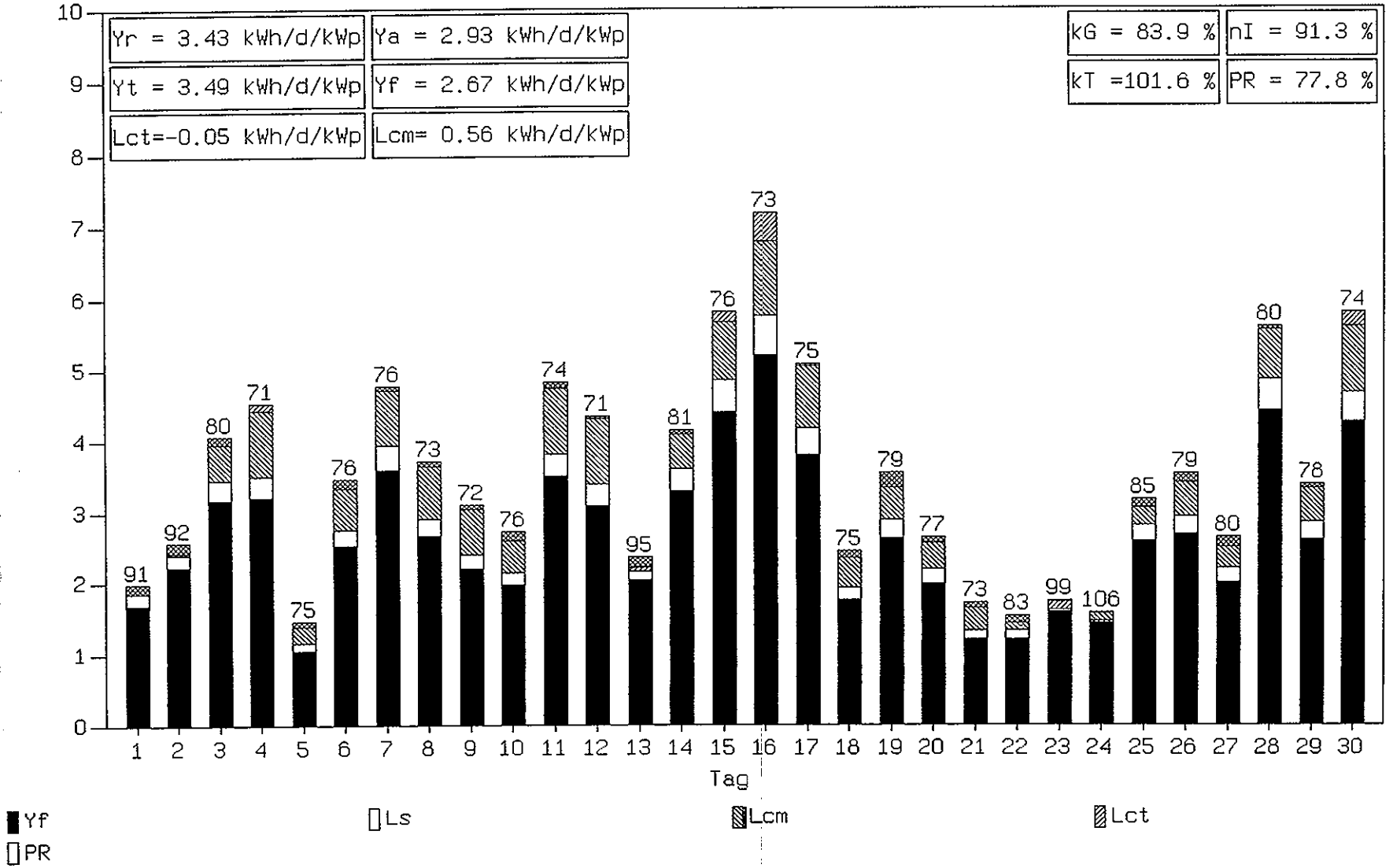
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 9.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



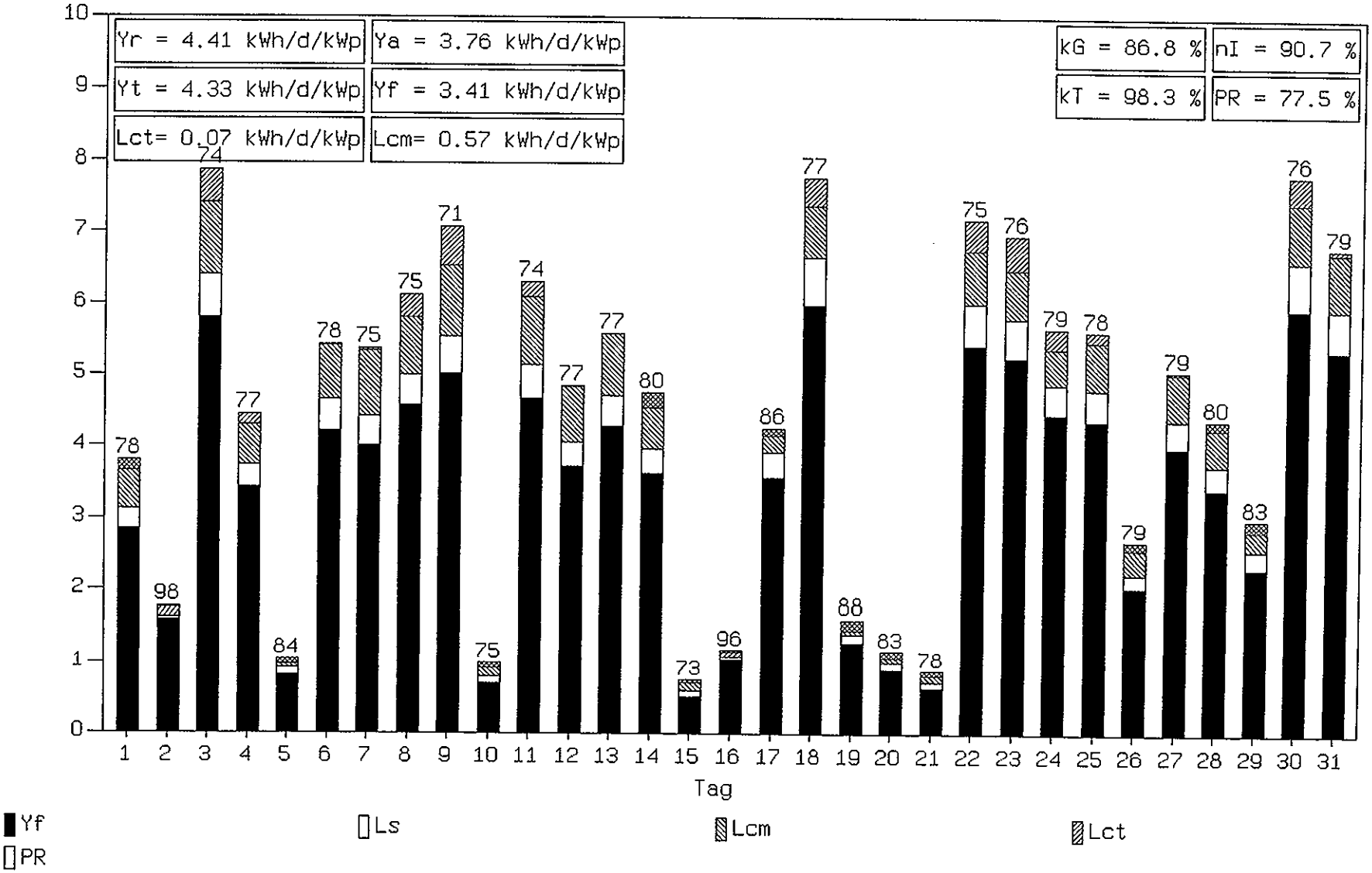
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 10.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

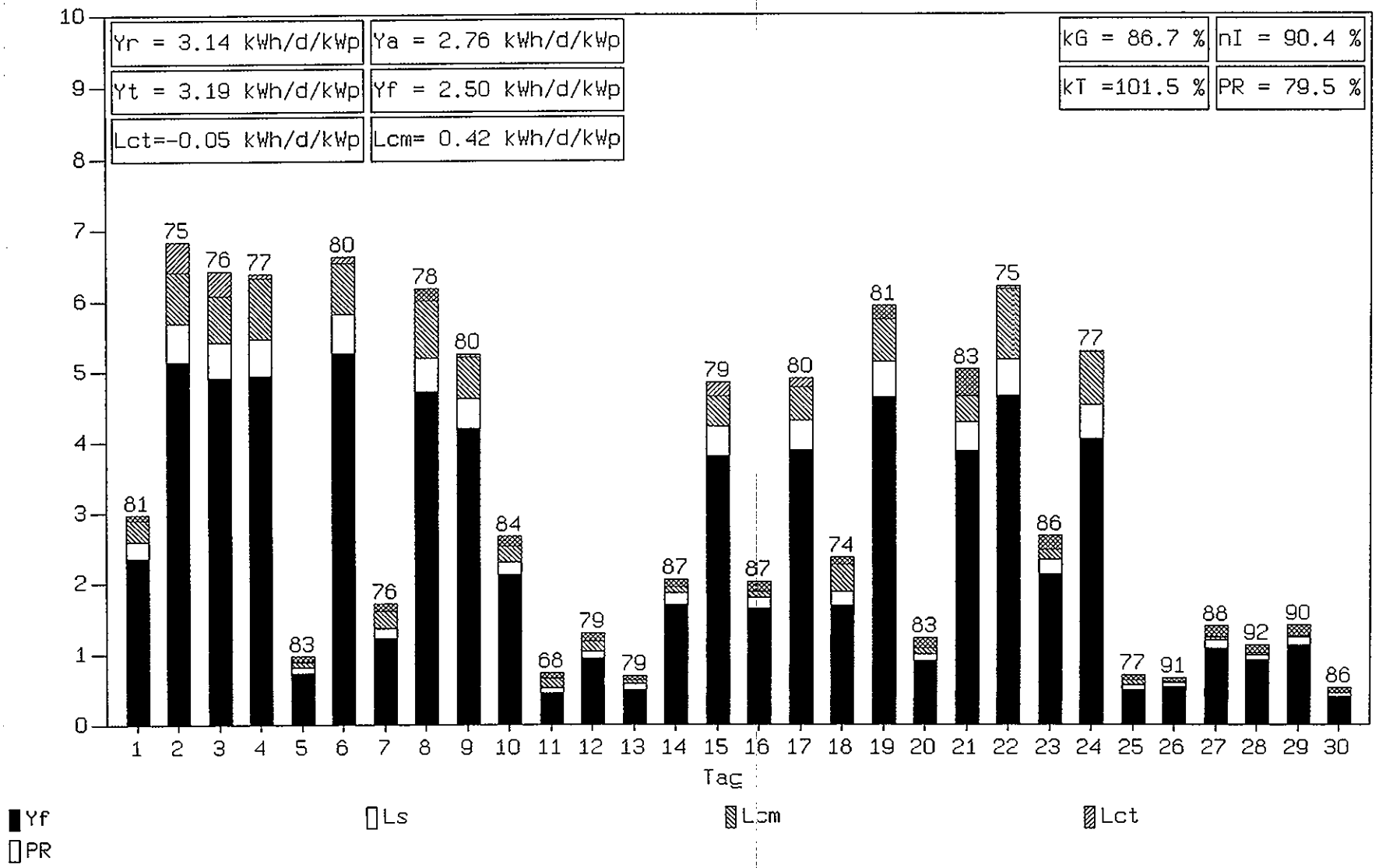
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 11.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



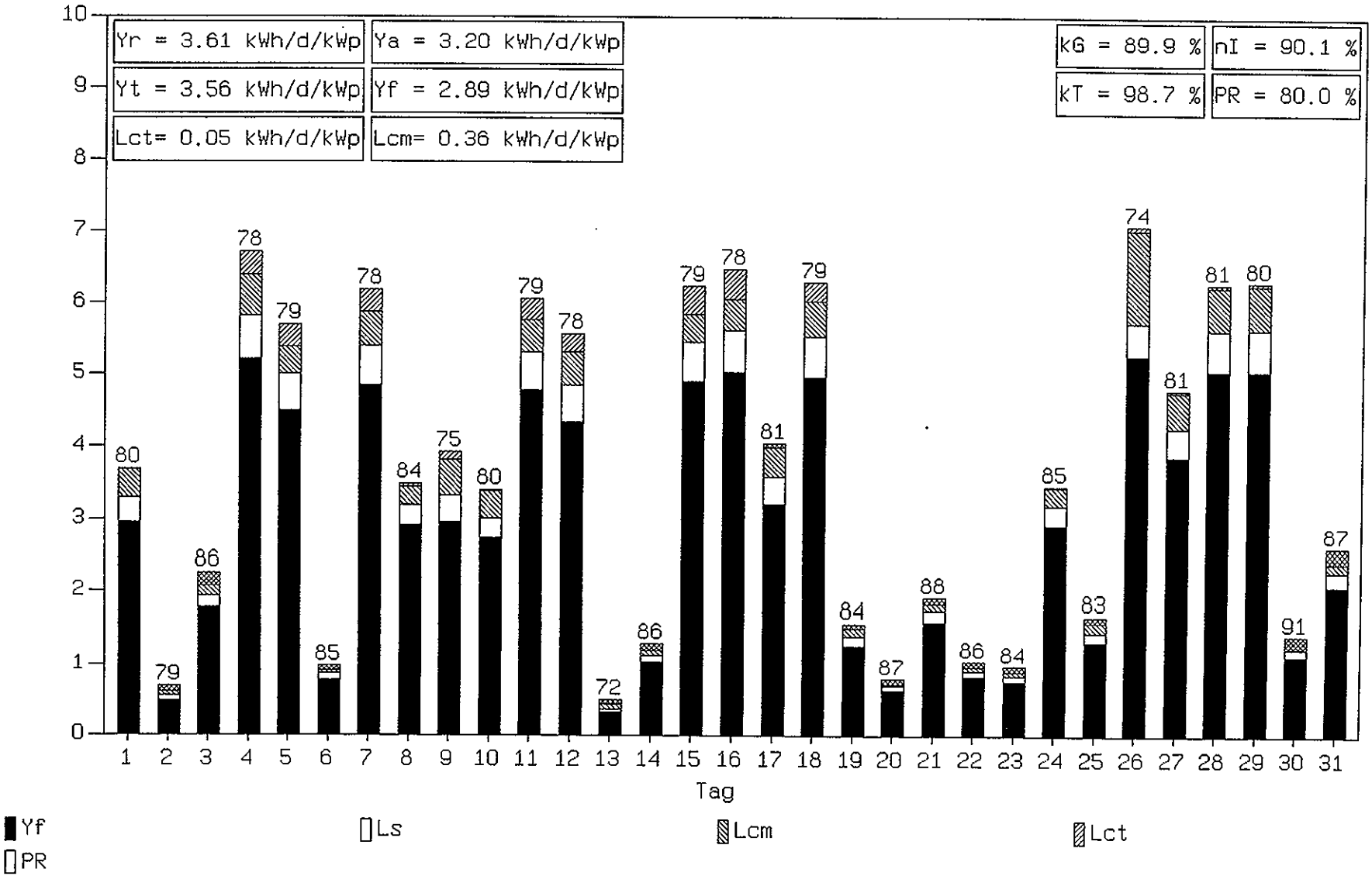
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 12.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

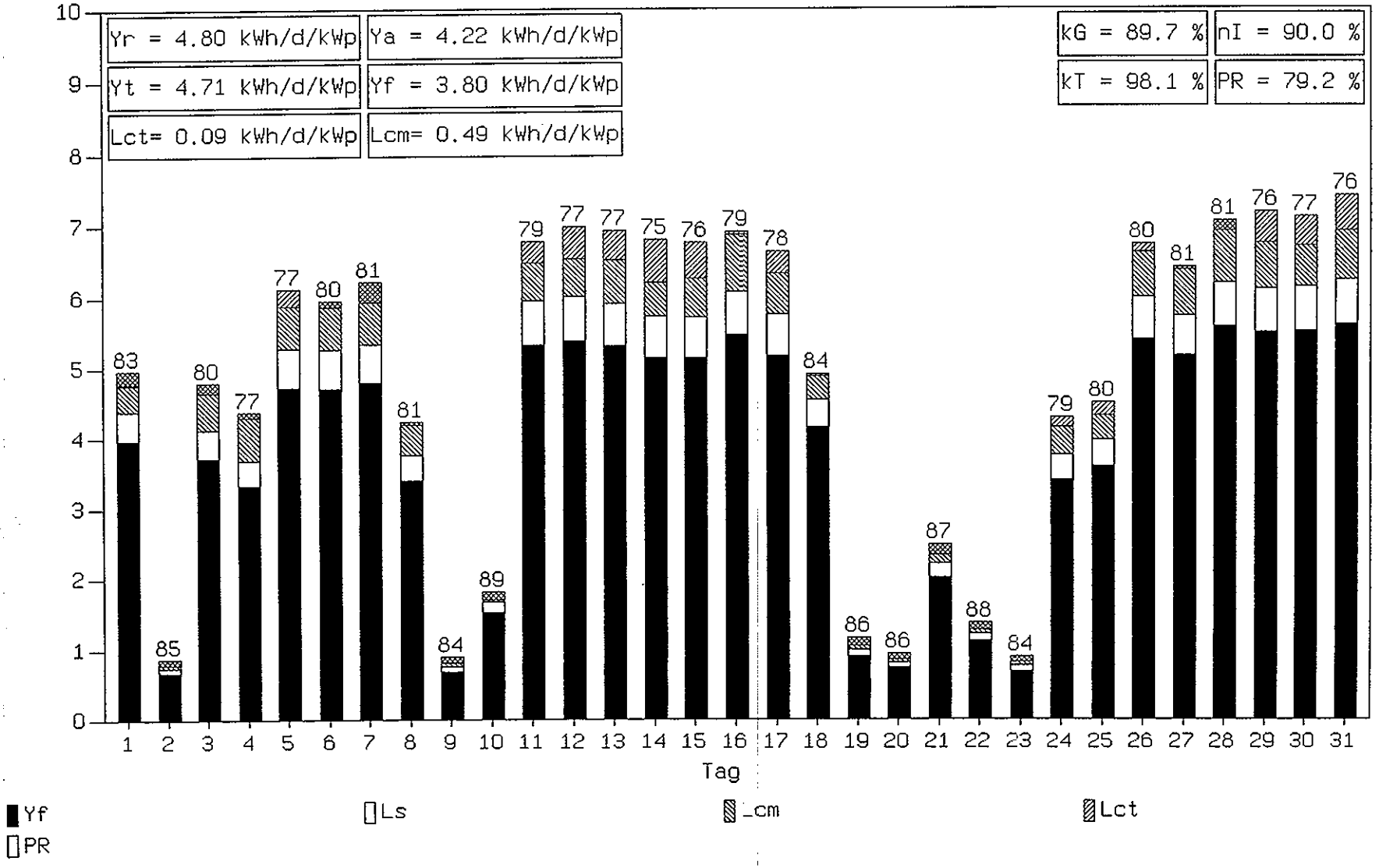
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 1.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



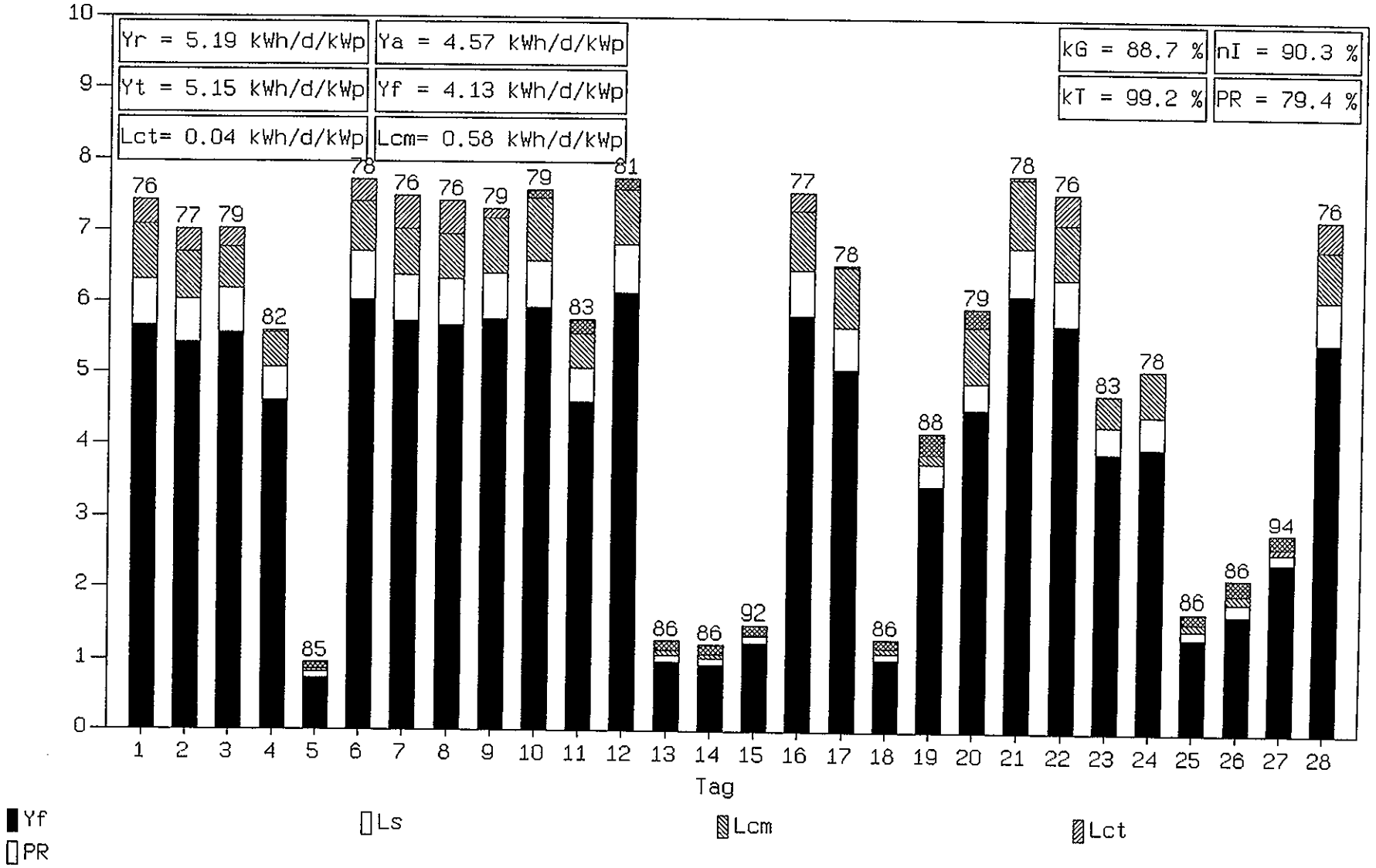
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 2.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



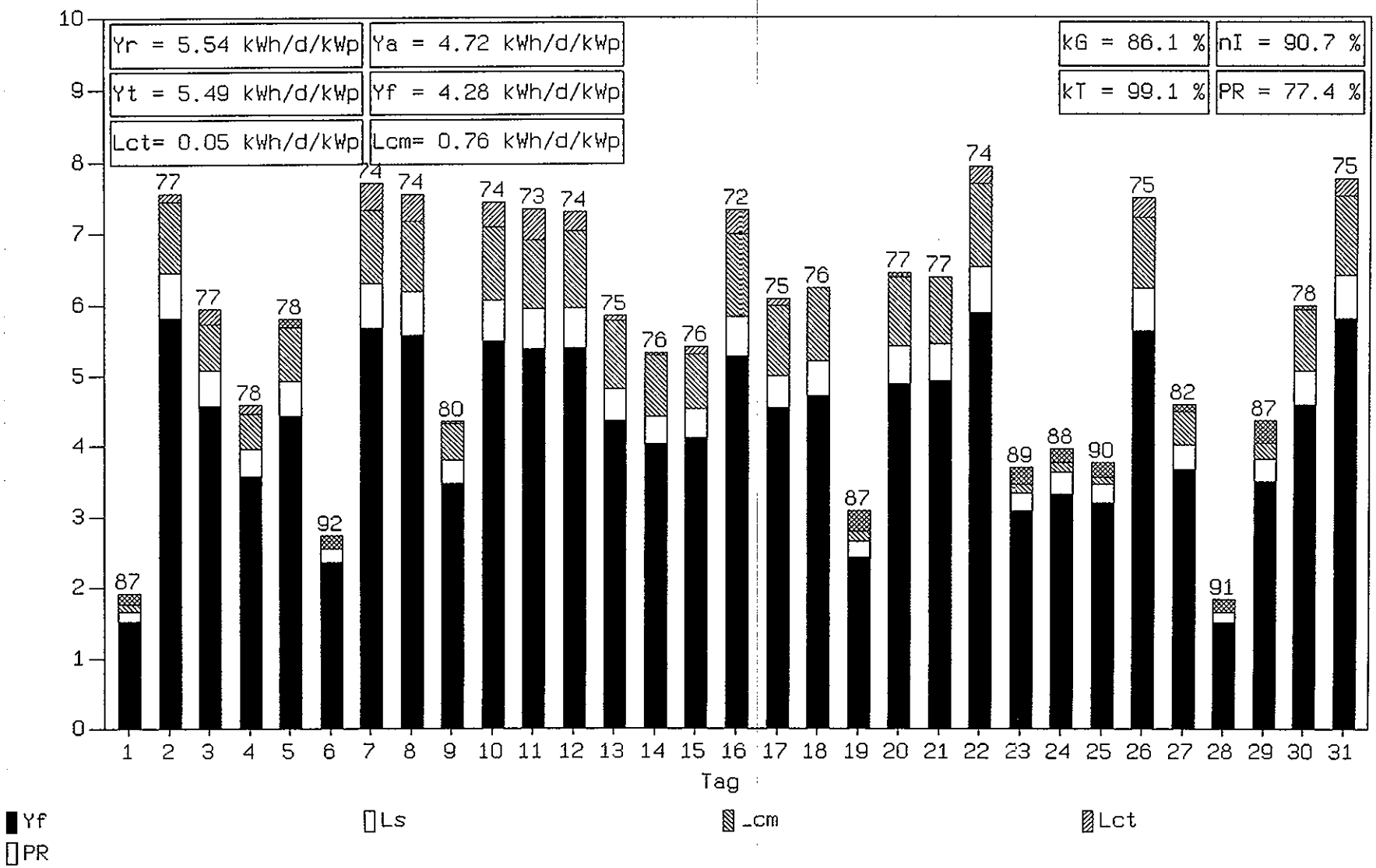
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 3.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



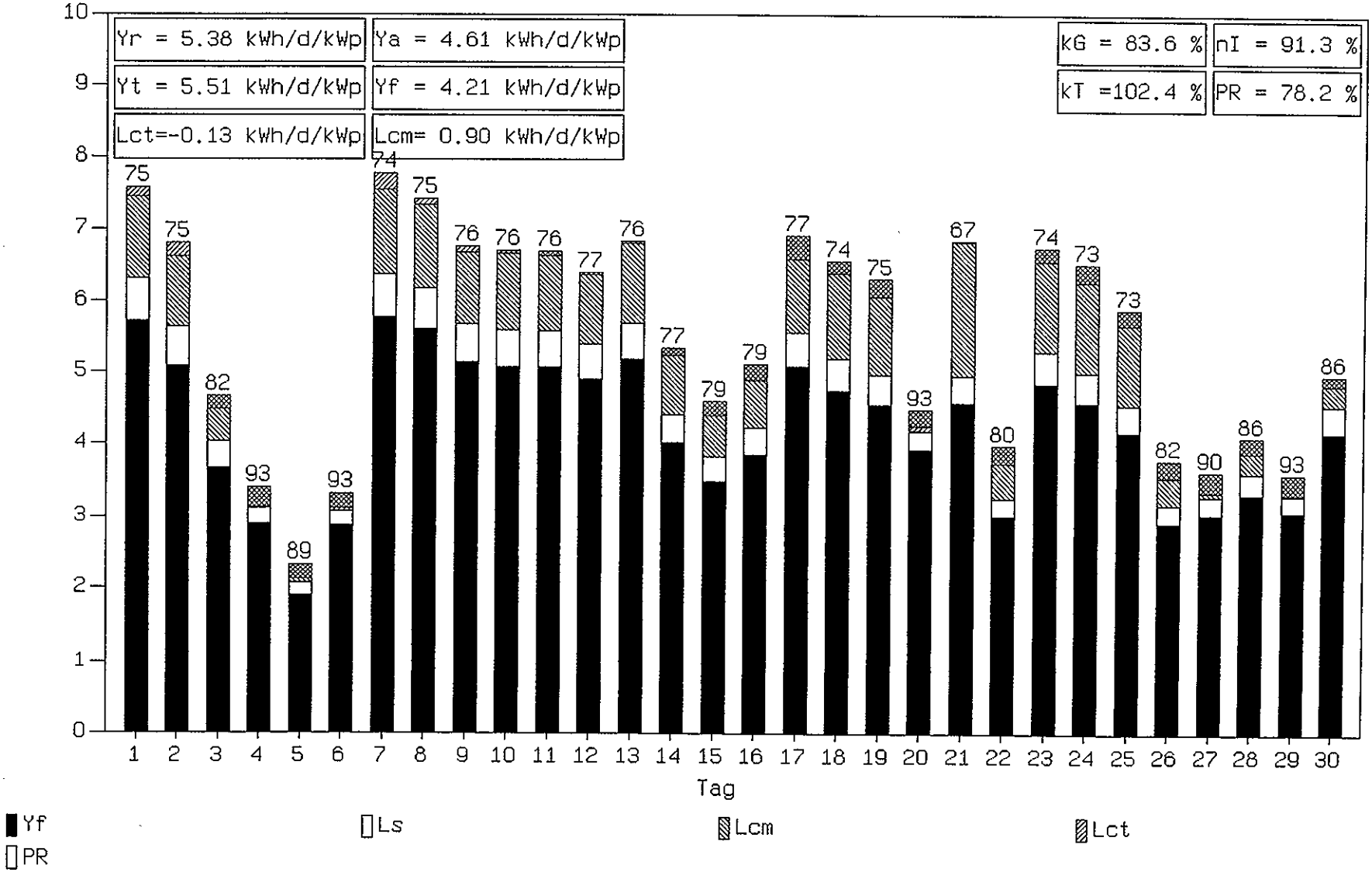
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 4.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



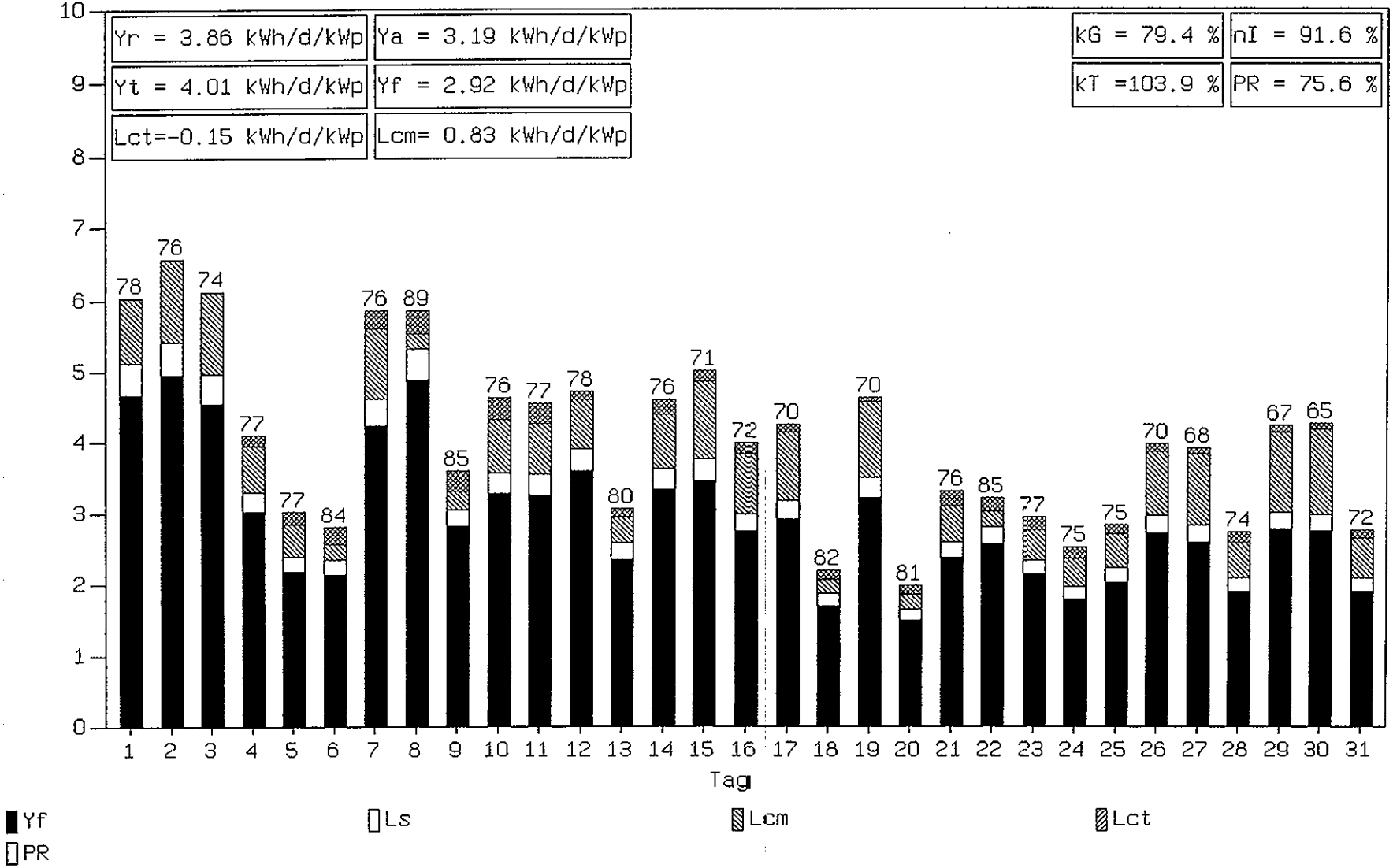
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 5.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



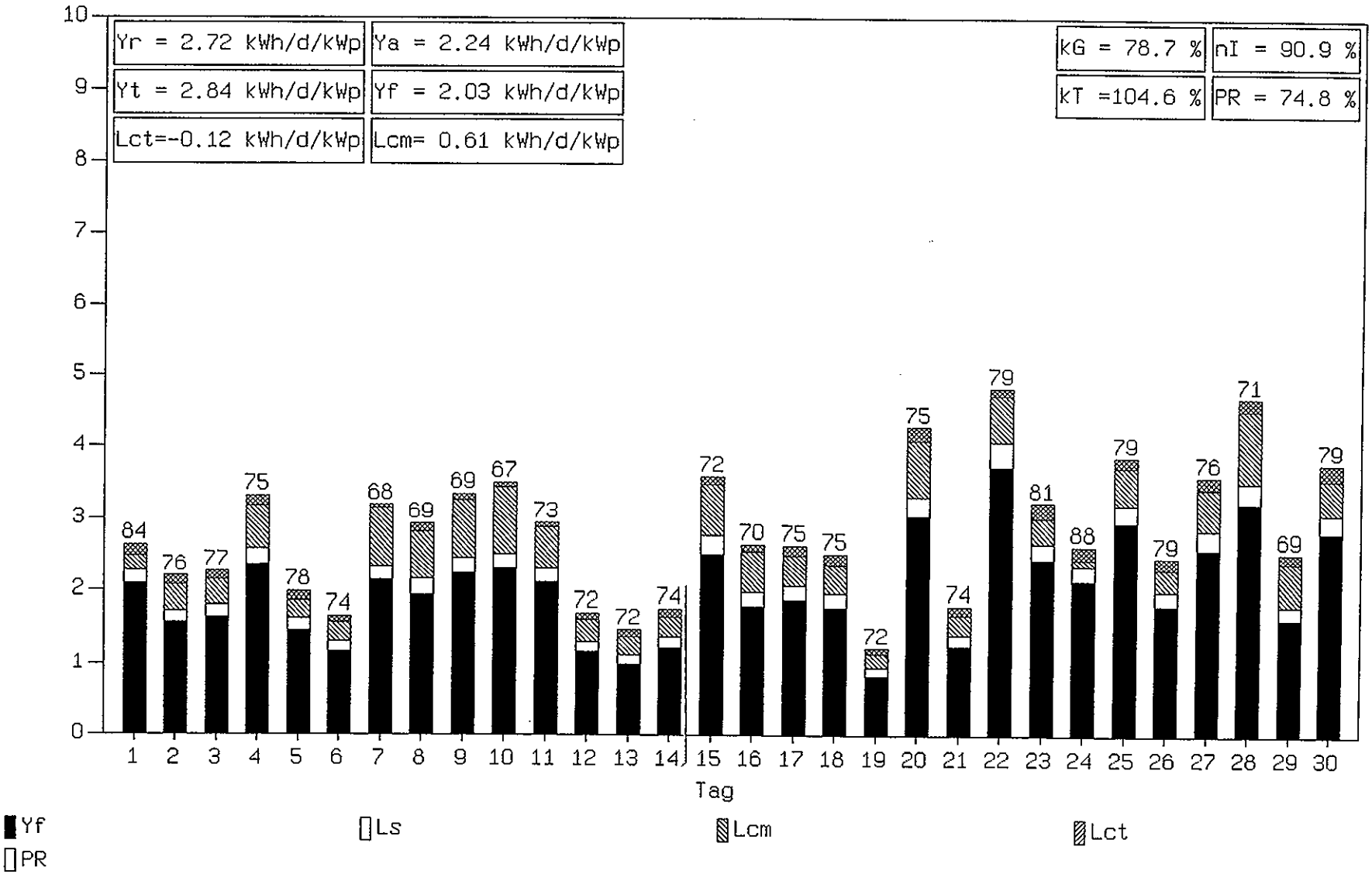
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 6.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

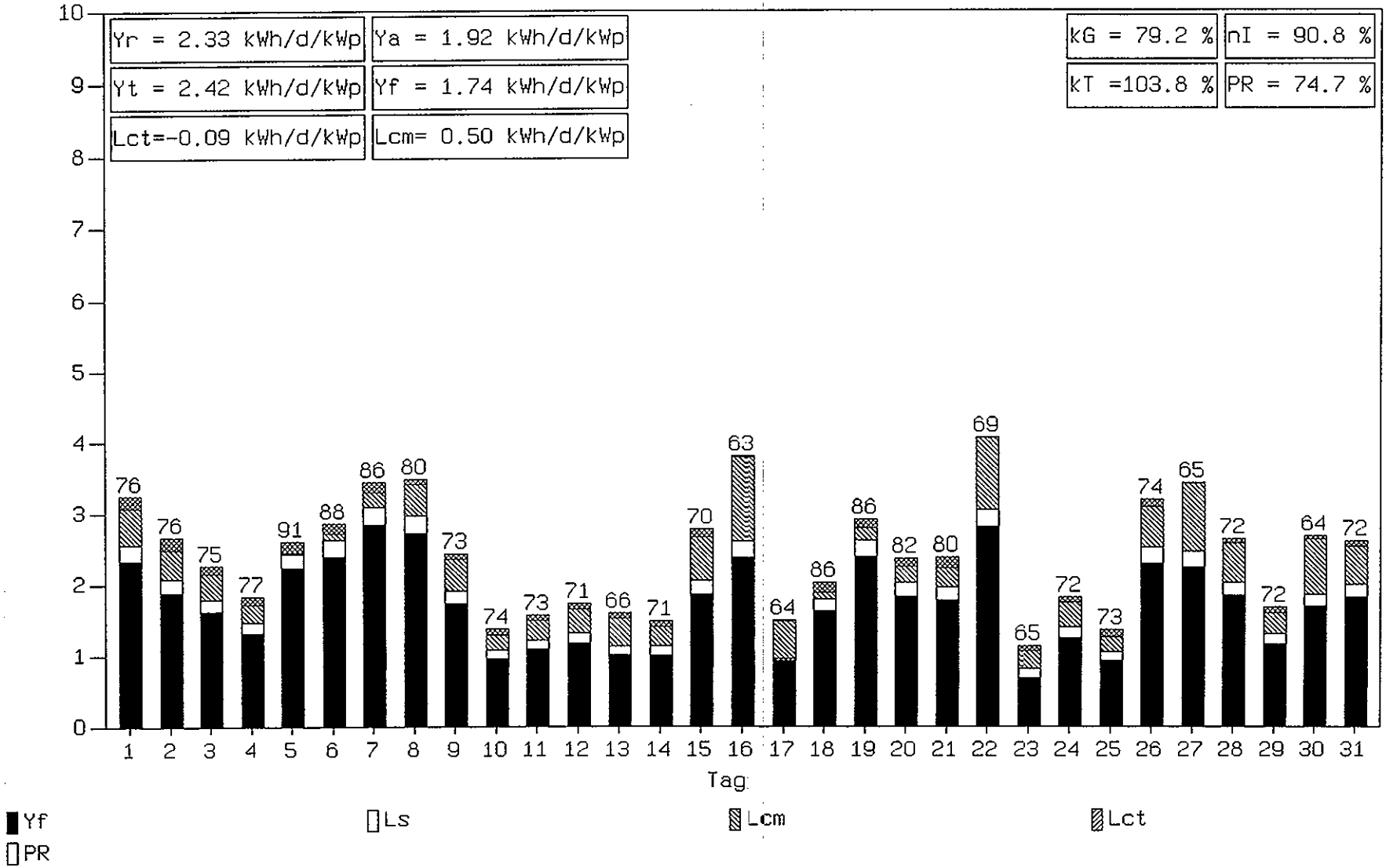
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 7.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



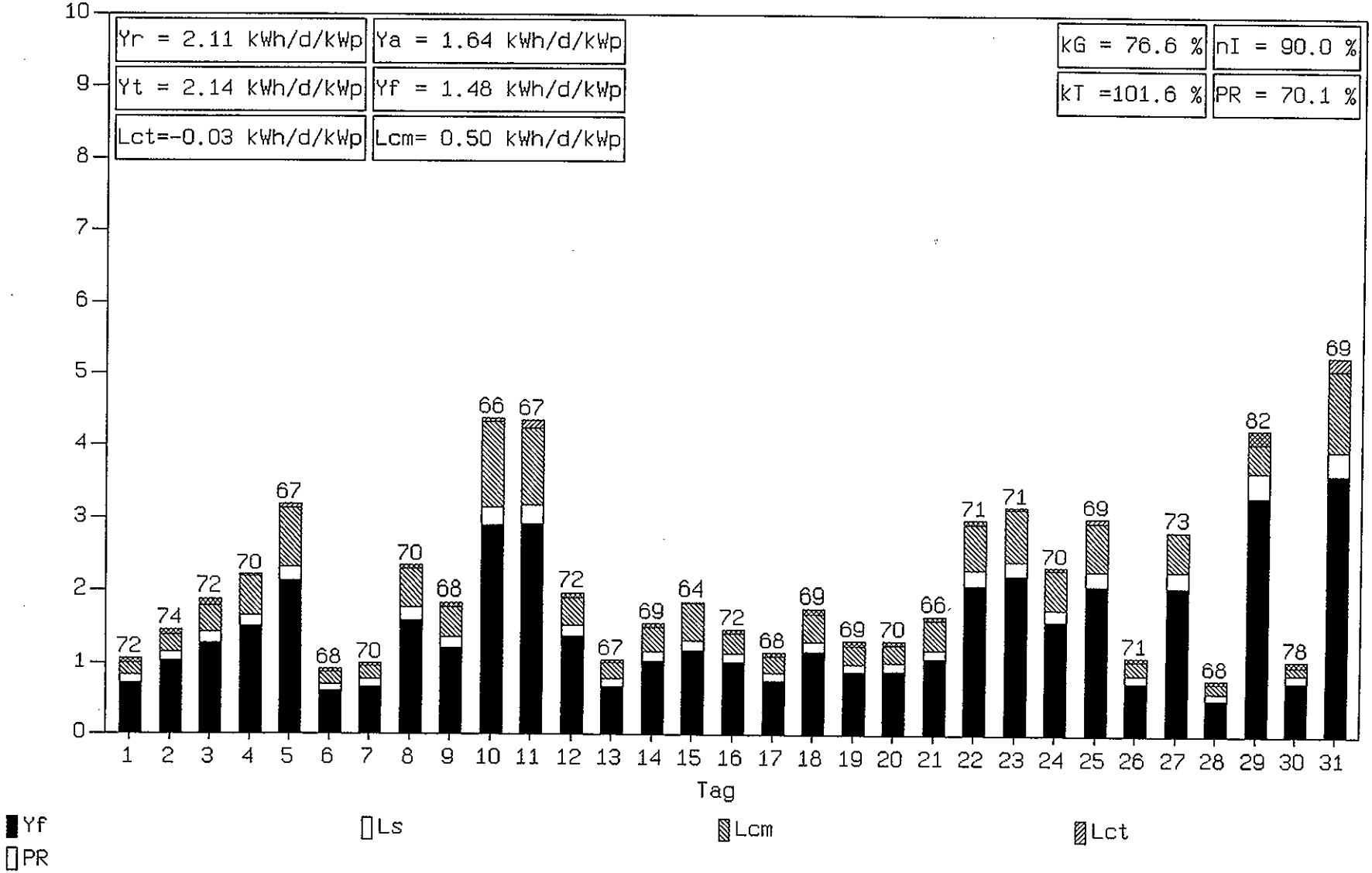
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 8.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



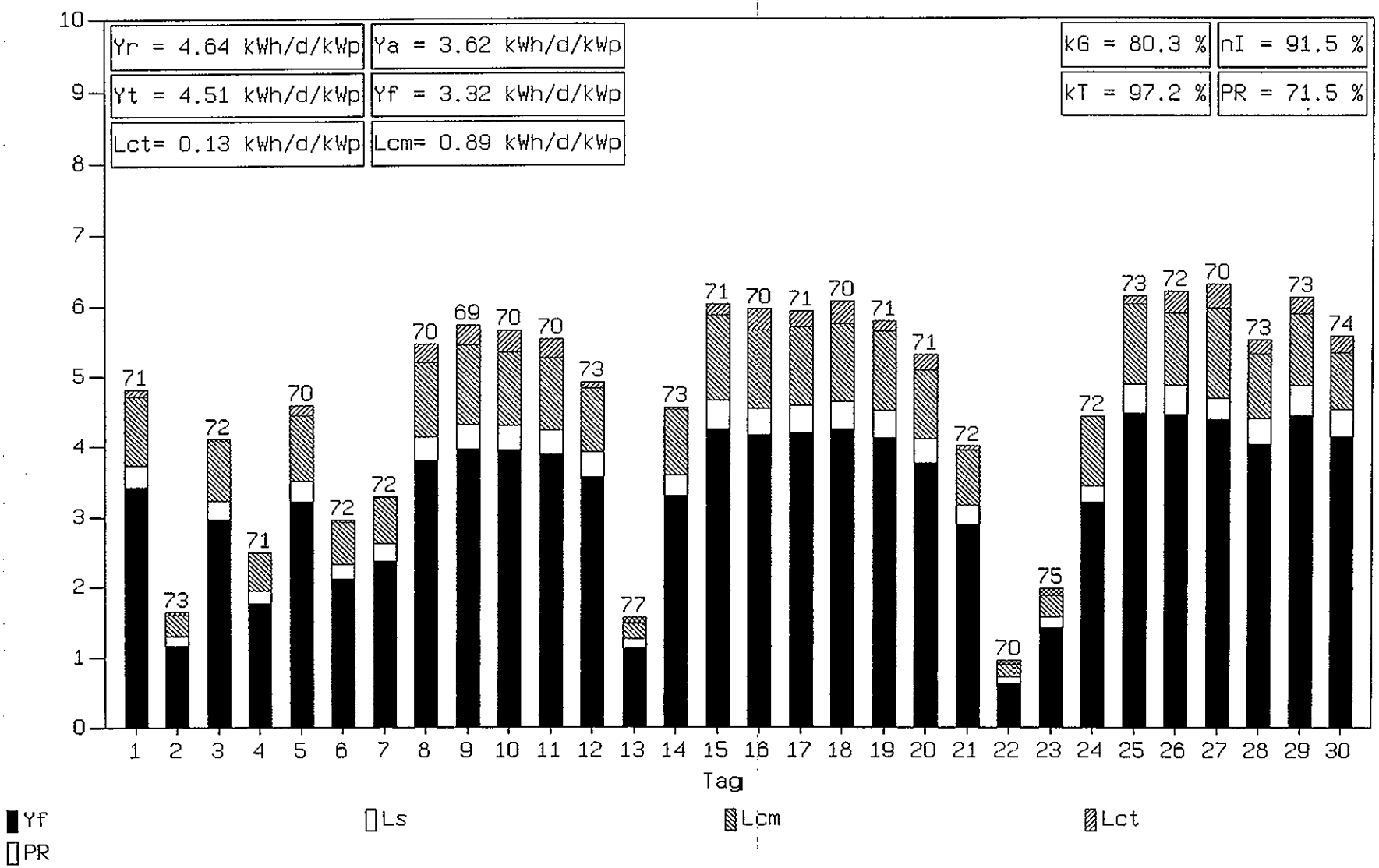
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 9.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



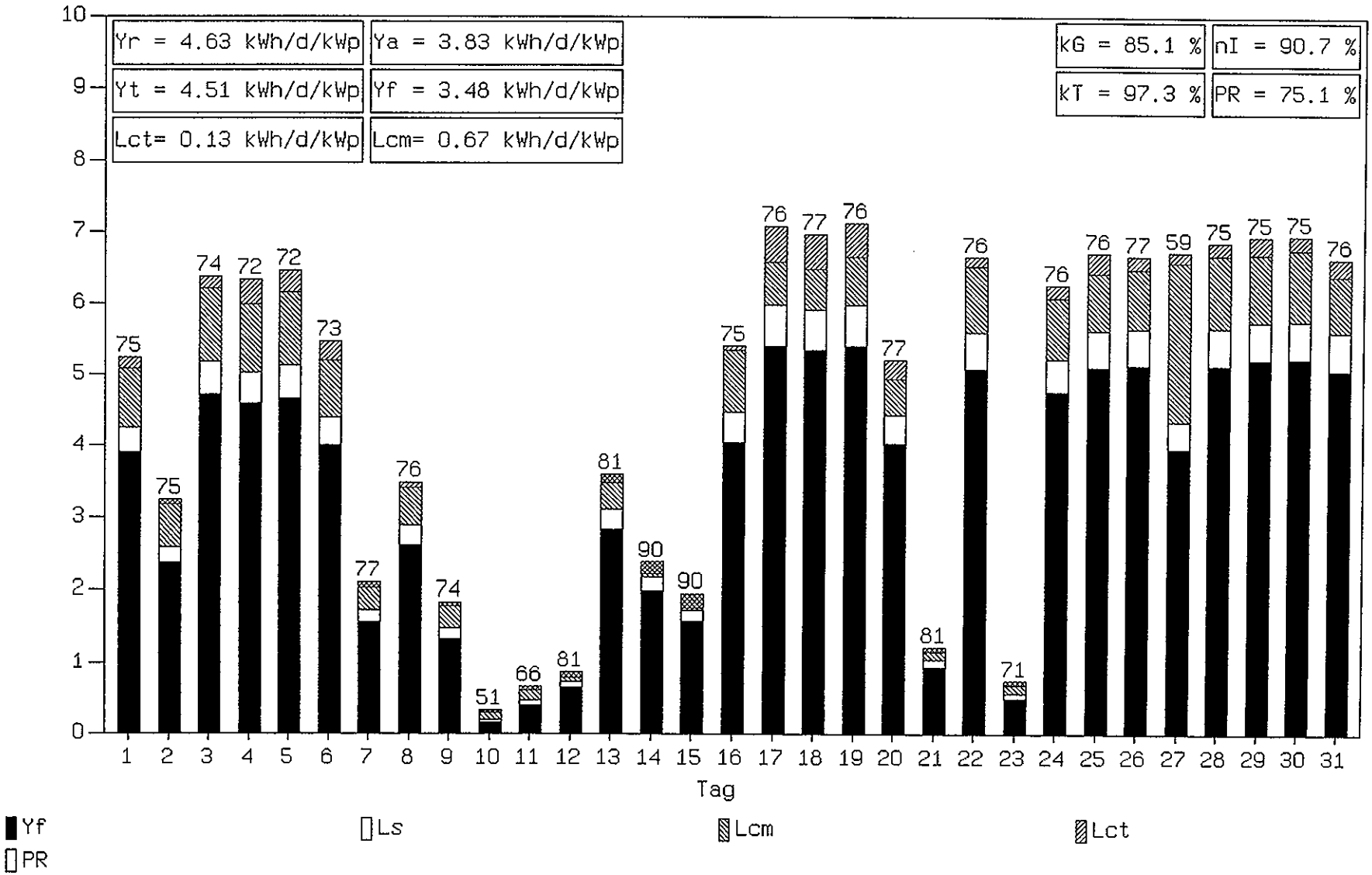
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 10.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

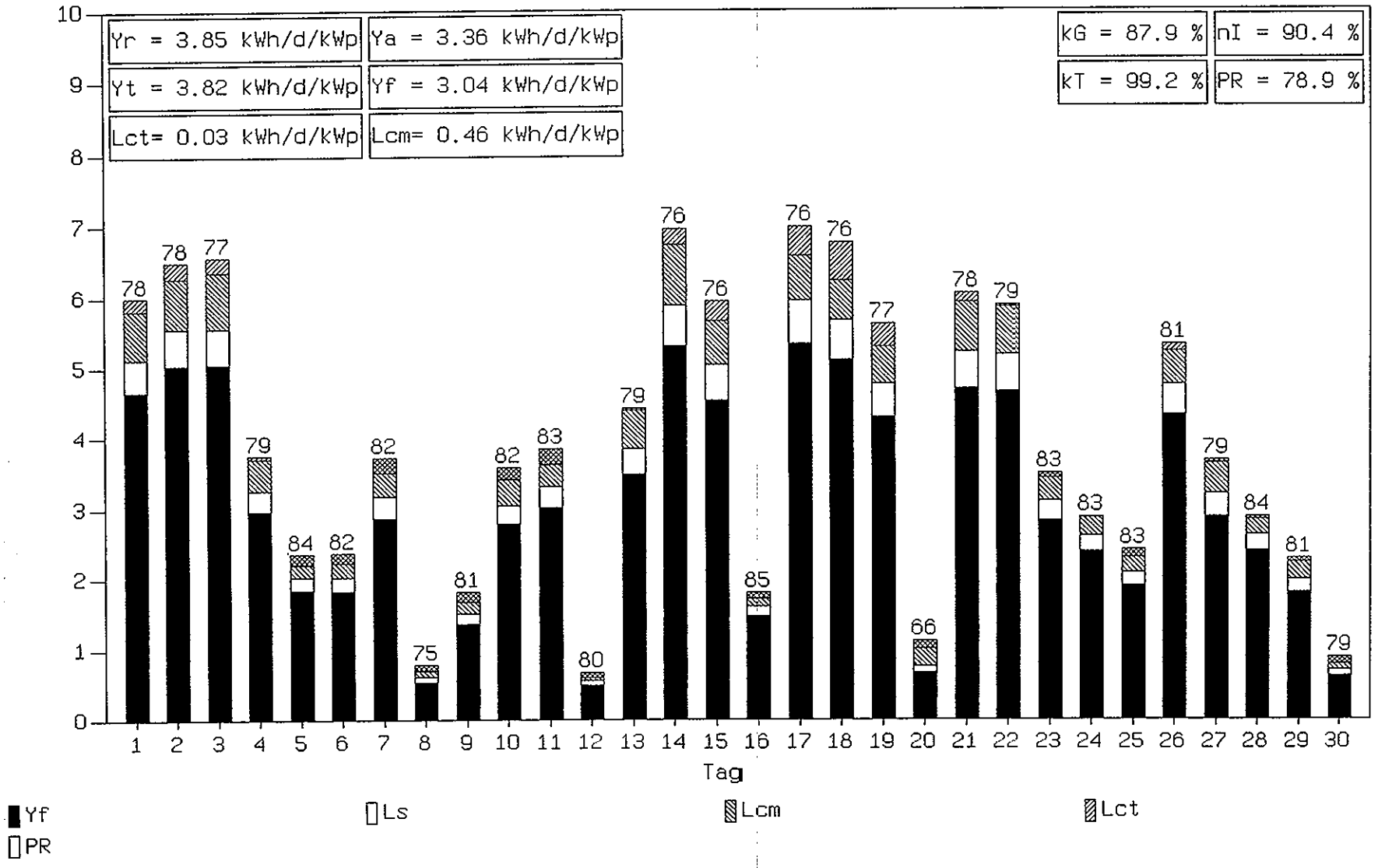
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 11.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



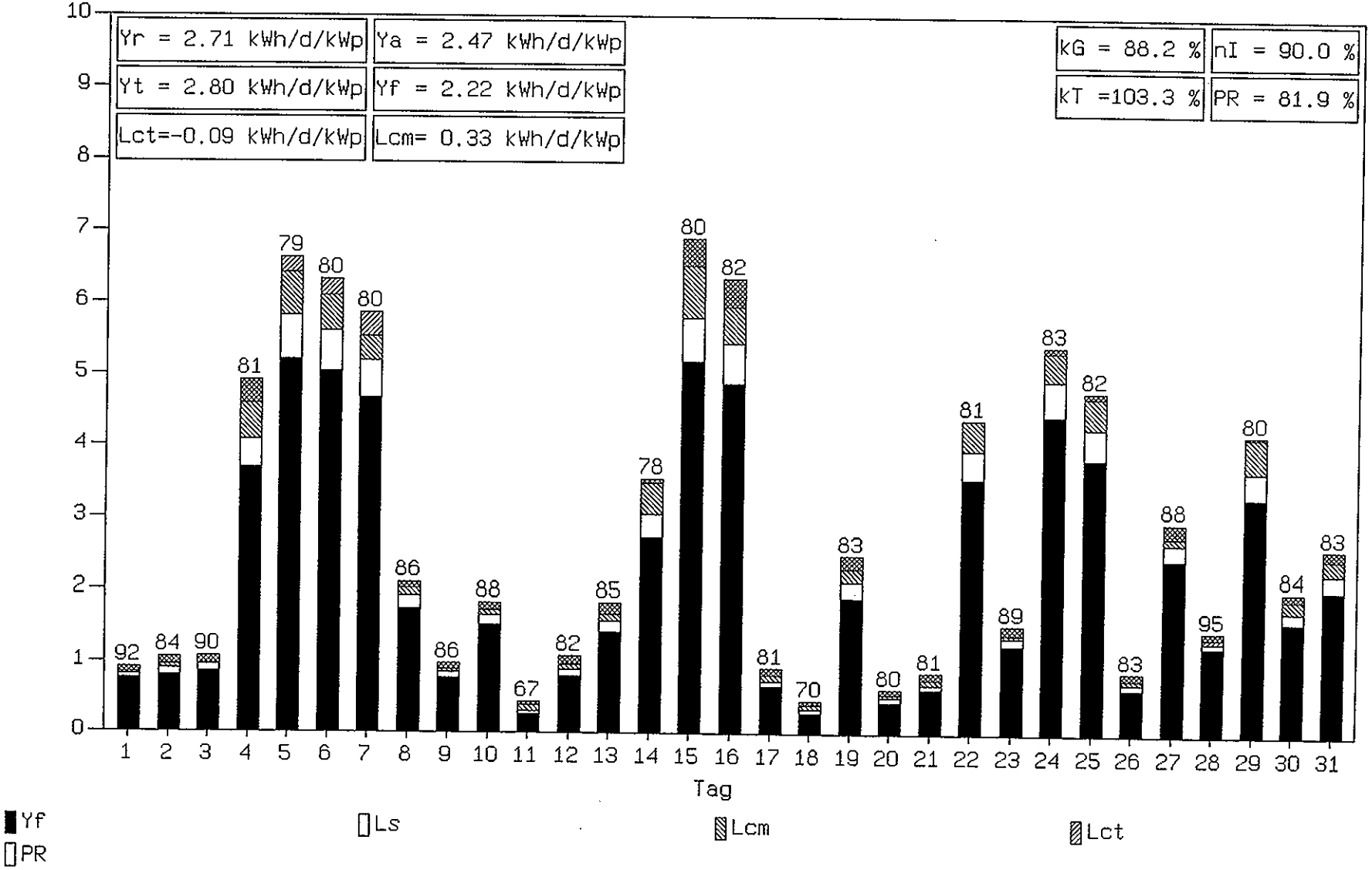
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 12.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

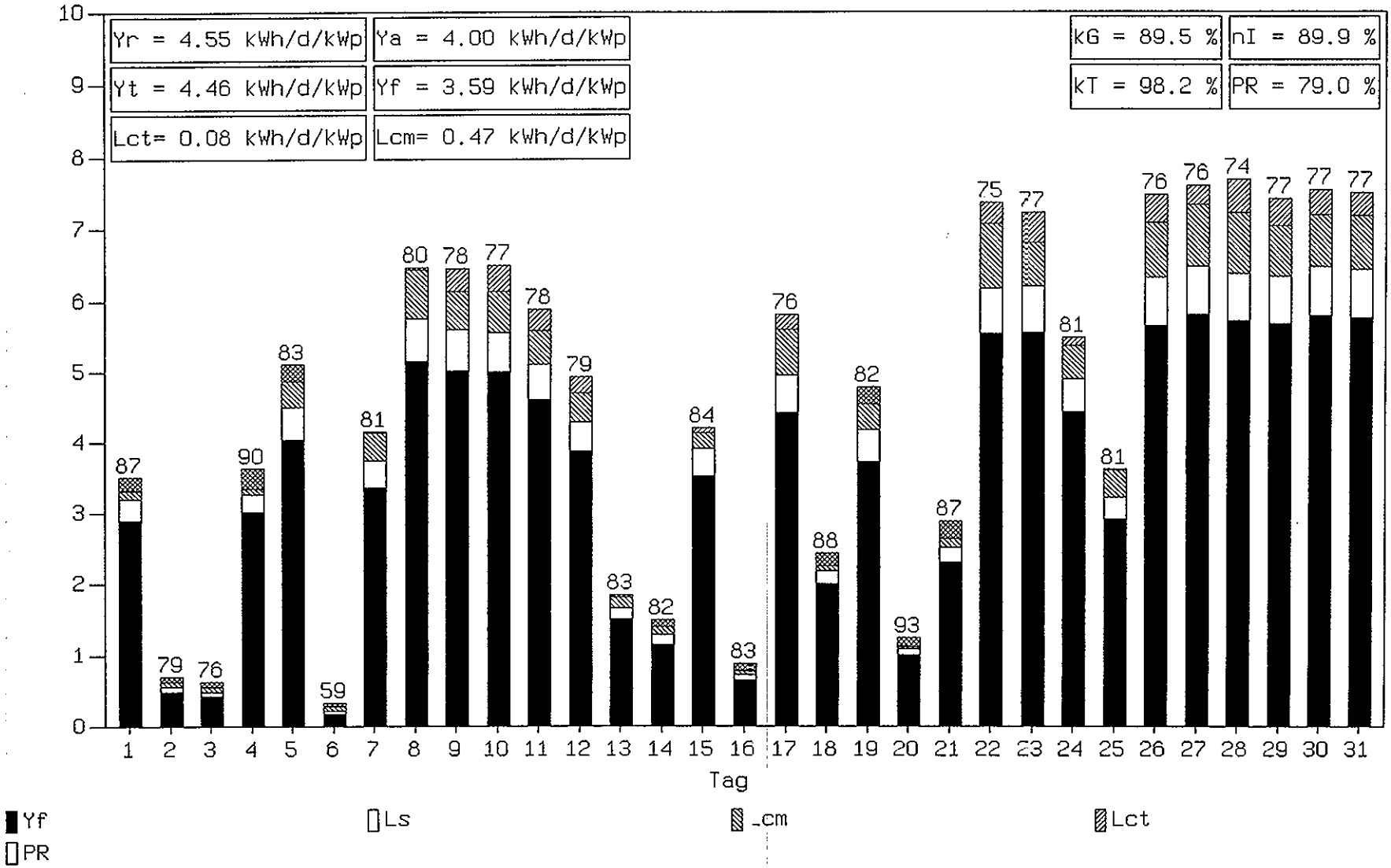
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 1.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



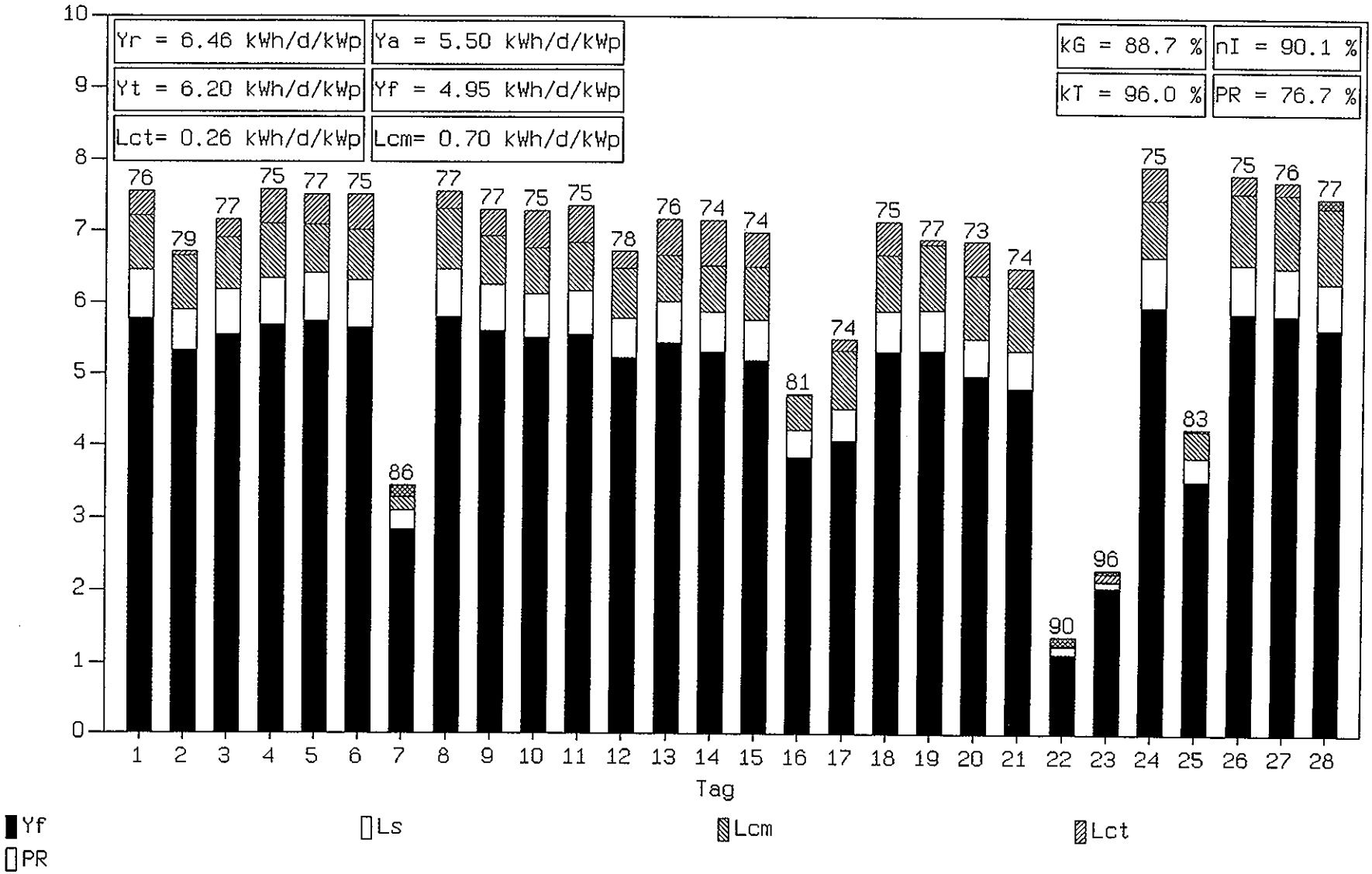
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 2.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



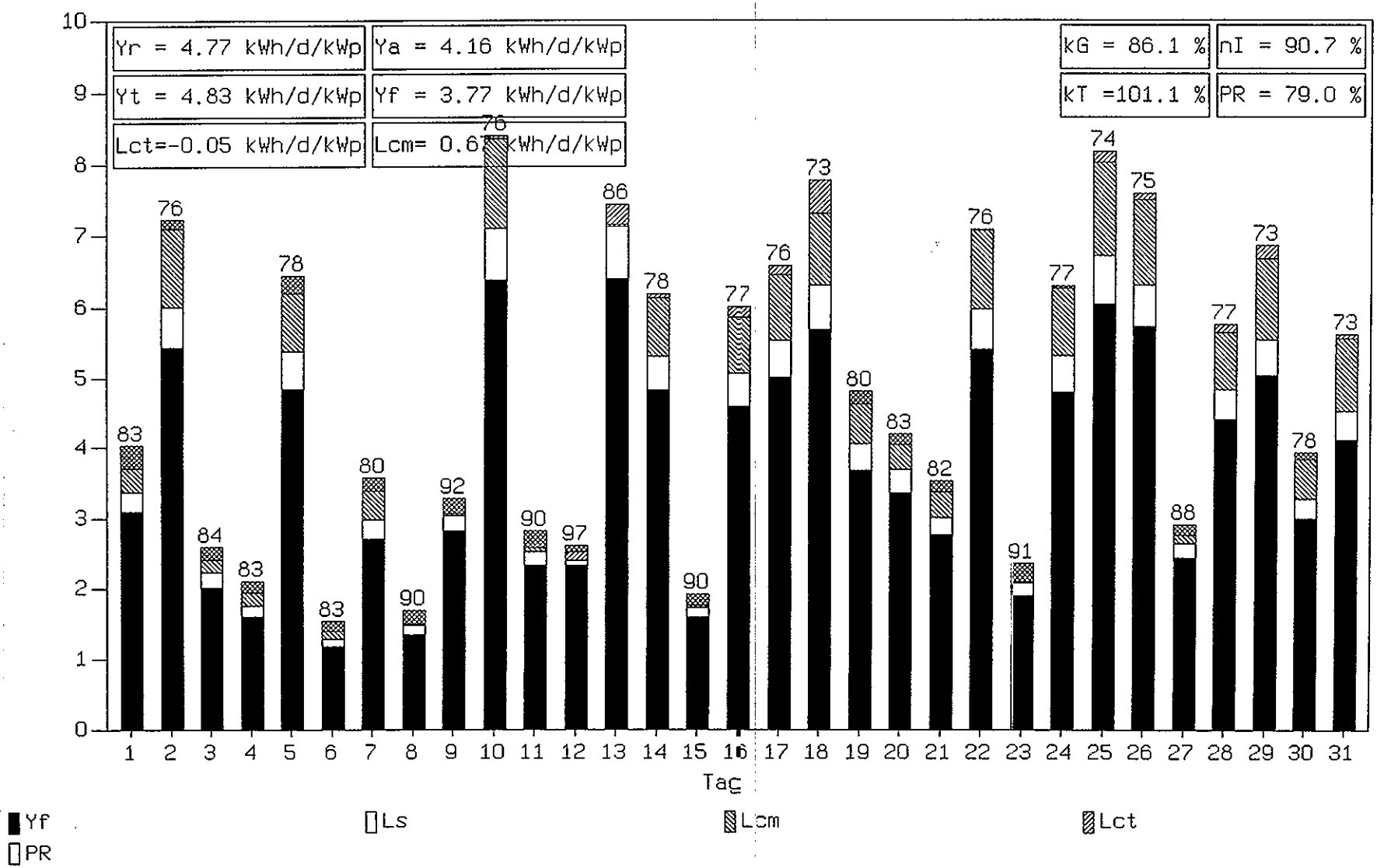
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 3.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



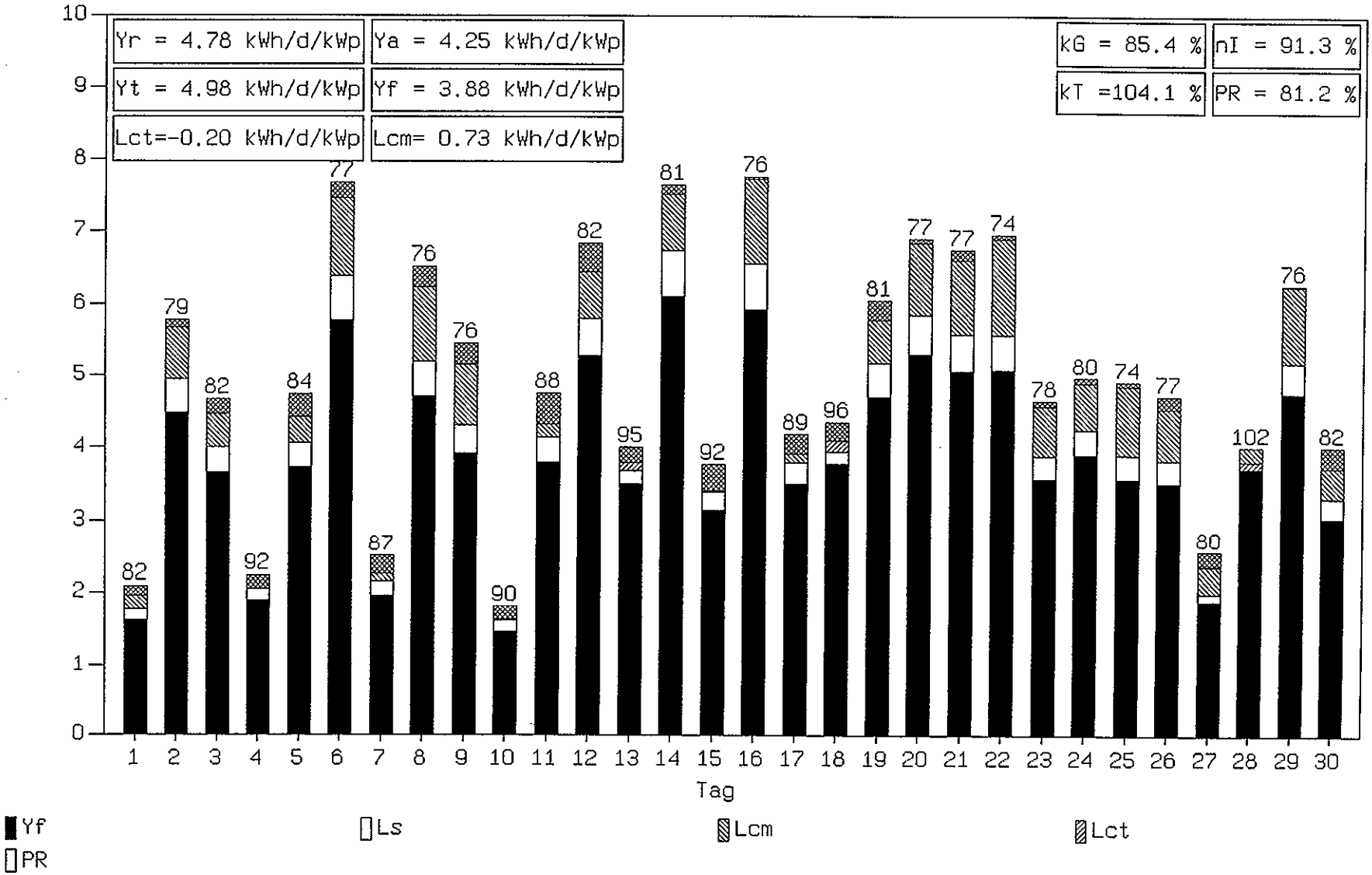
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 4.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



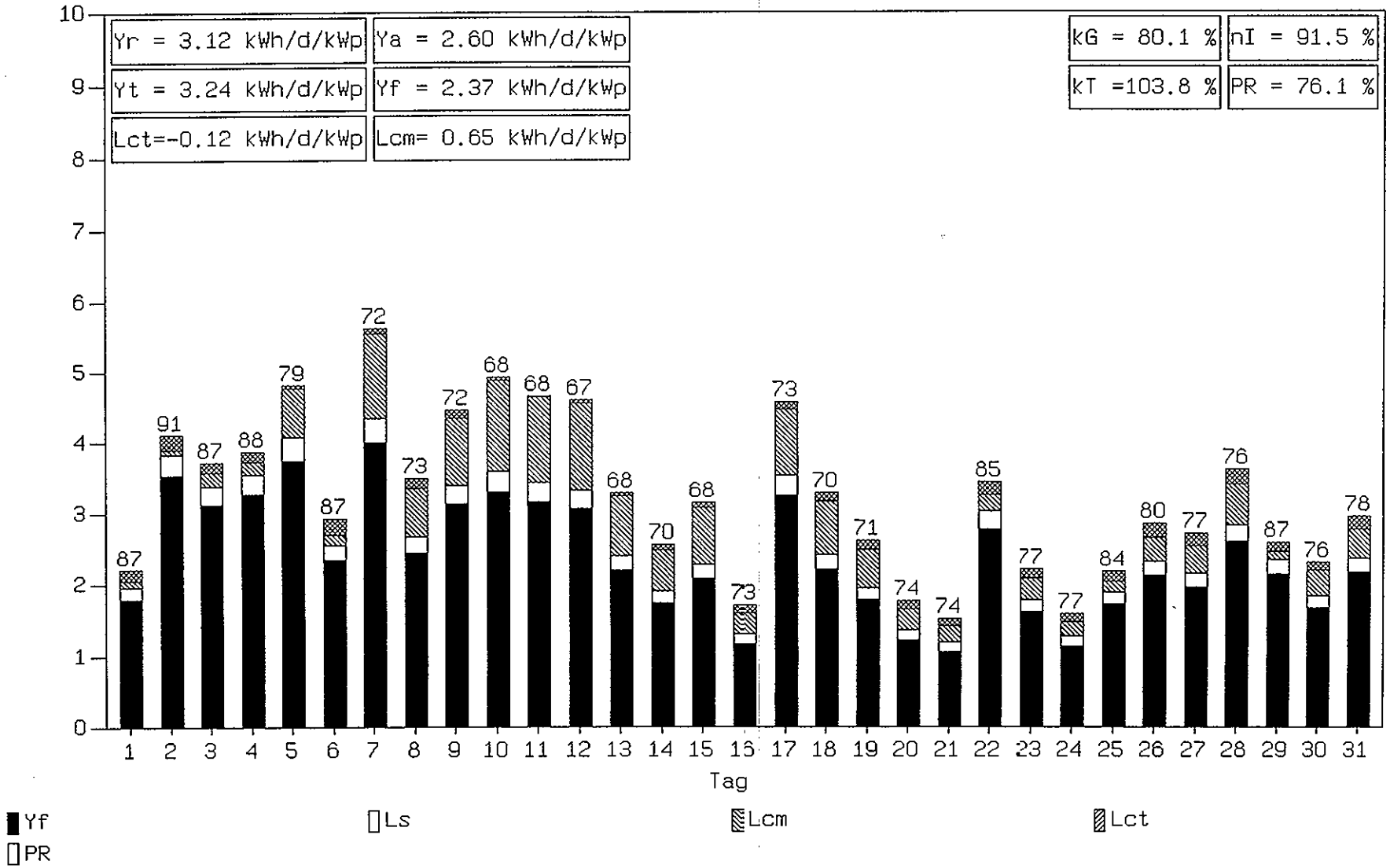
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 5.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



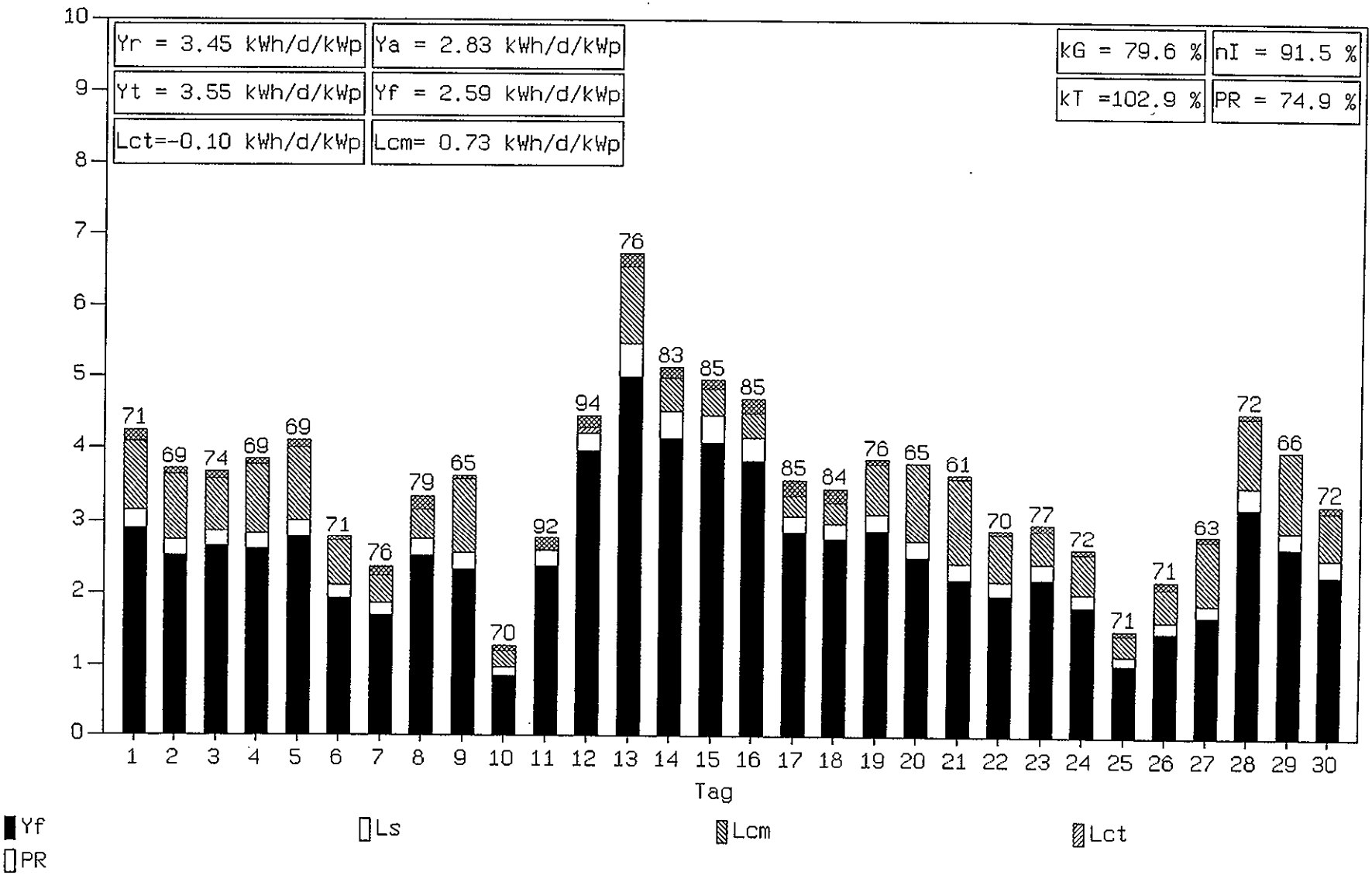
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 6.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

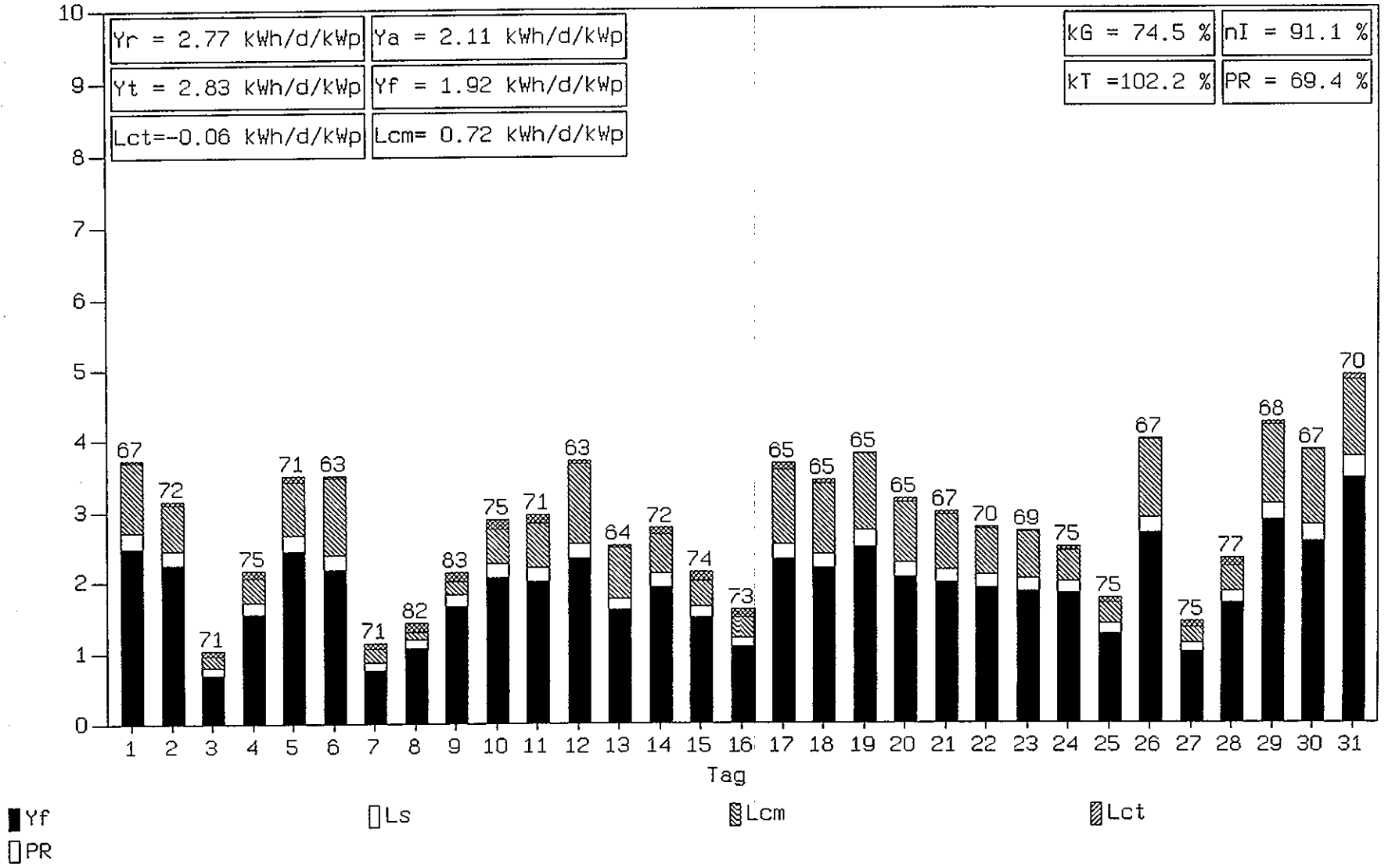
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 7.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



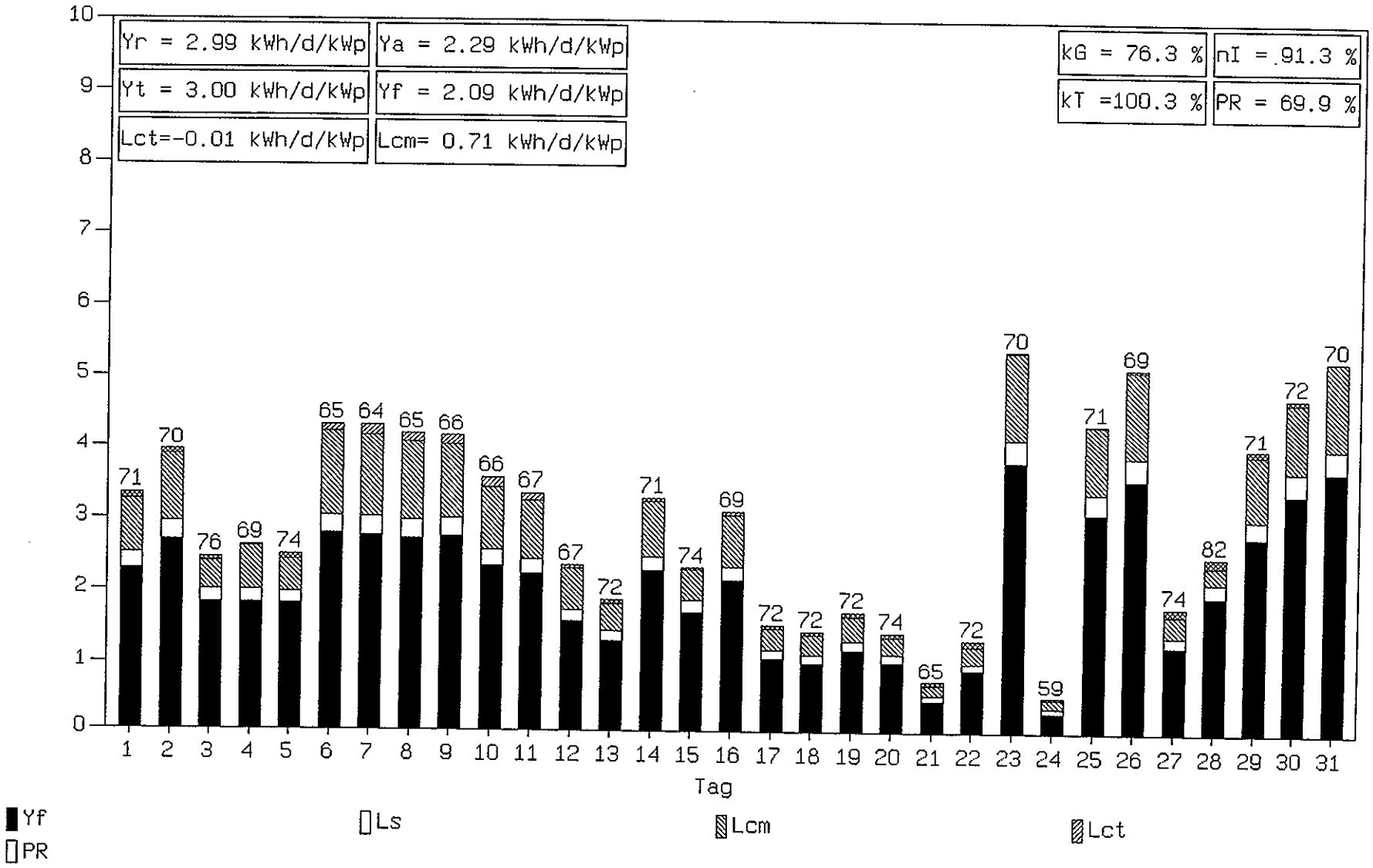
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 8.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



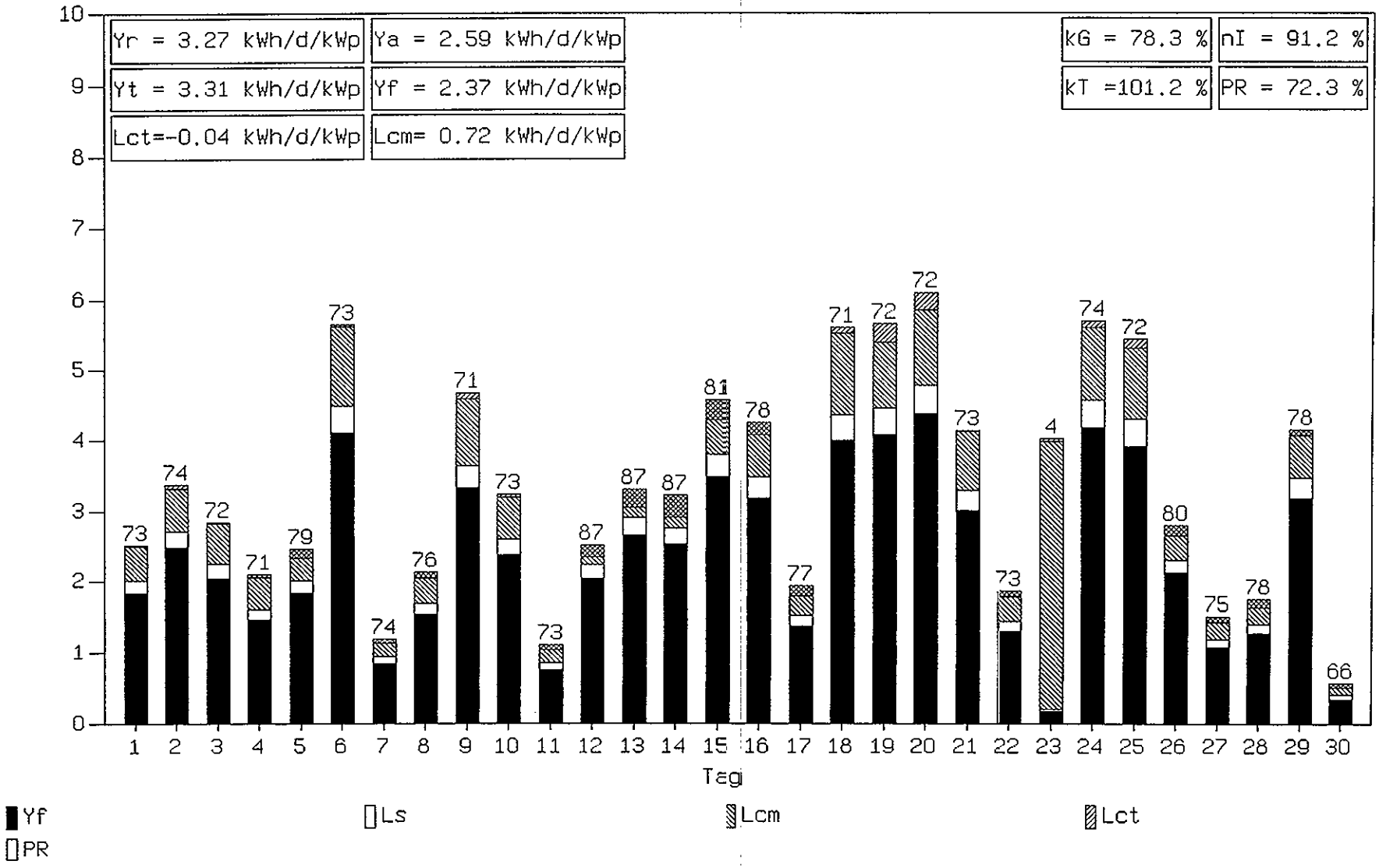
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 9.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



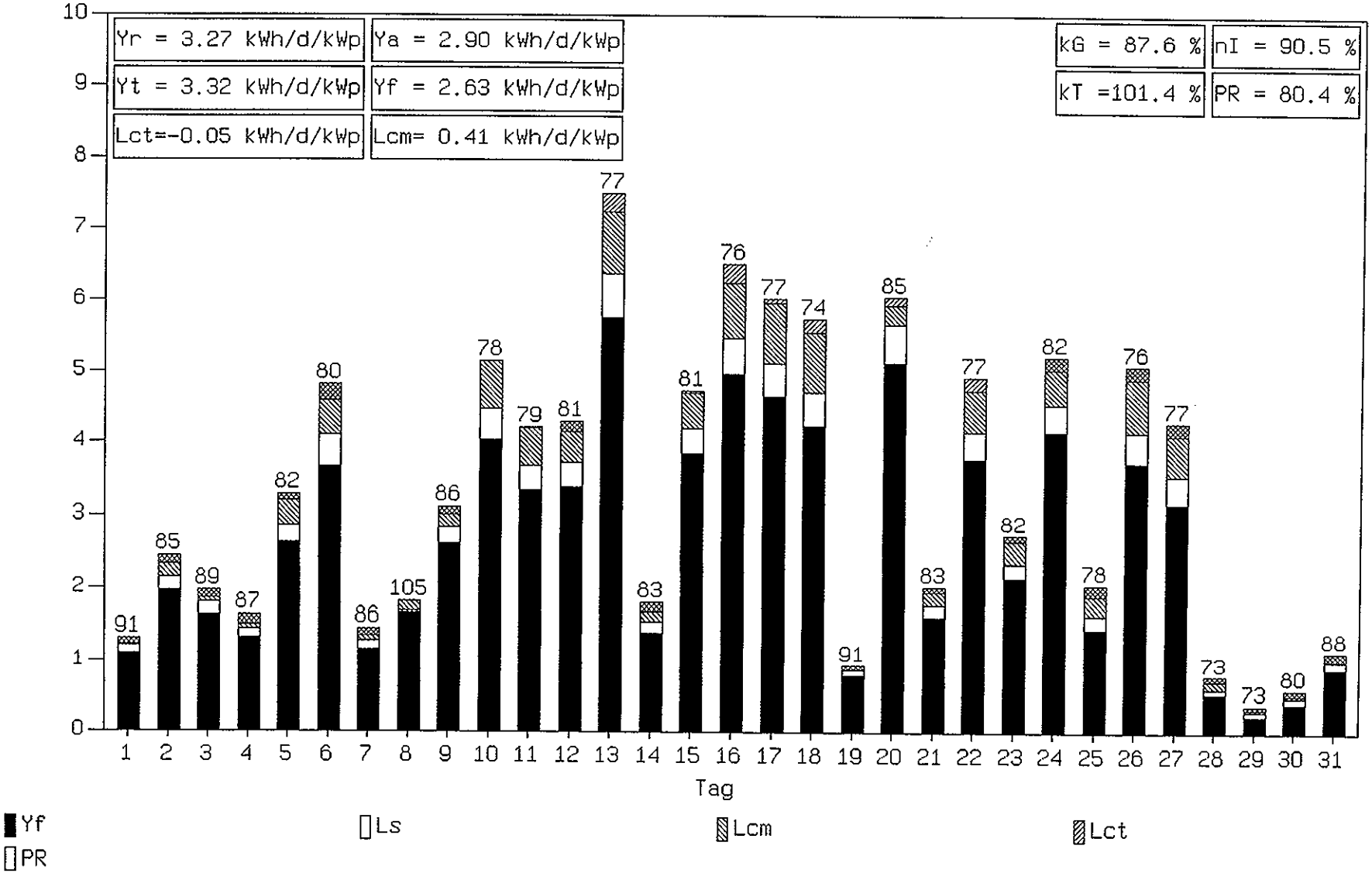
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 10.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

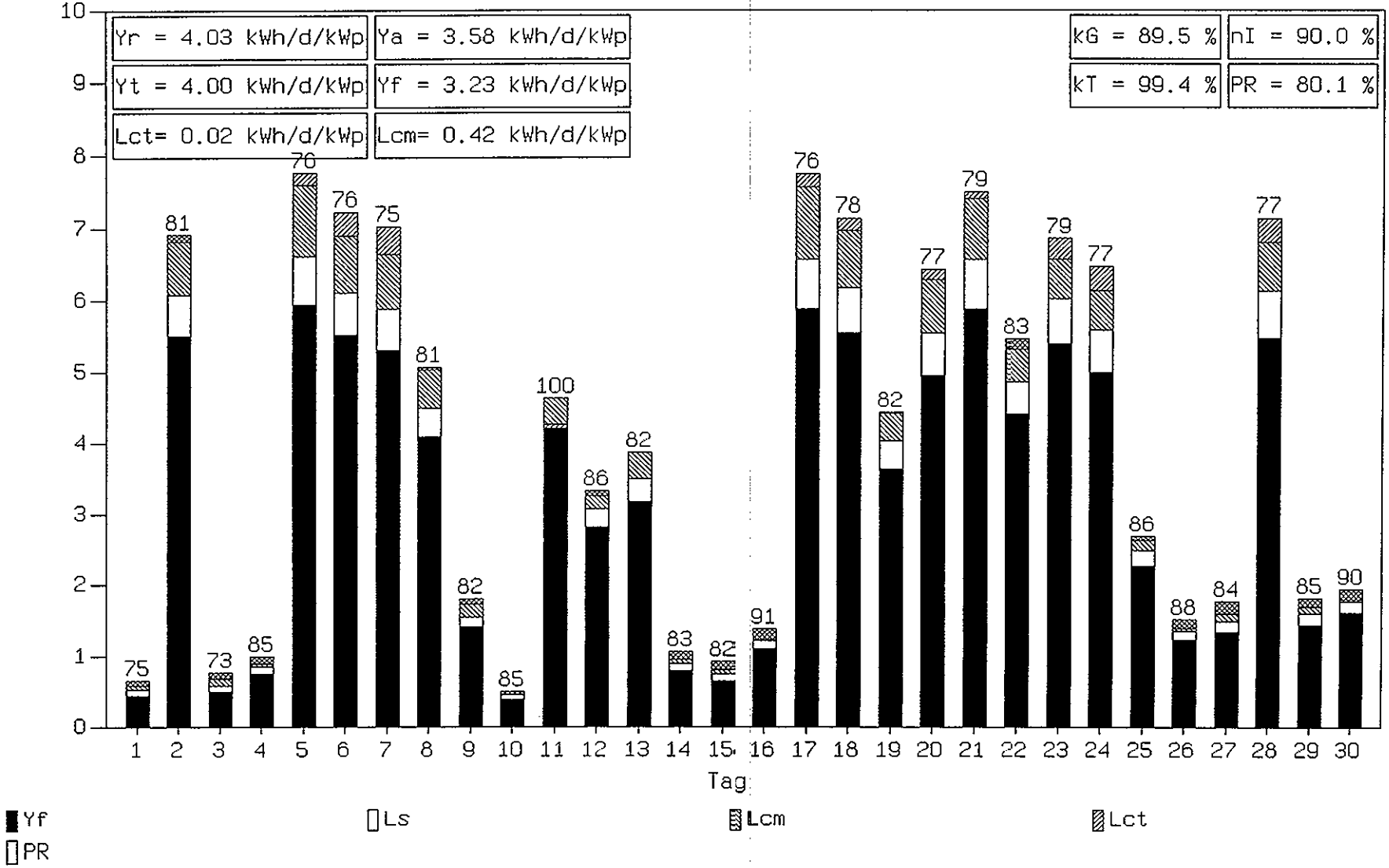
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 11.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



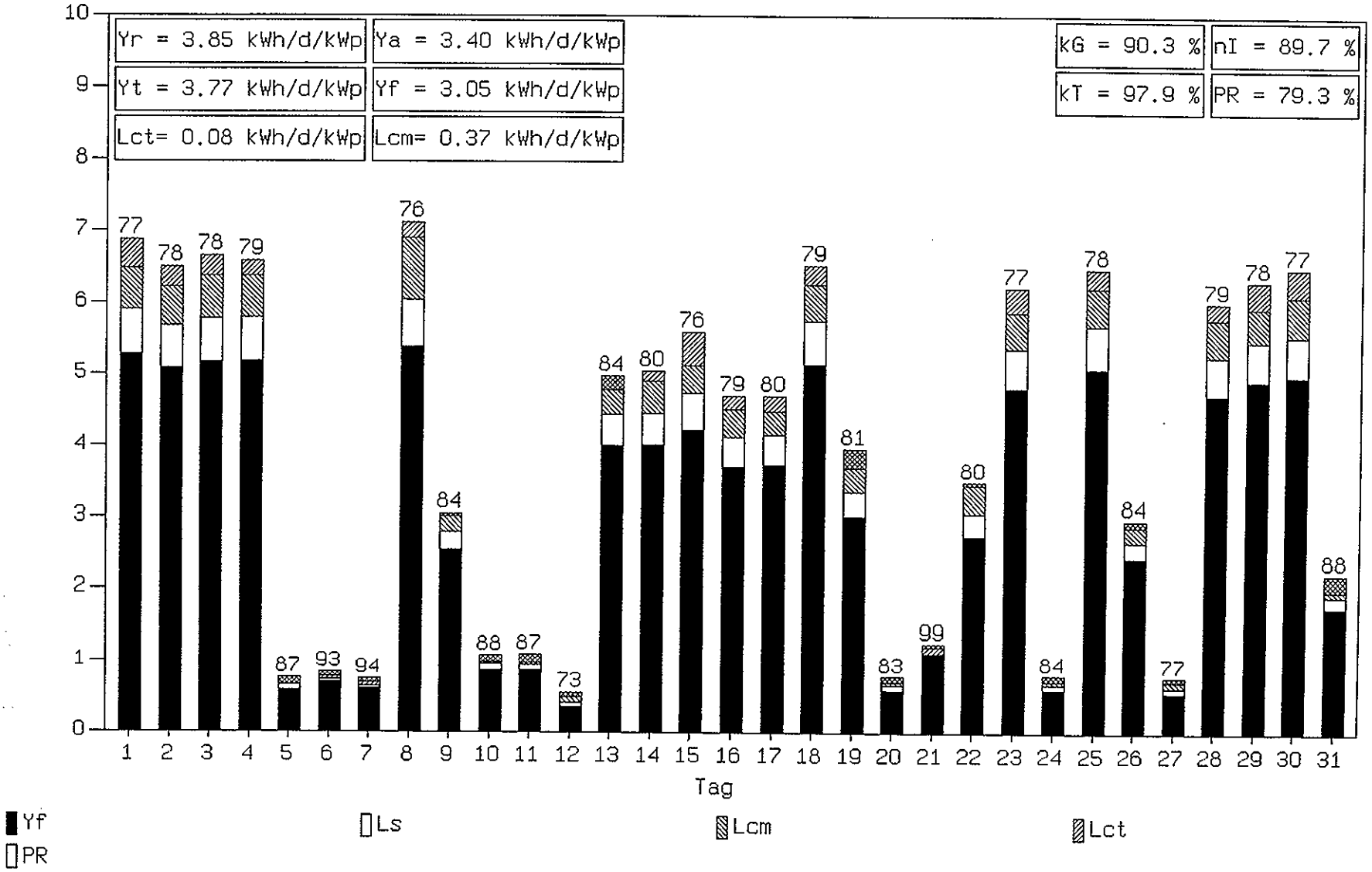
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 12.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



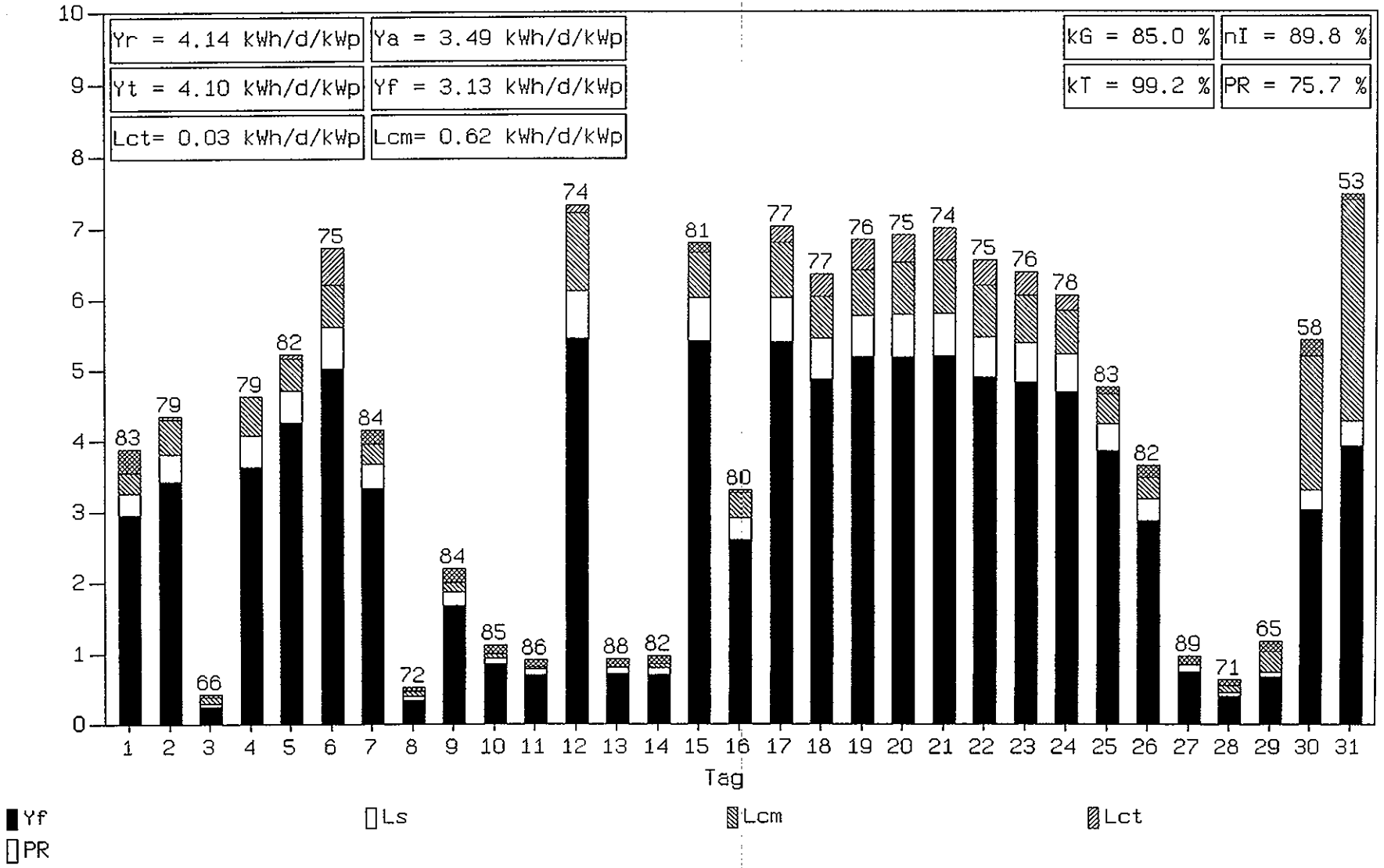
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 1.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



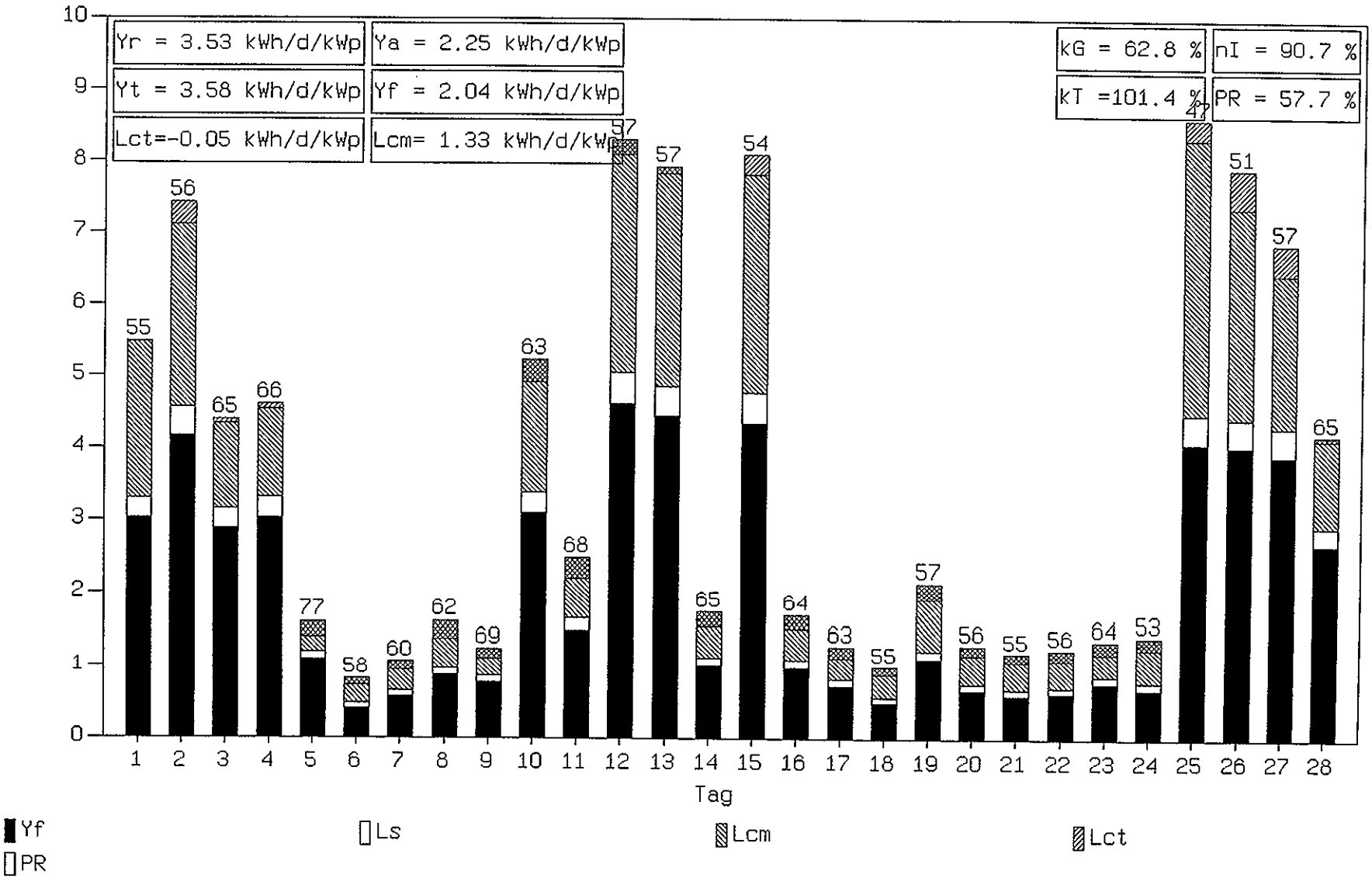
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 2.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



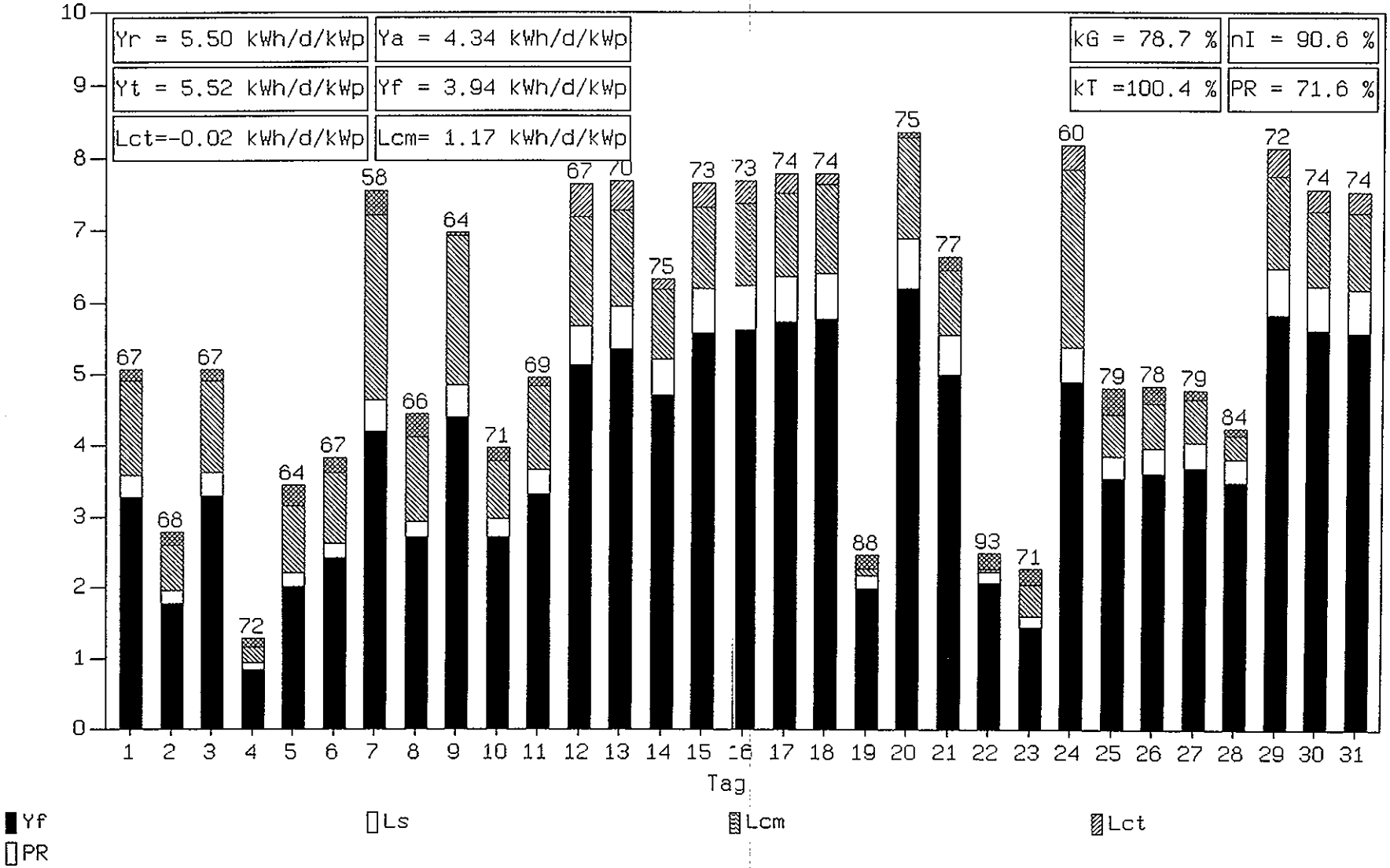
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 3.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



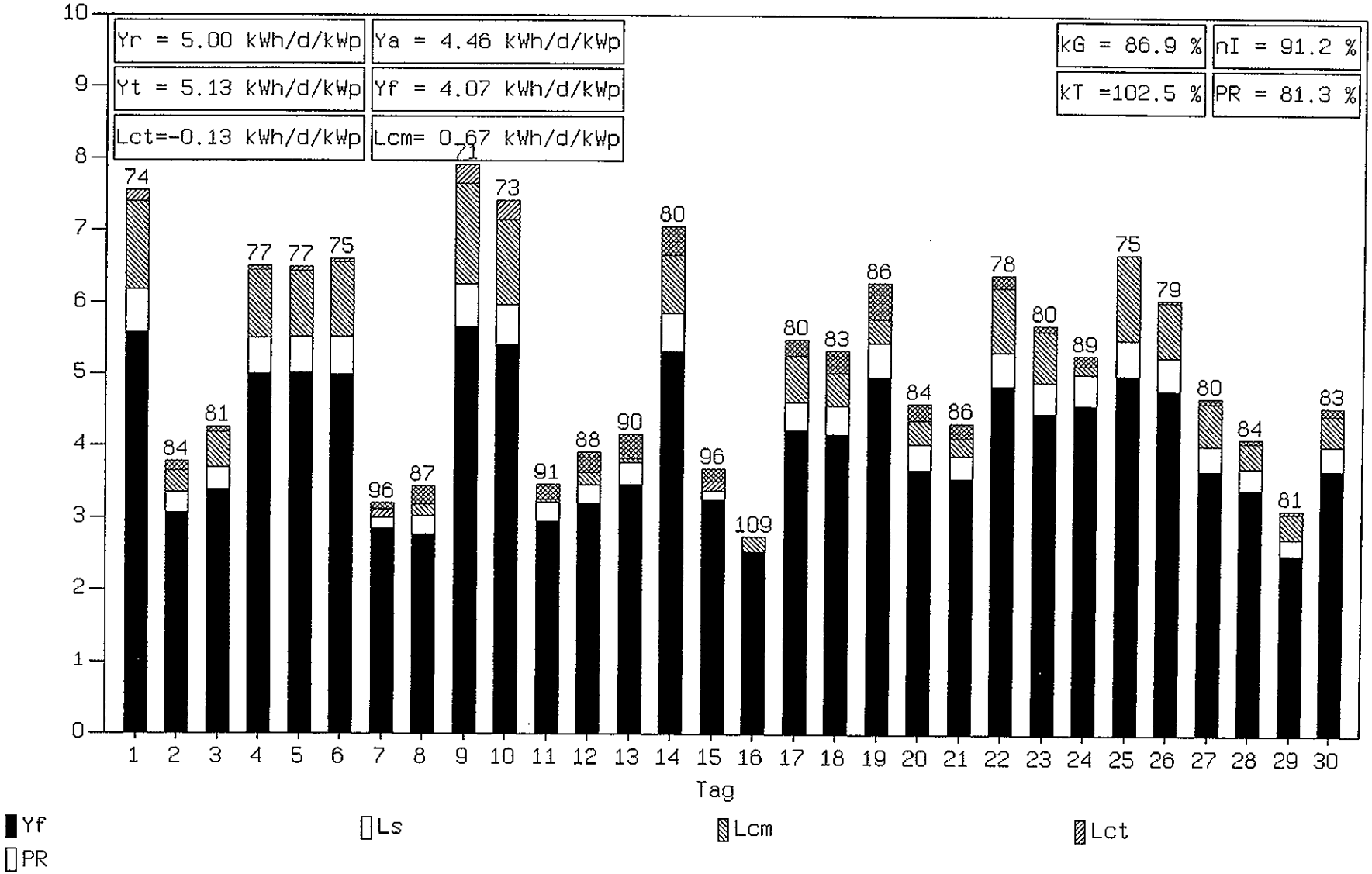
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 4.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

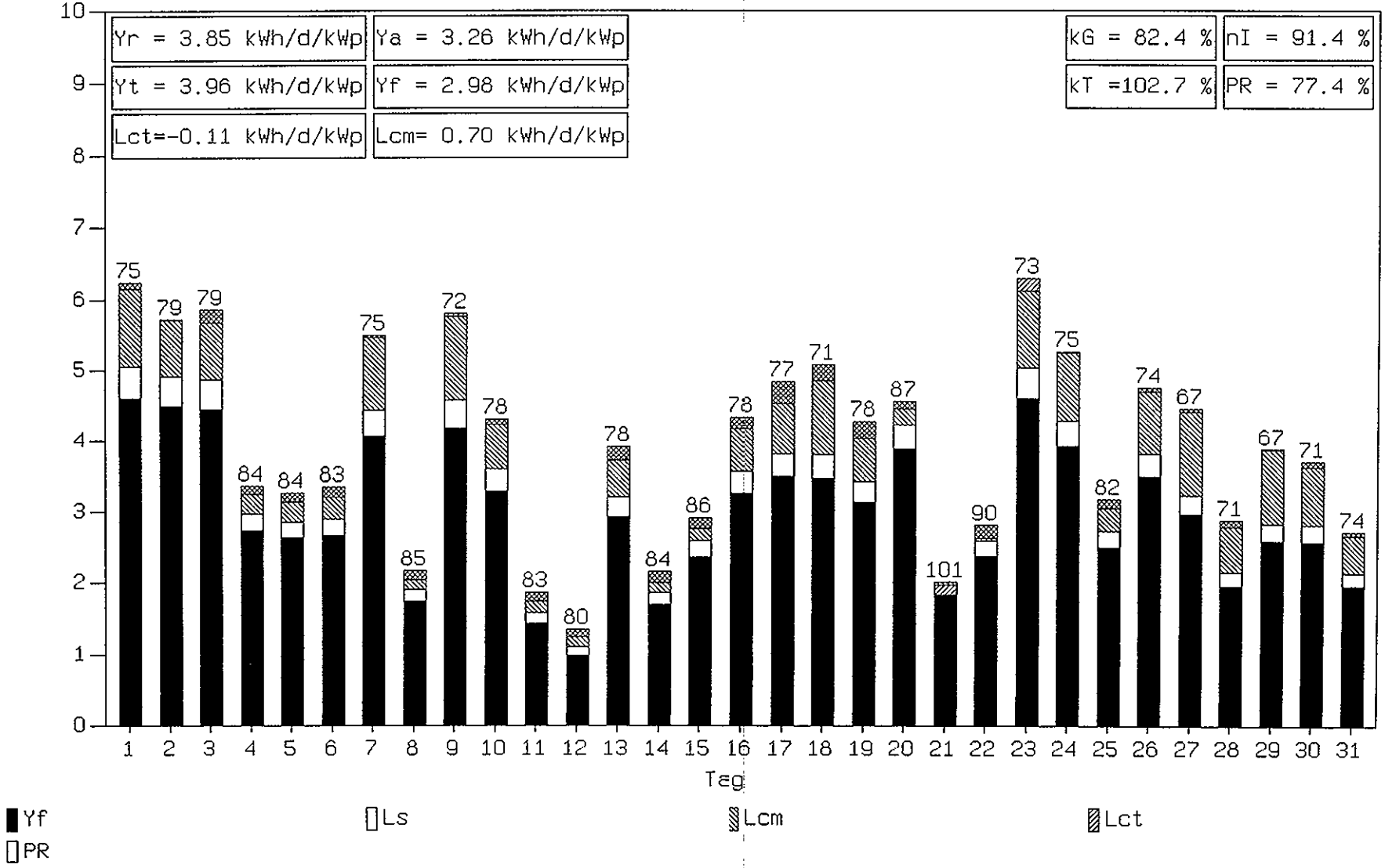
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg

Monat: 5.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



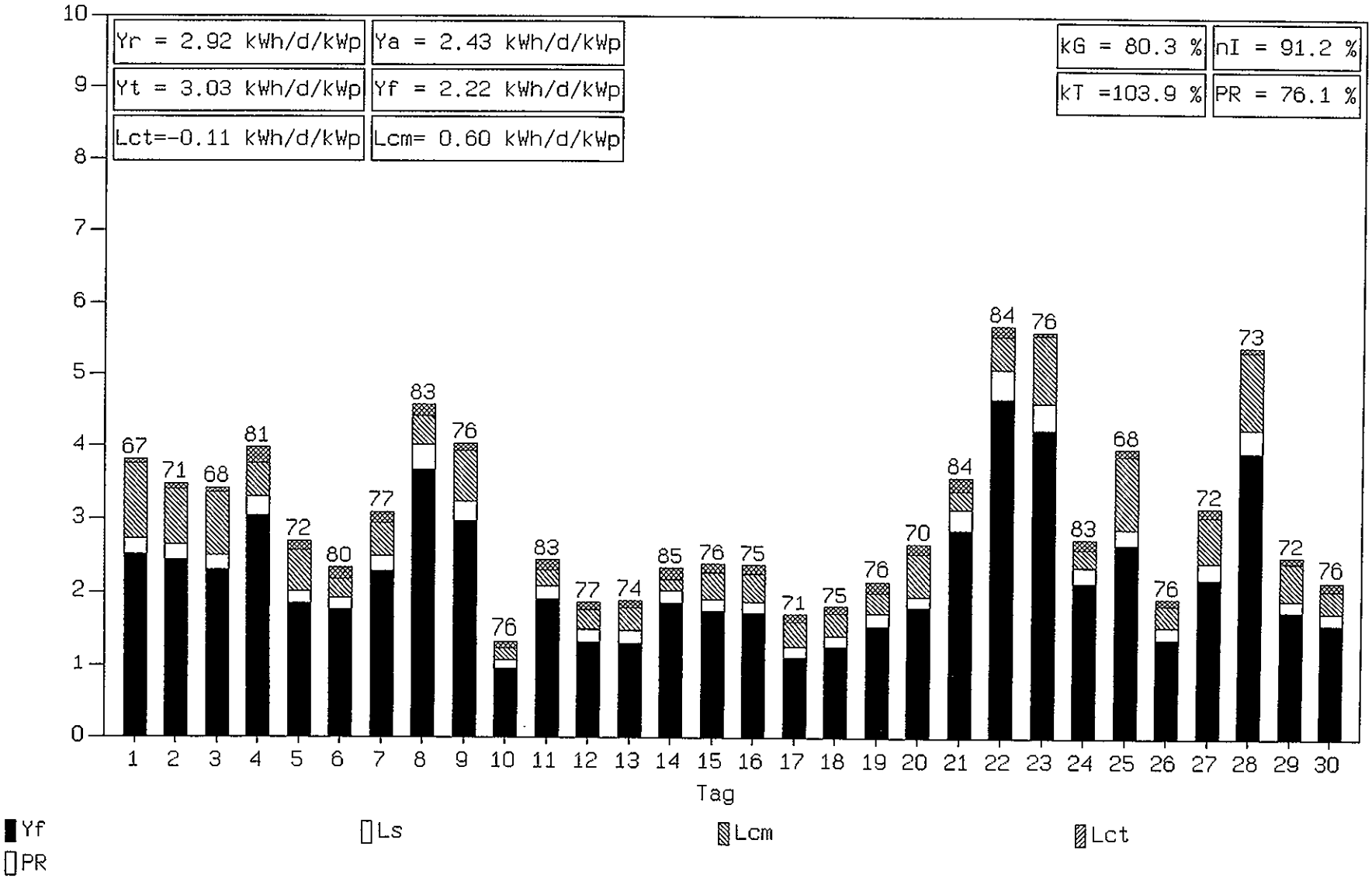
Ingenieurschule Burgdorf

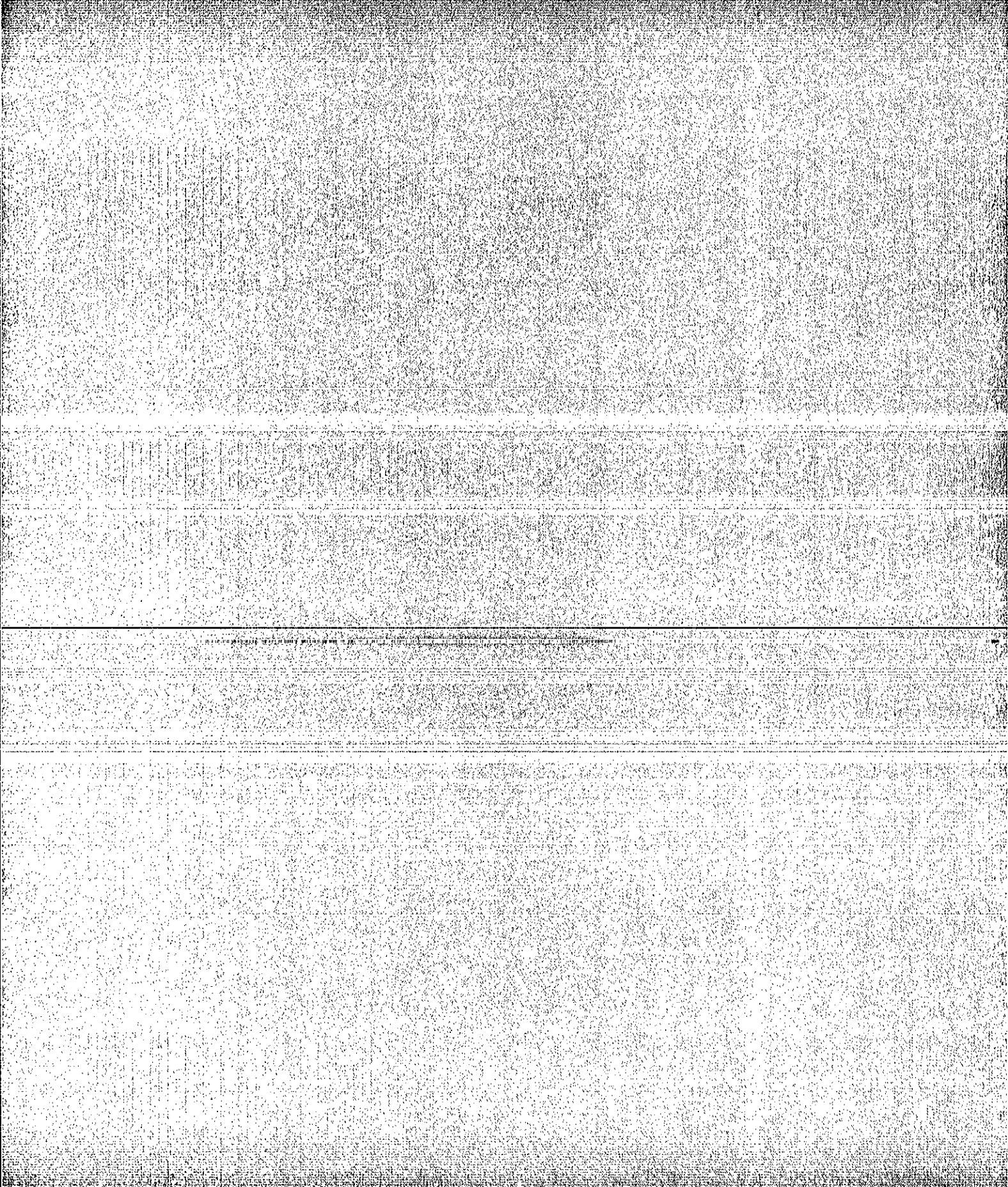
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Birg Monat: 6.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=4134Wp)



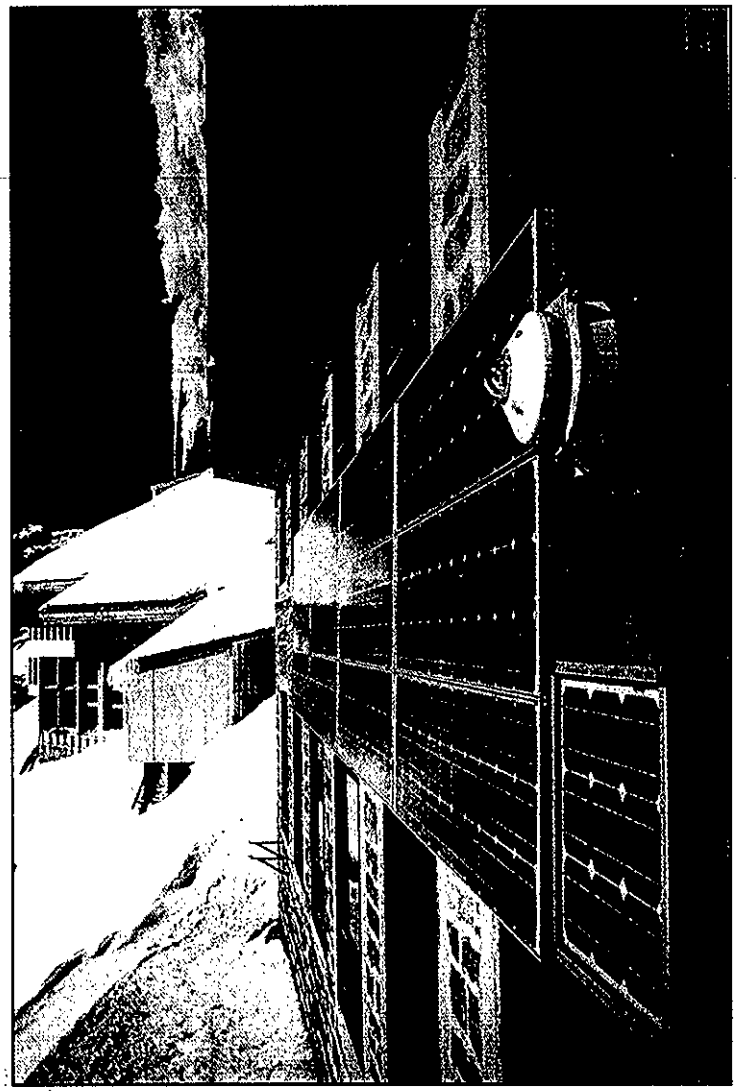


3 Jungfraujoch

Technische Angaben zur Anlage			
Ort:	Hochalpine Forschungsstation, 3801 Jungfraujoch; 3454 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	27.10.1993		
Solargenerator:			
Module:	Siemens M75 (24 Stück)		
Feldleistung:	1152 Wp (nom.) / 1130Wp (eff.)	**Neigung:**	90° (Fassade)
Bruttofläche:	9,56 m^2	**Ausrichtung:**	12° / 27° West
Wechselrichter:	ASP TopClass 2500/4 Grid III	seit 16.07.96	
	ASP TopClass 1800	vom 29.10.93 bis 16.07.96	

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in beide Modulebenen (2 Pyranometer und 2 Referenzzellen)
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichströme (Ströme der beiden Arrays werden separat gemessen)
- Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung
- Netzspannung



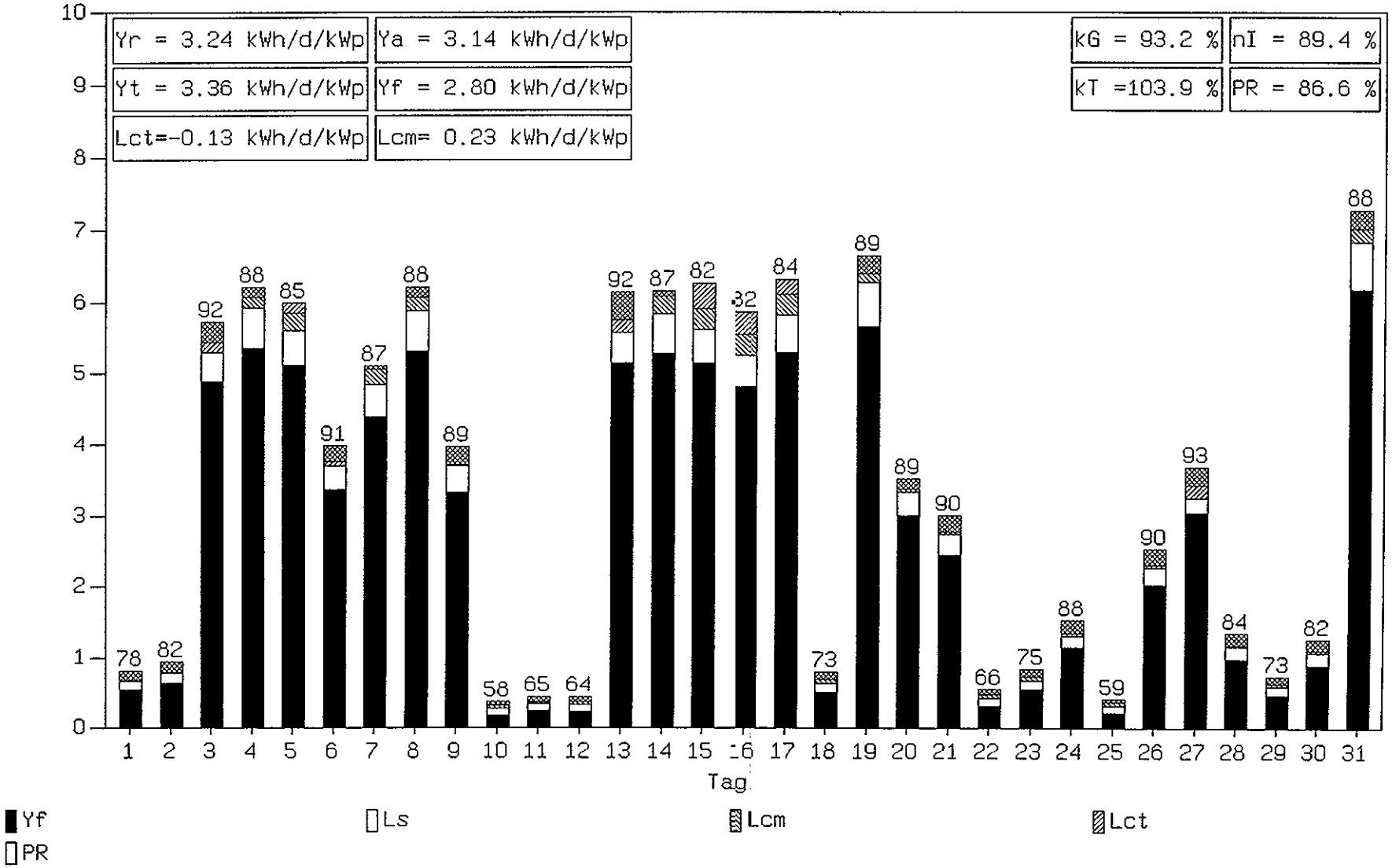
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 1.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



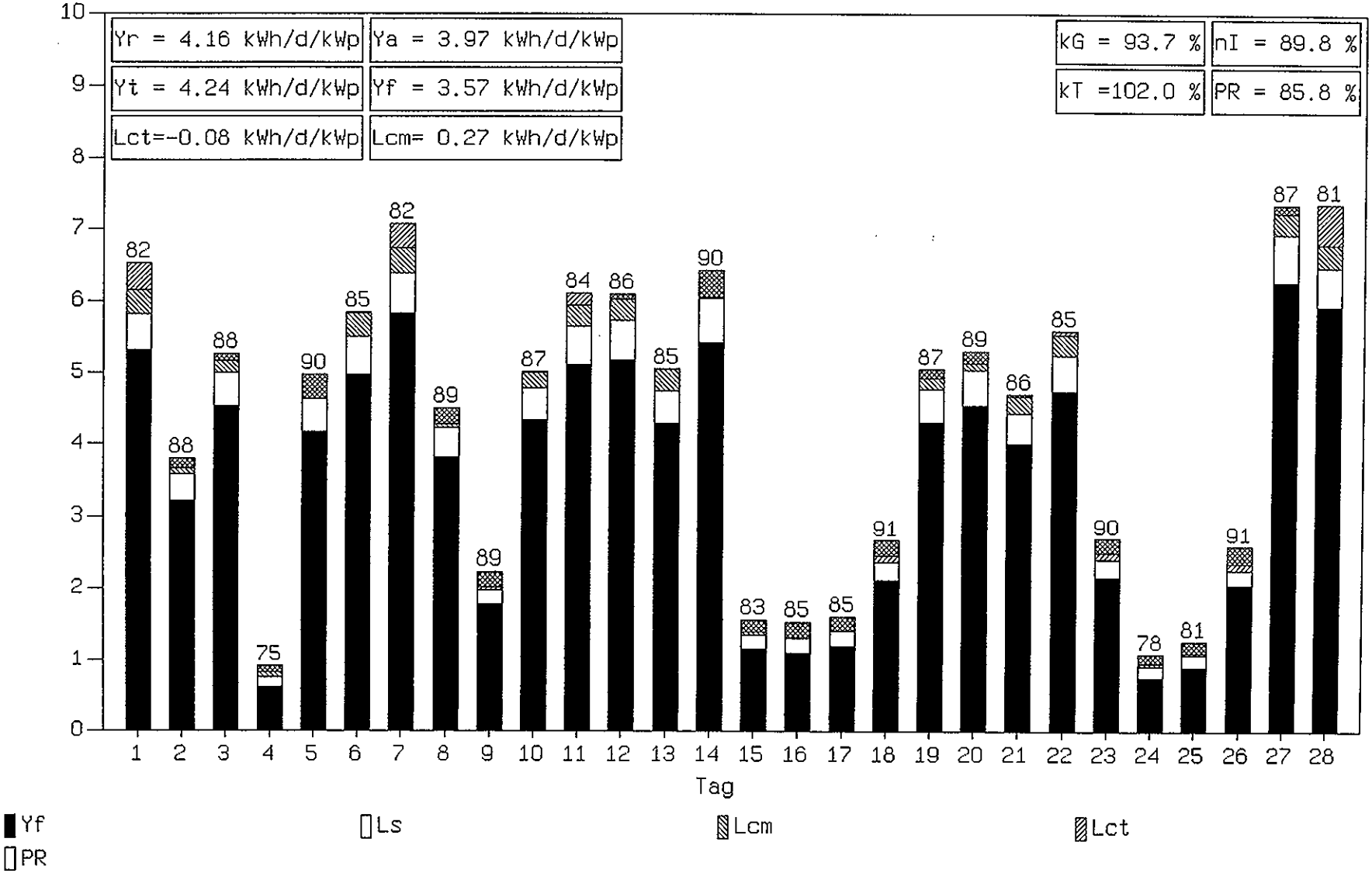
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 2.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



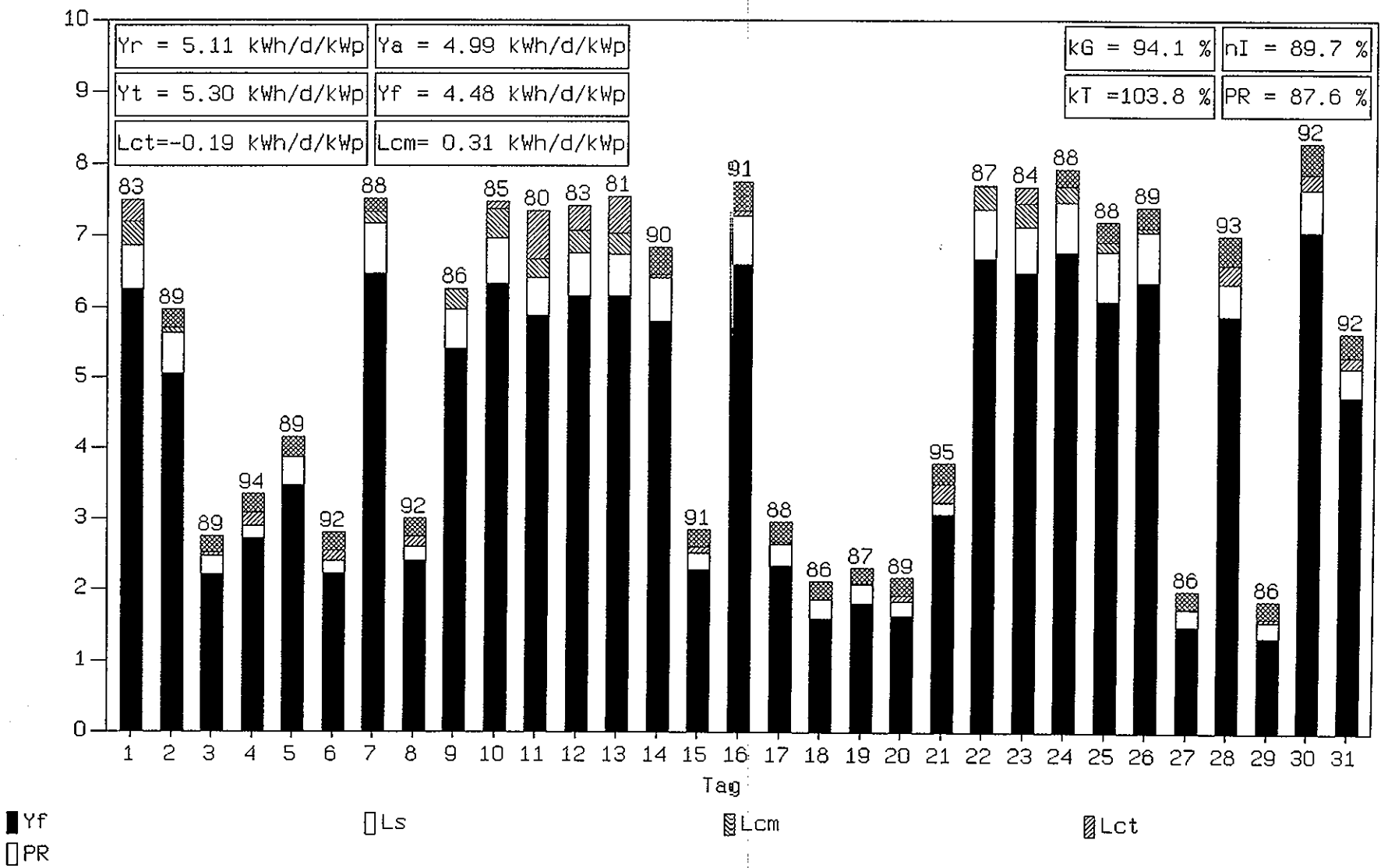
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 3.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



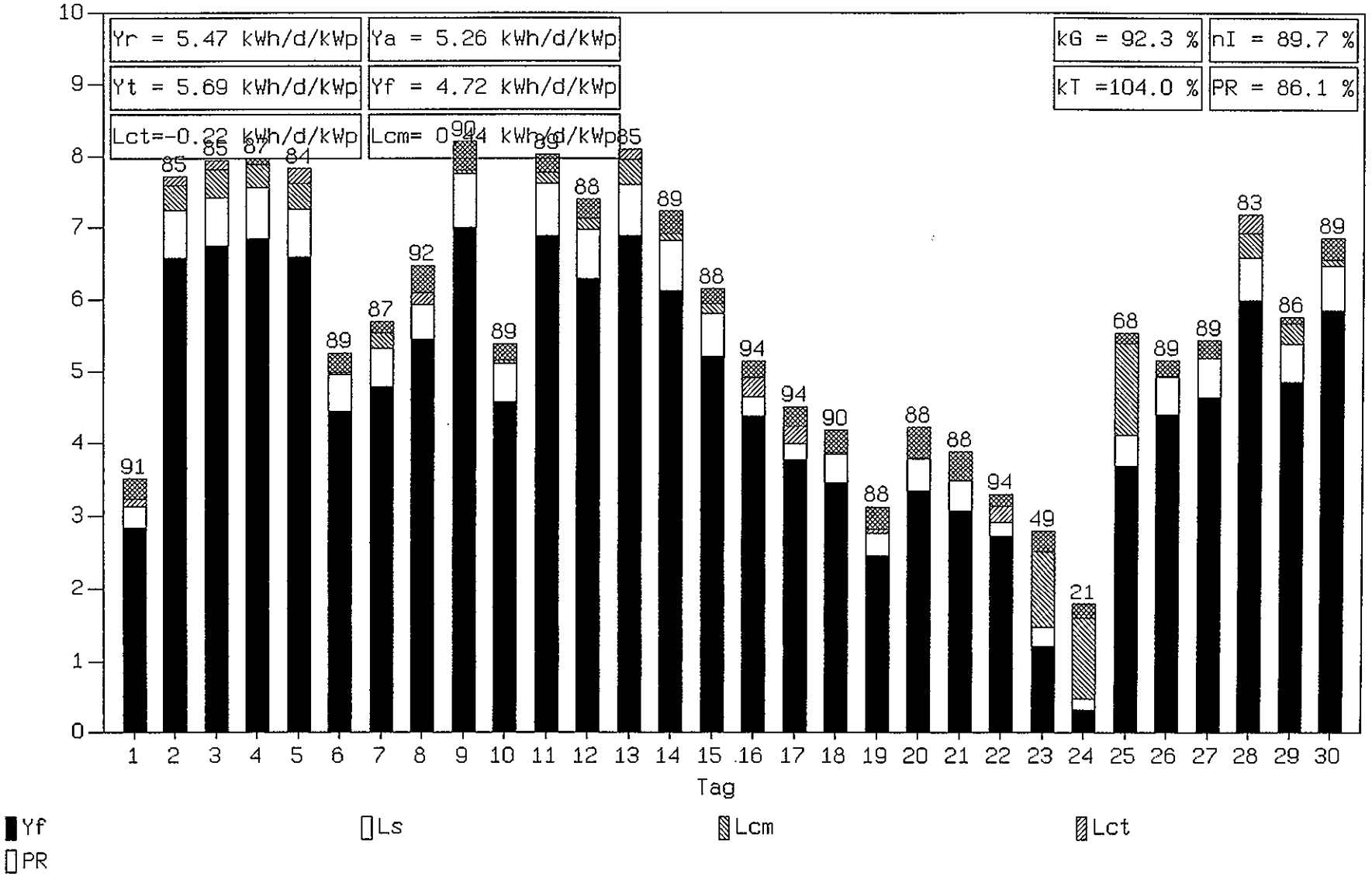
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 4.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



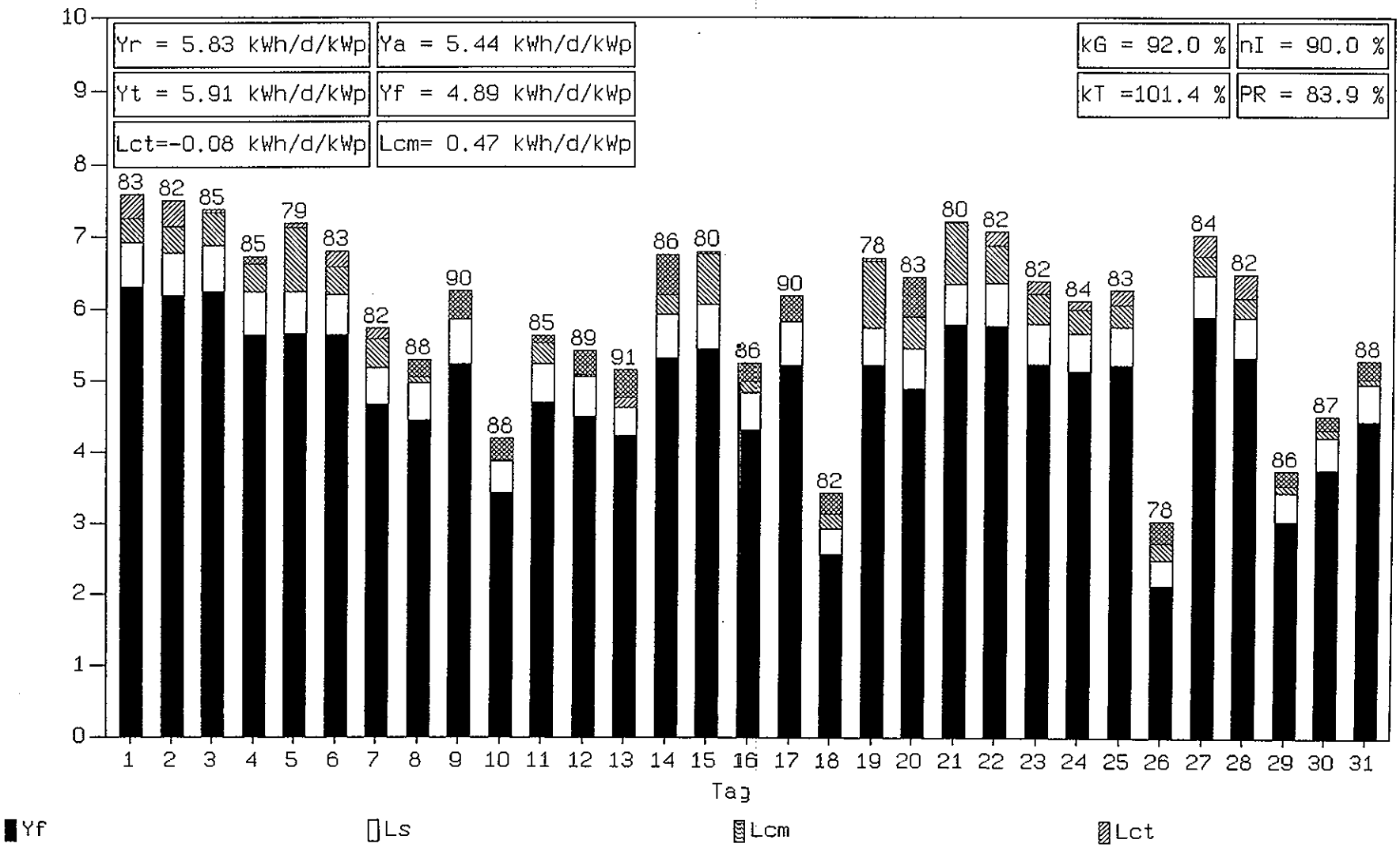
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 5.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



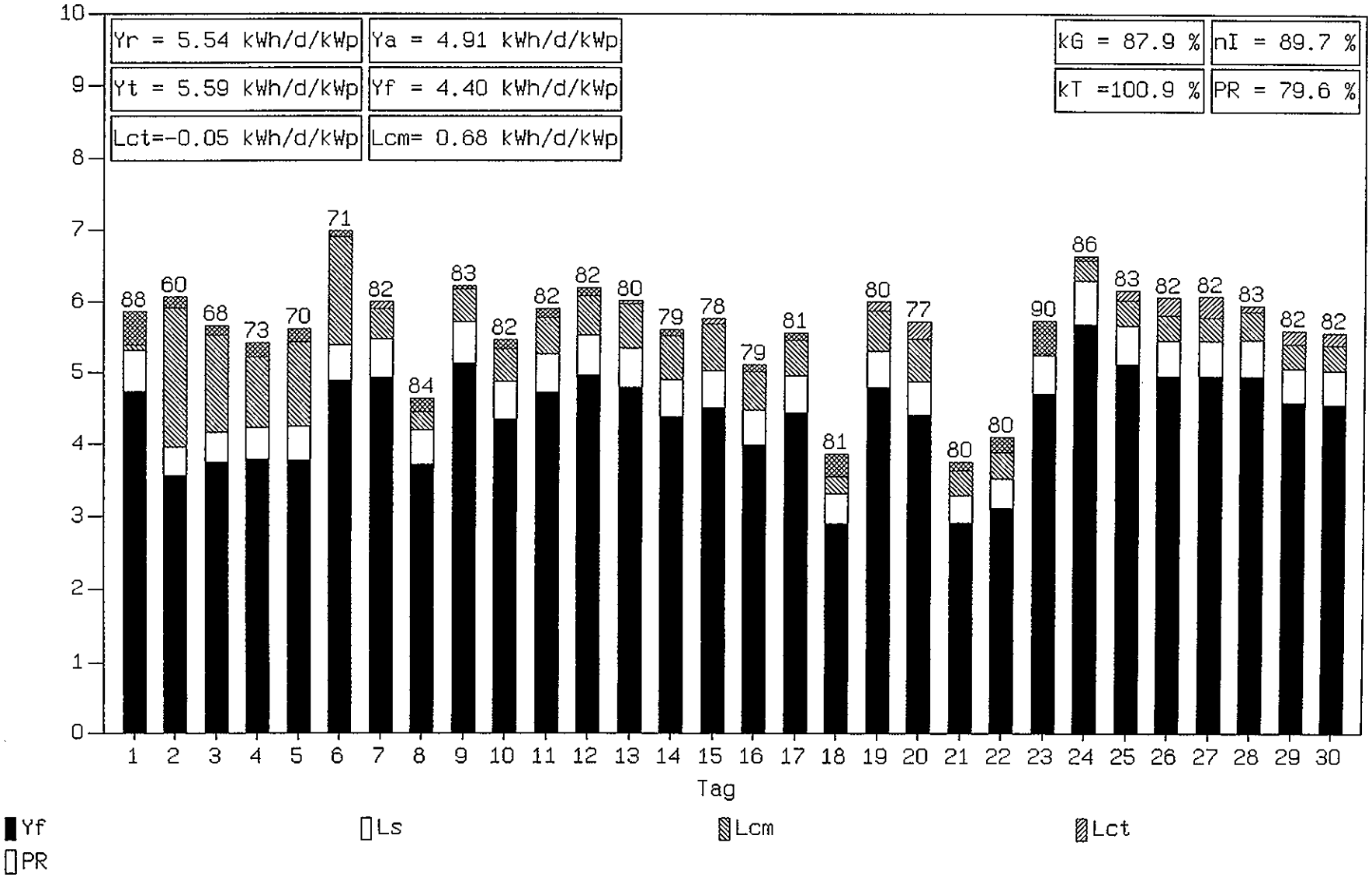
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 6.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



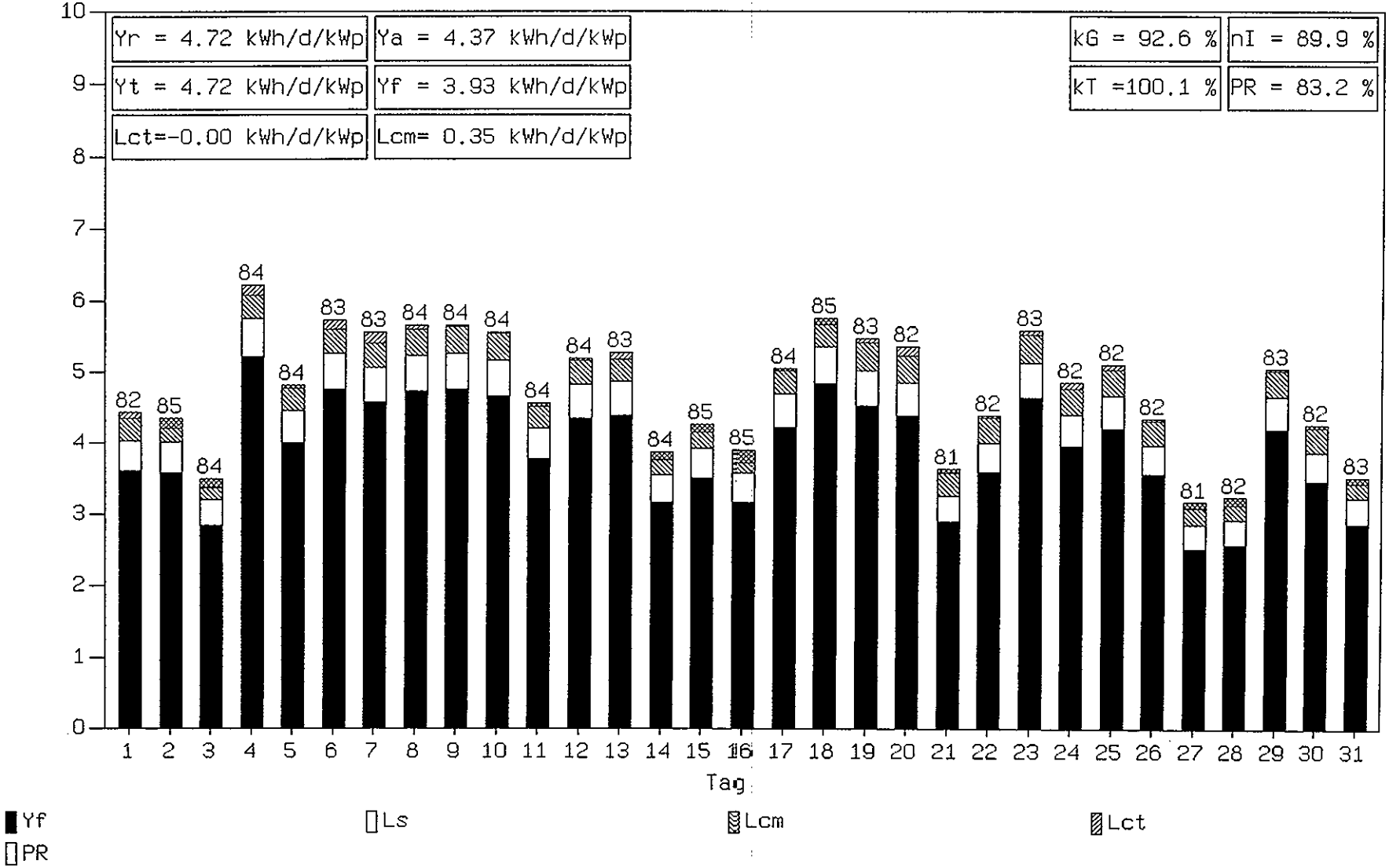
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 7.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



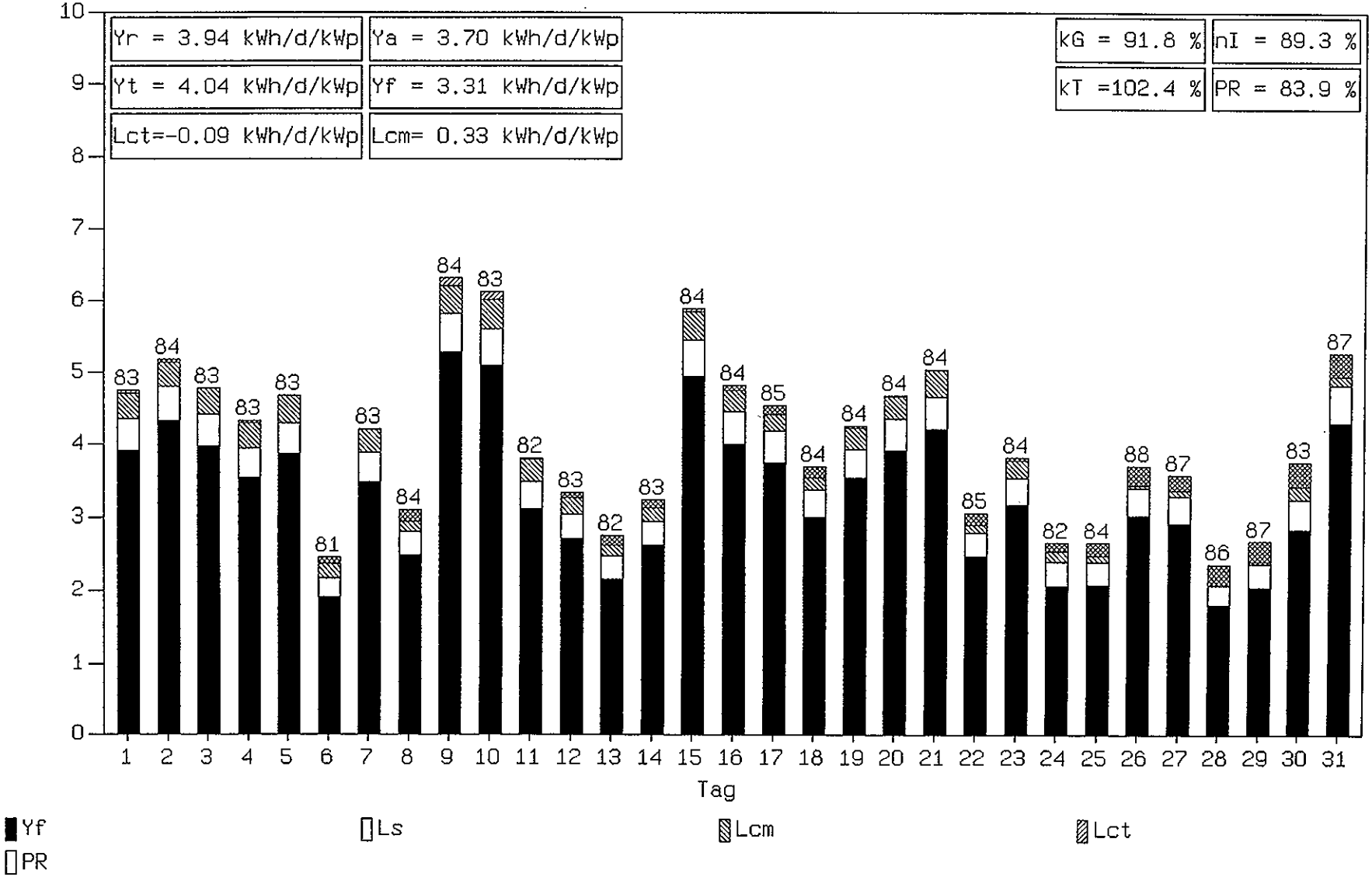
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 8.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



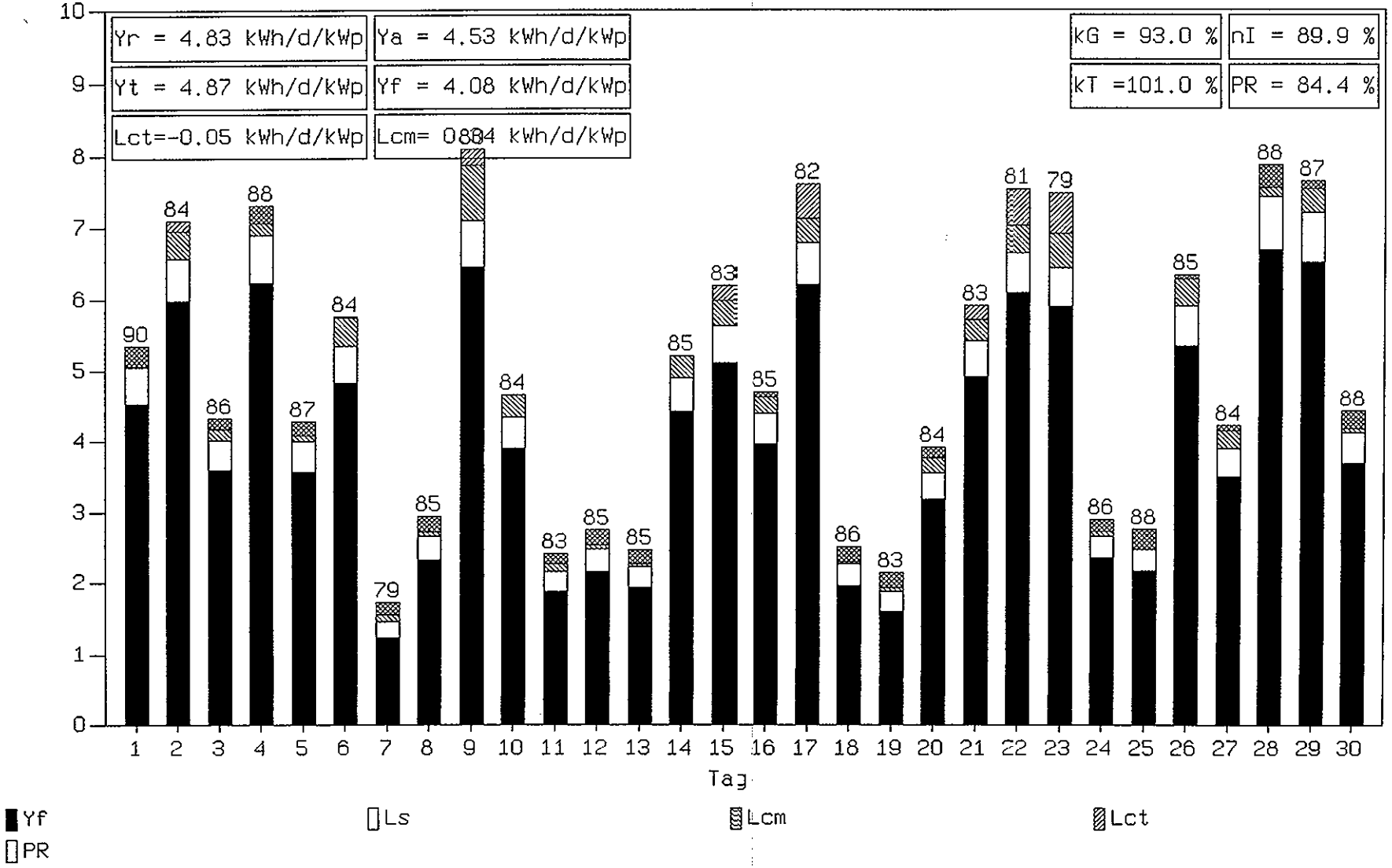
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 9.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



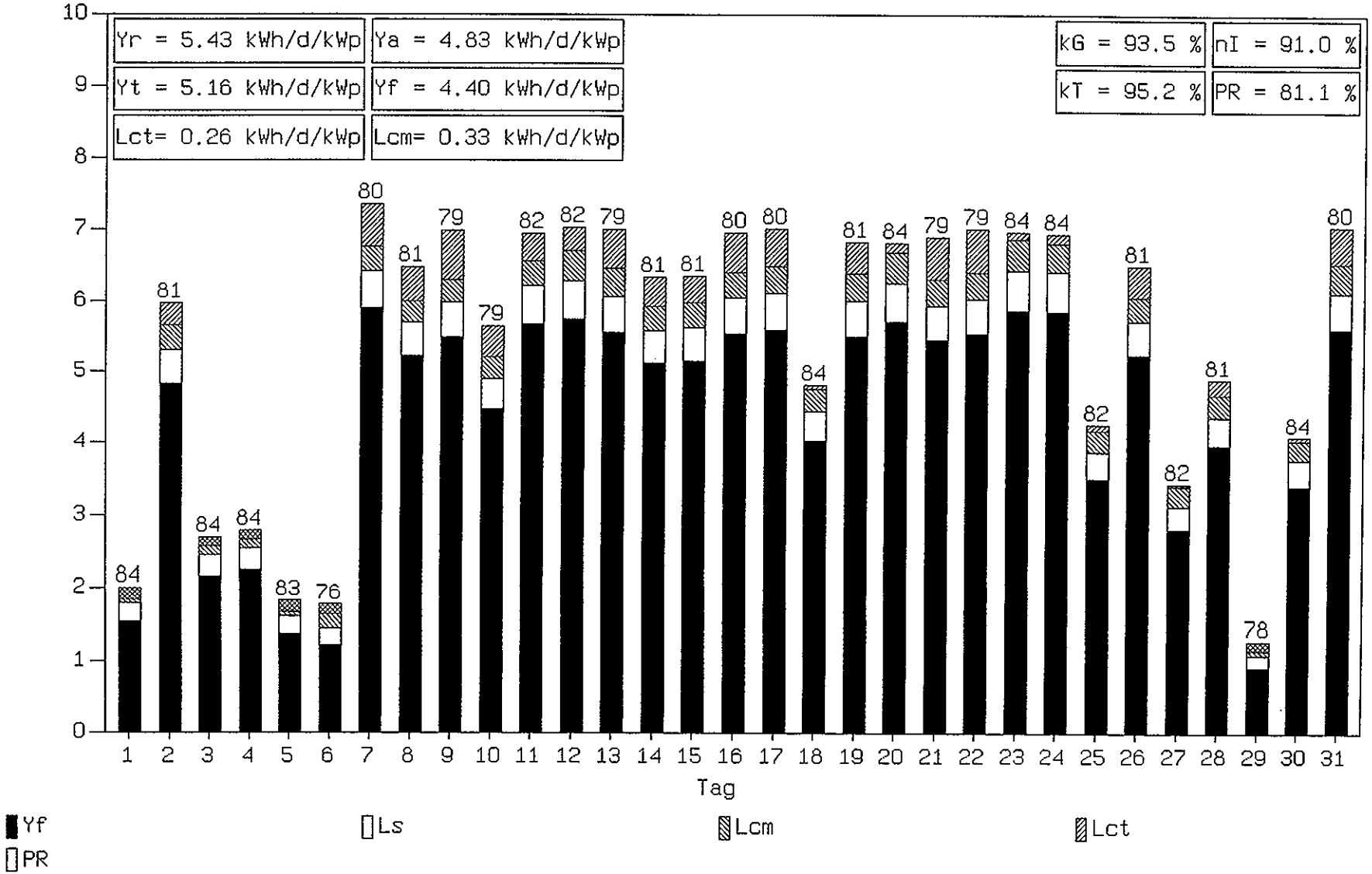
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 10.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



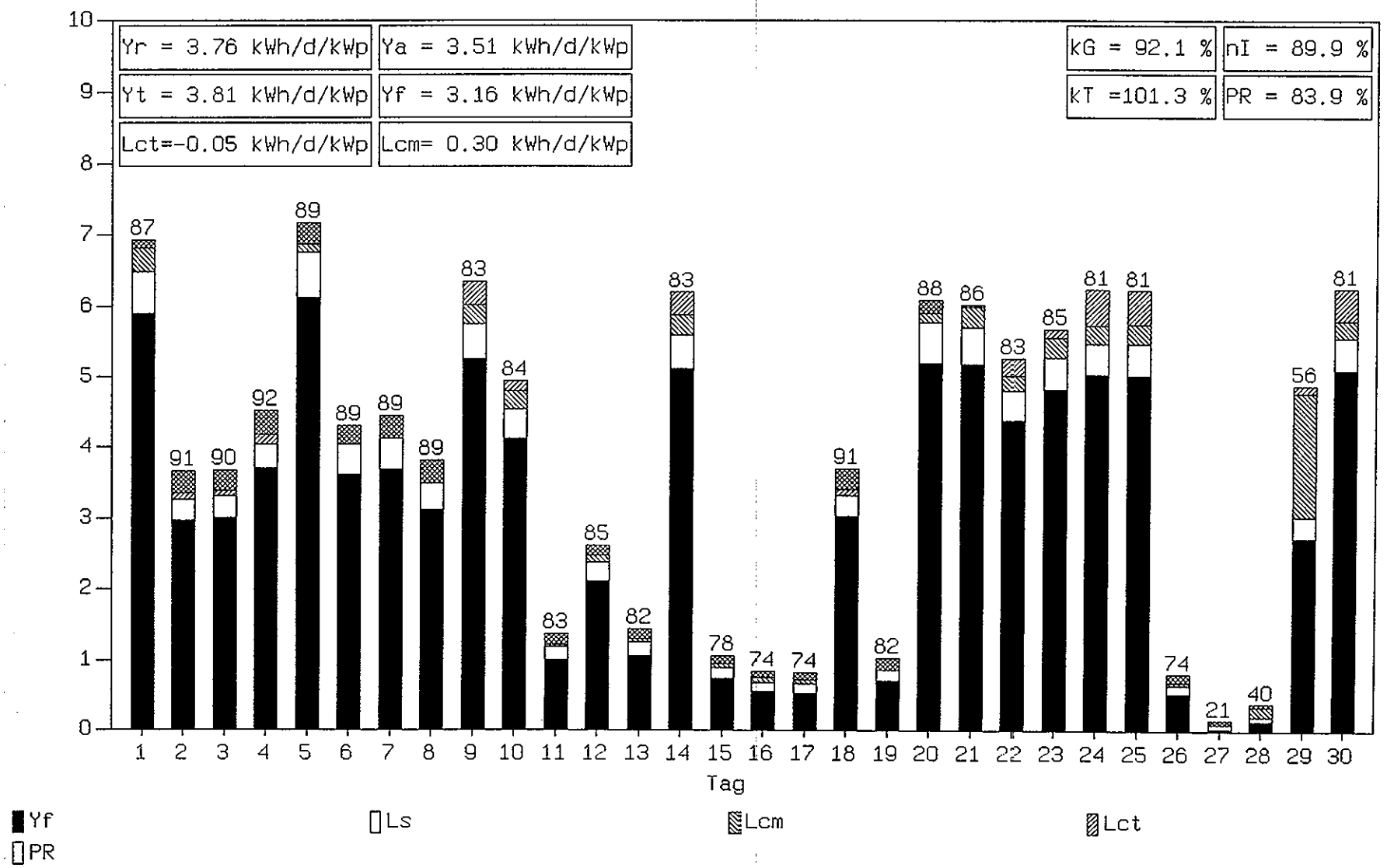
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 11.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



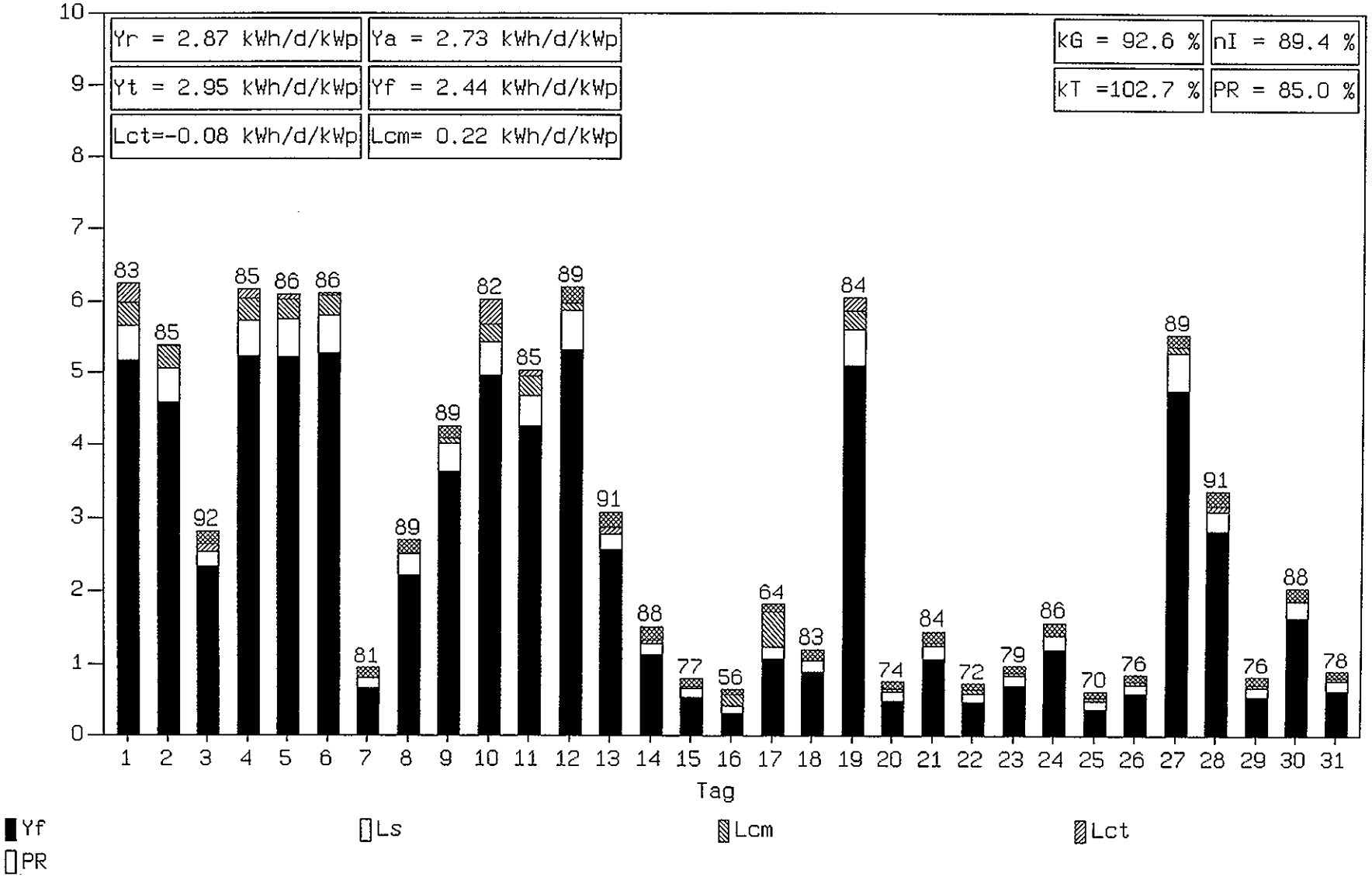
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 12.1995

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



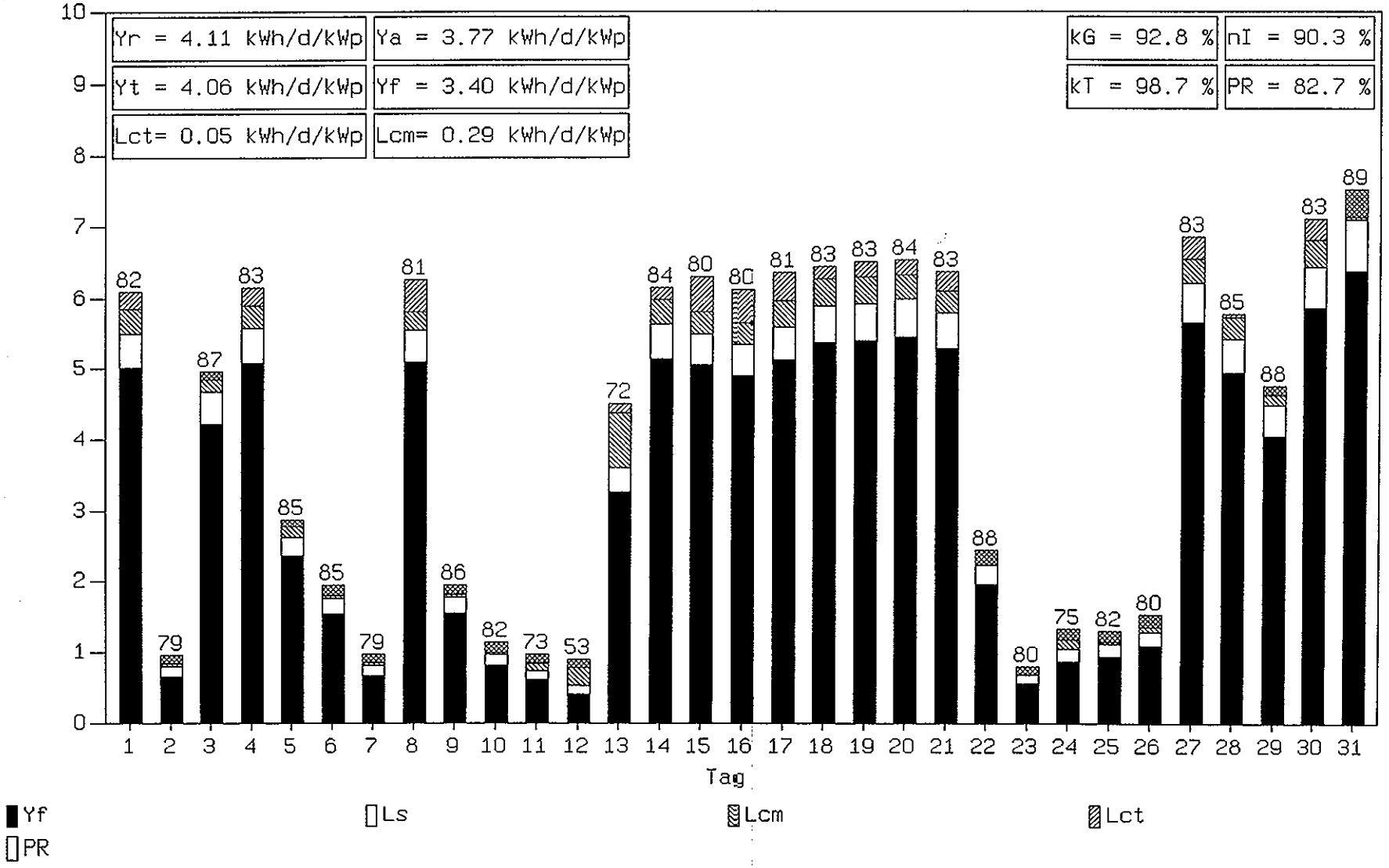
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 1.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



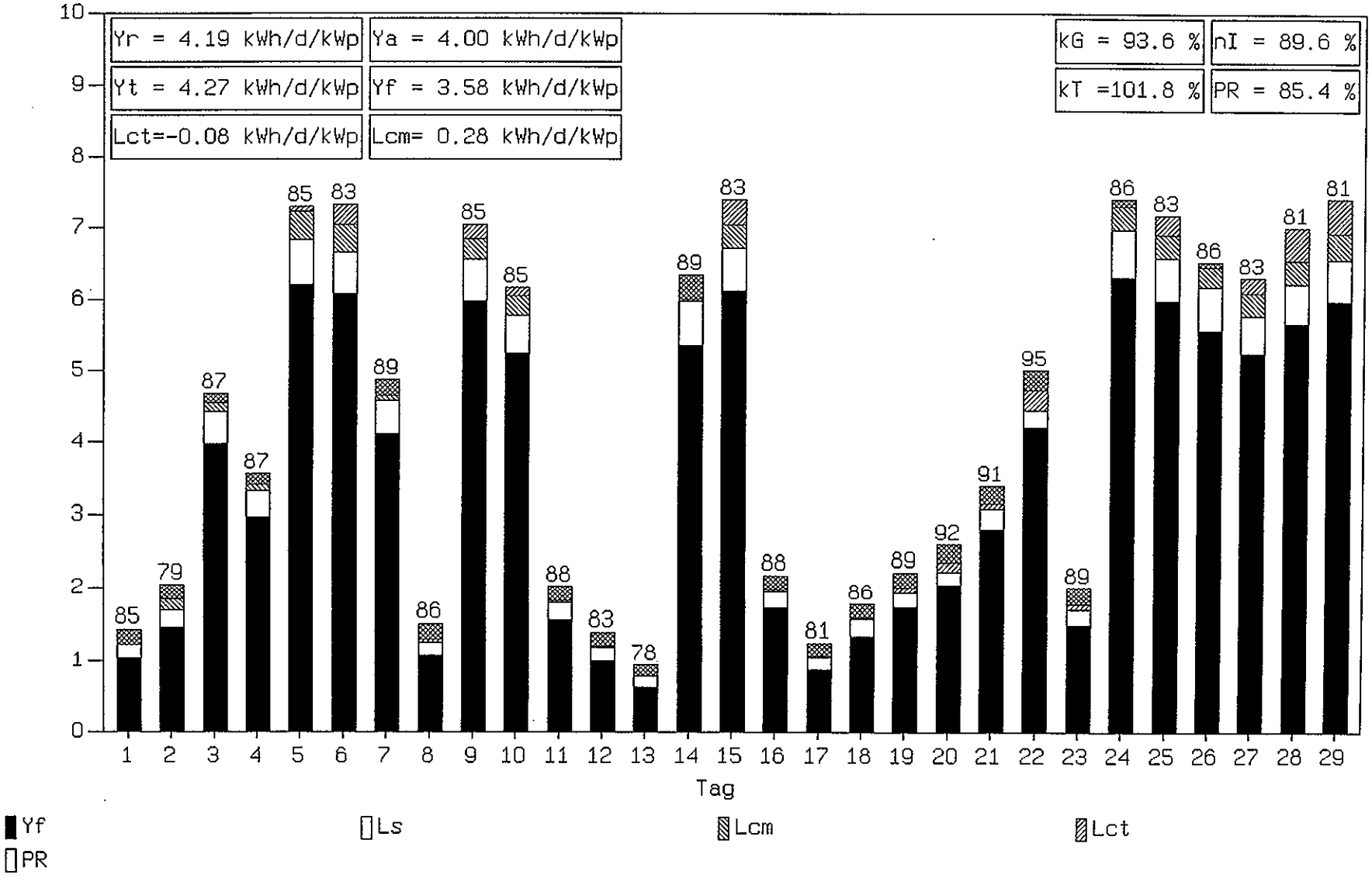
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 2.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



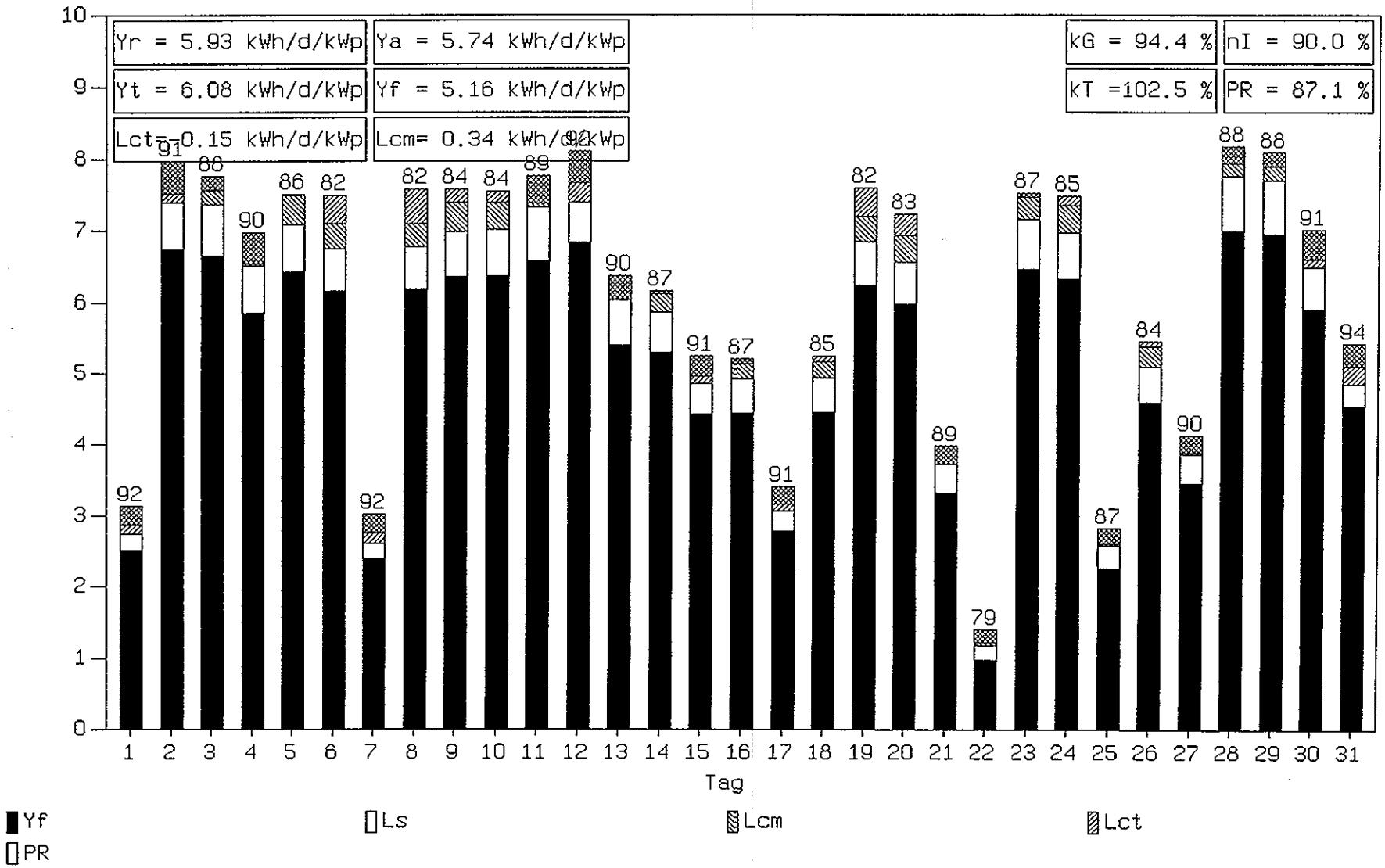
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 3.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



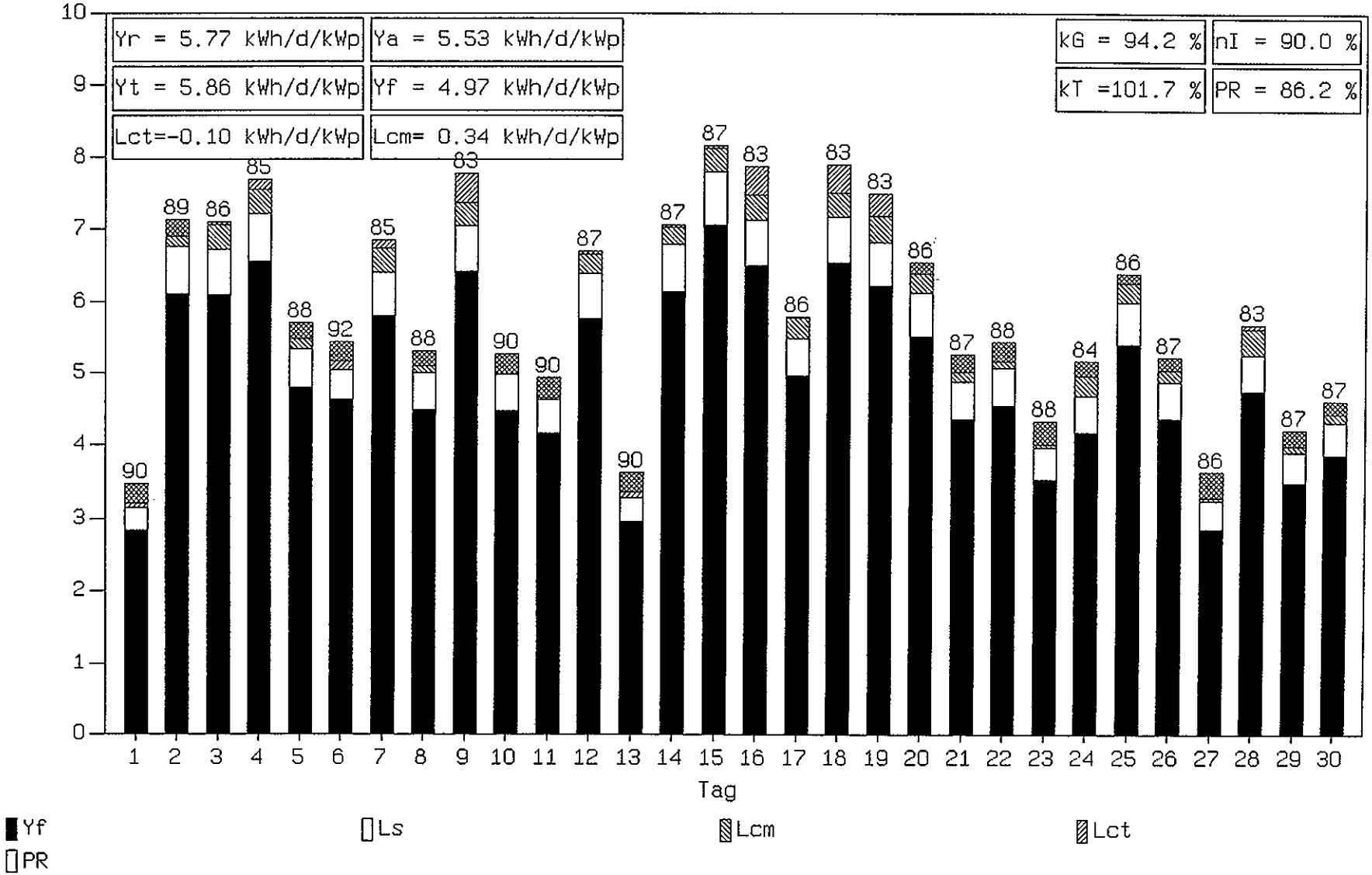
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 4.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

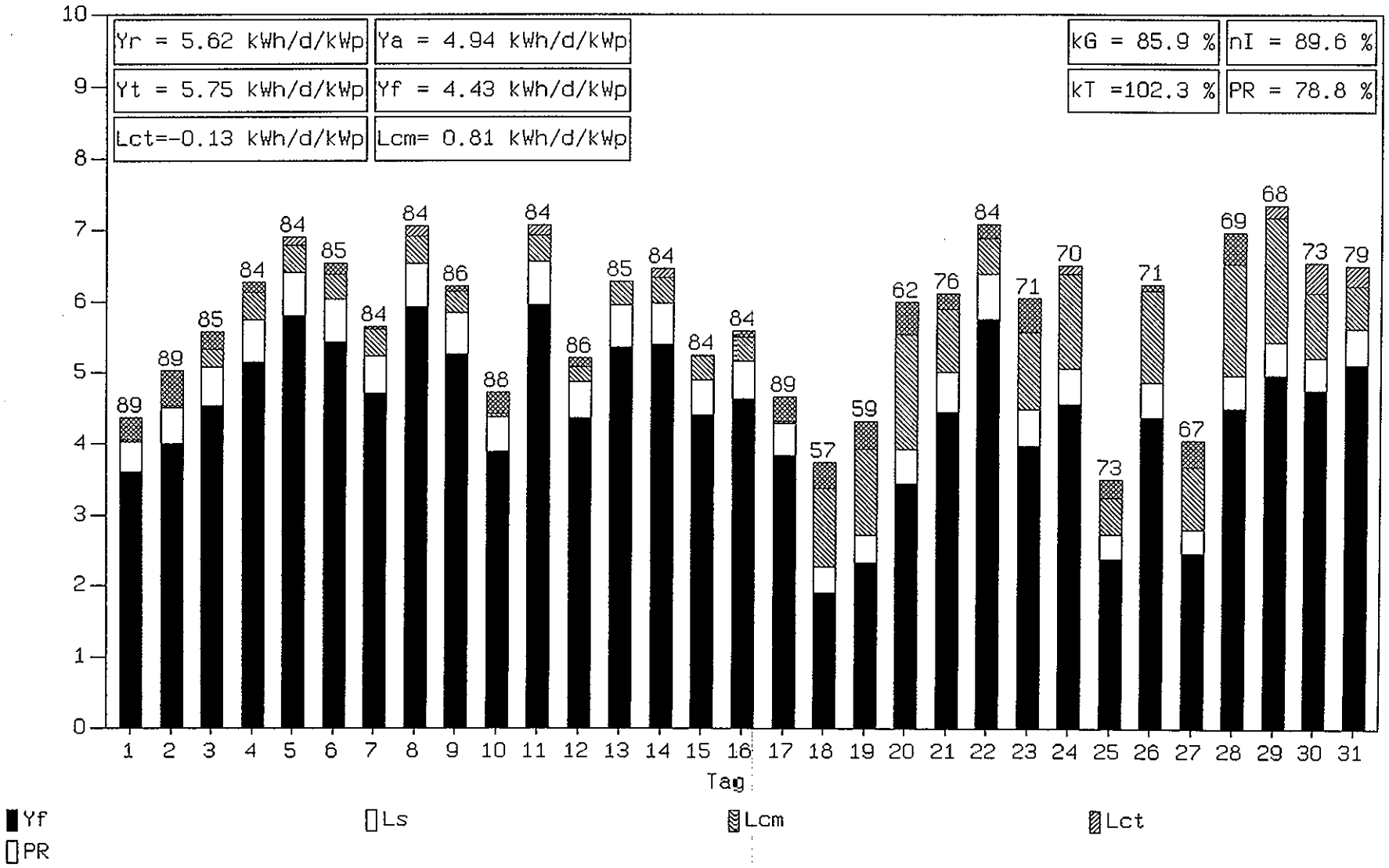
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch

Monat: 5.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



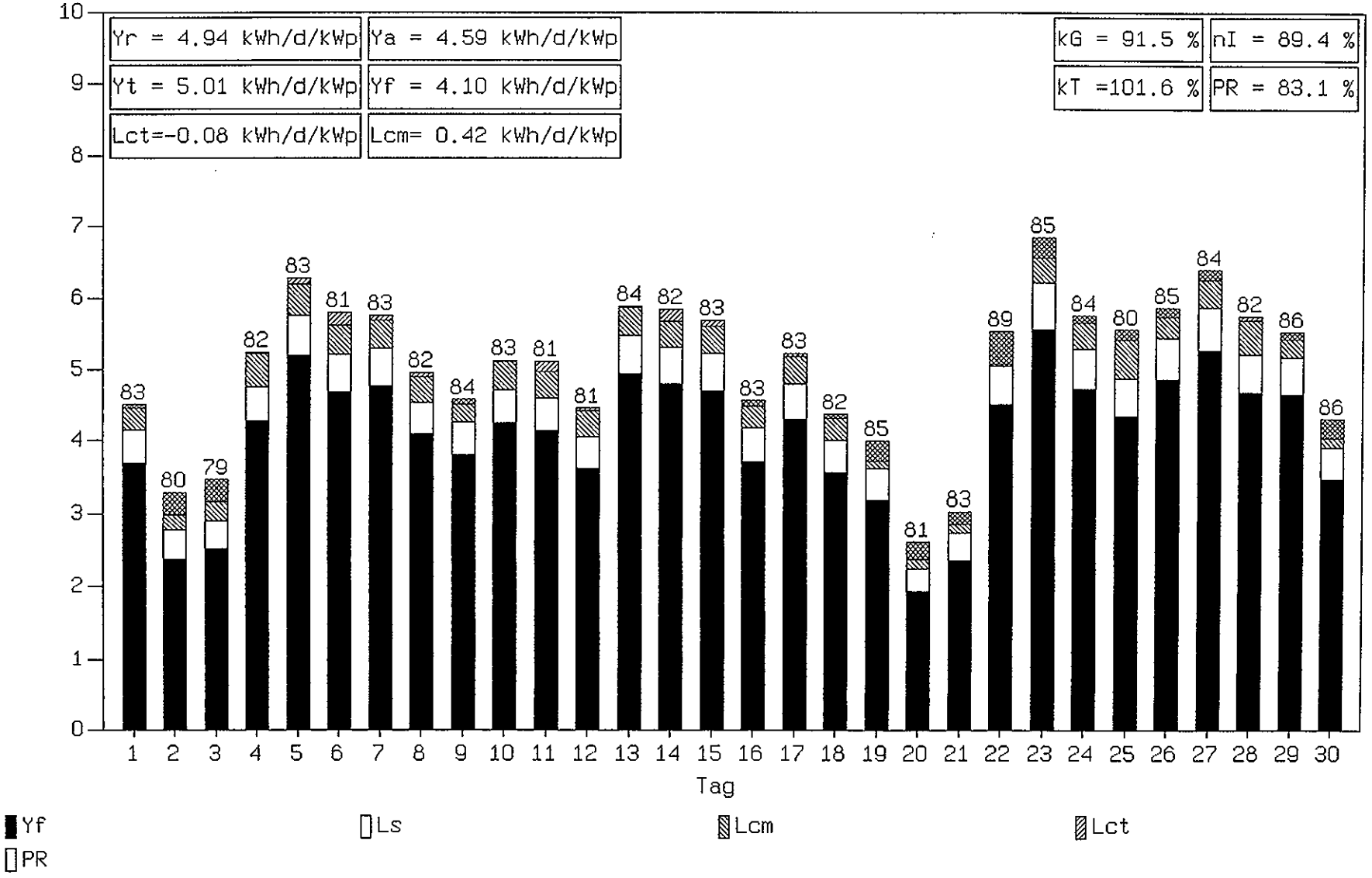
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 6.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



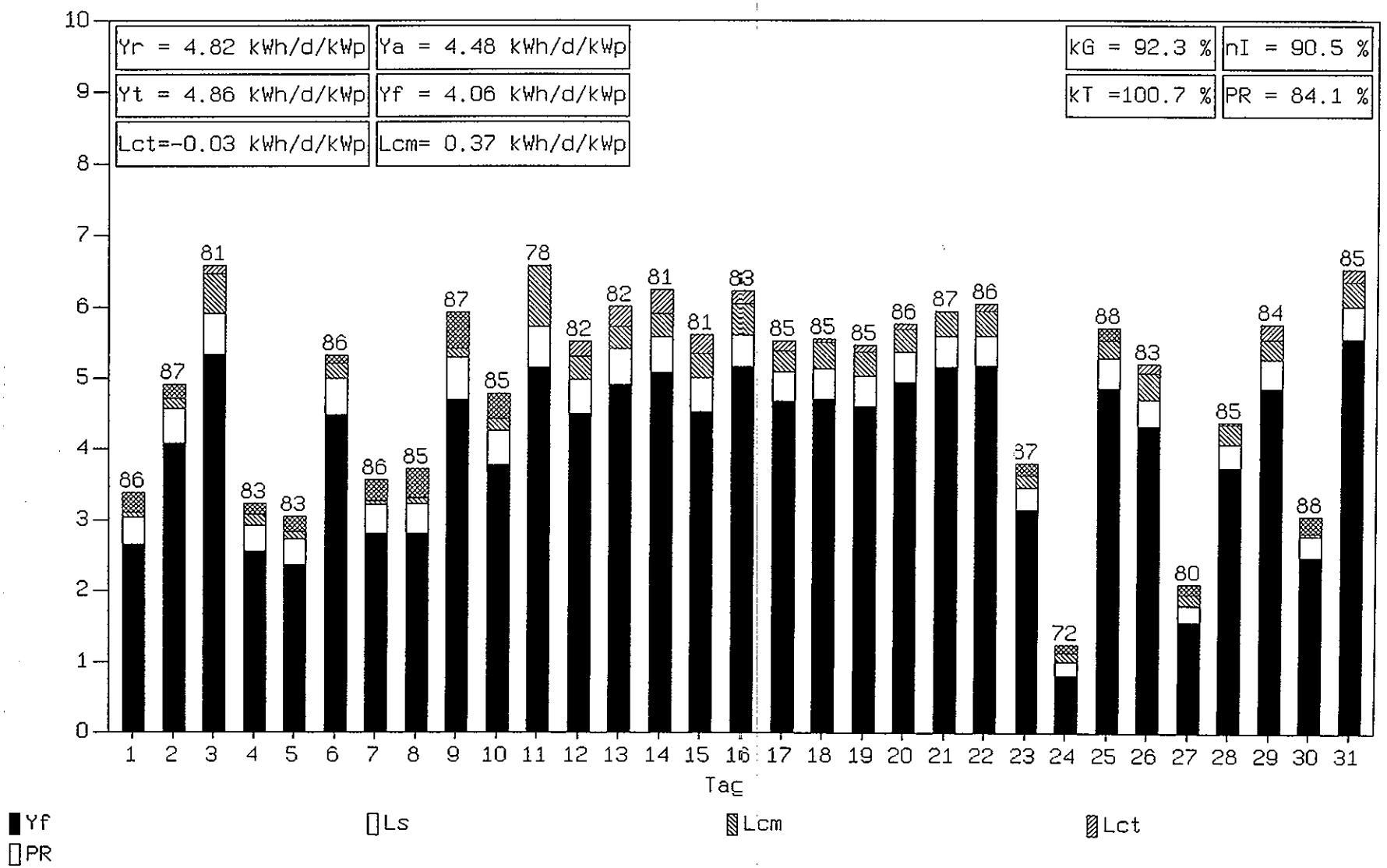
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 7.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



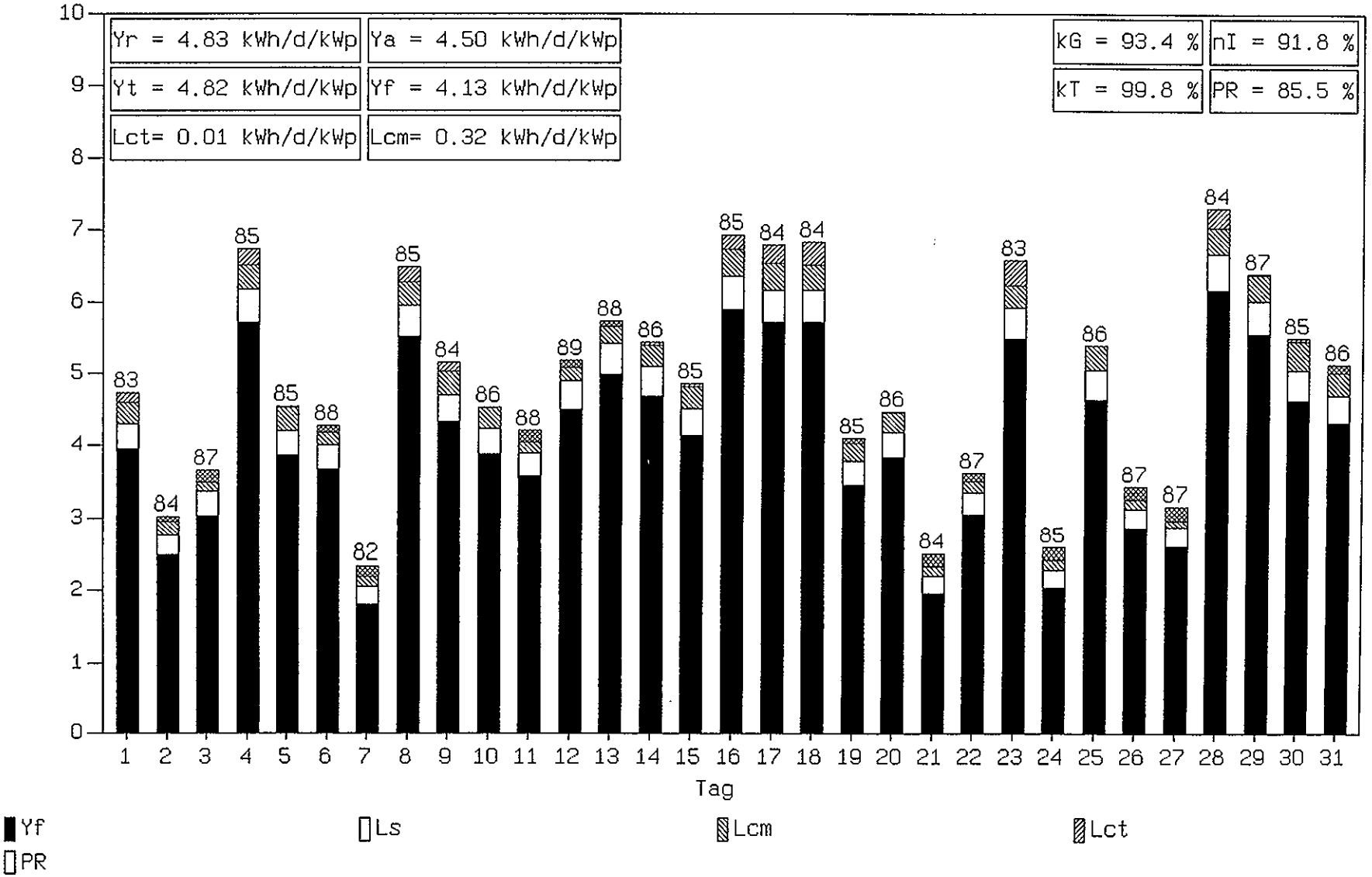
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 8.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



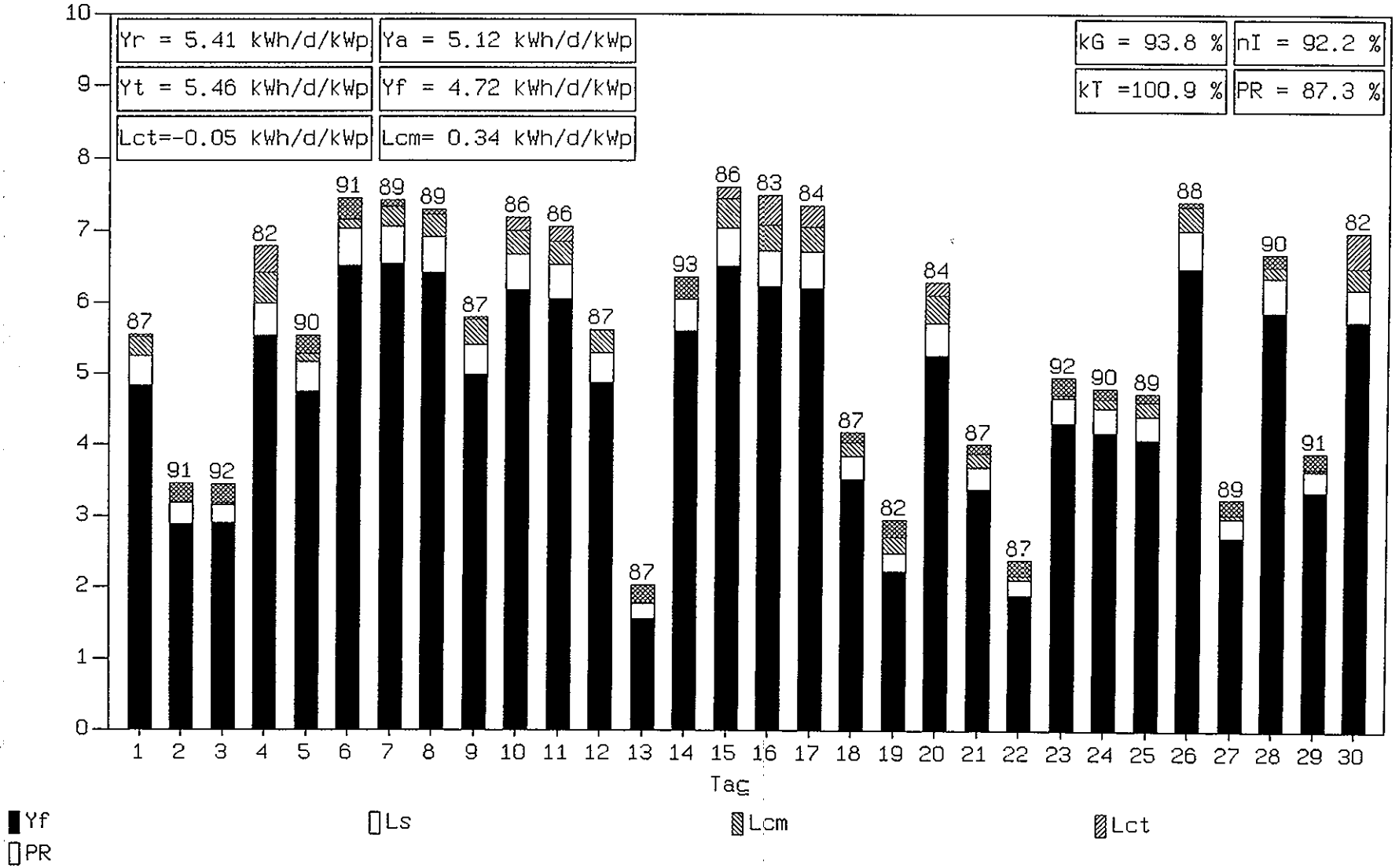
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 9.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



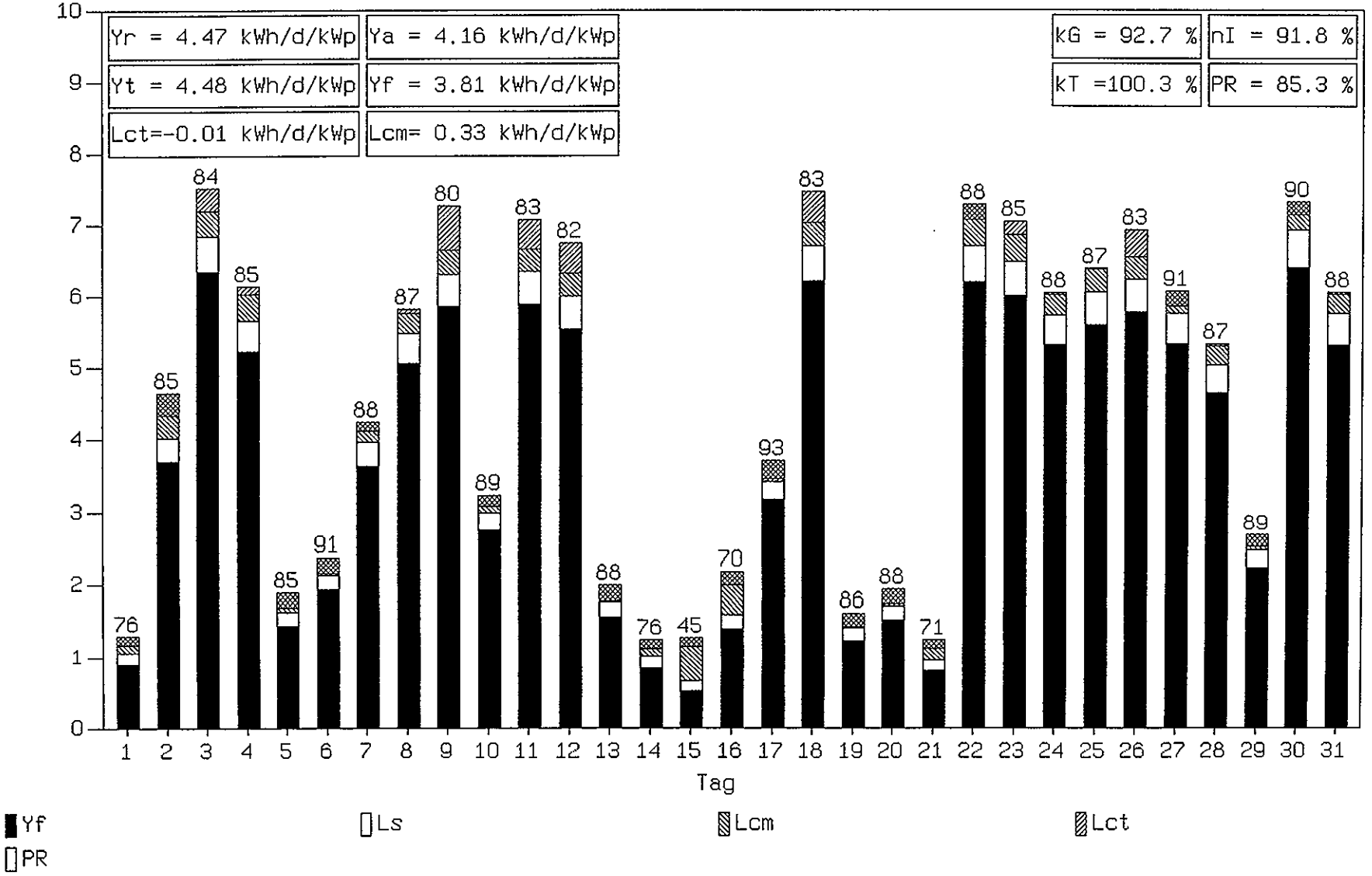
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 10.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



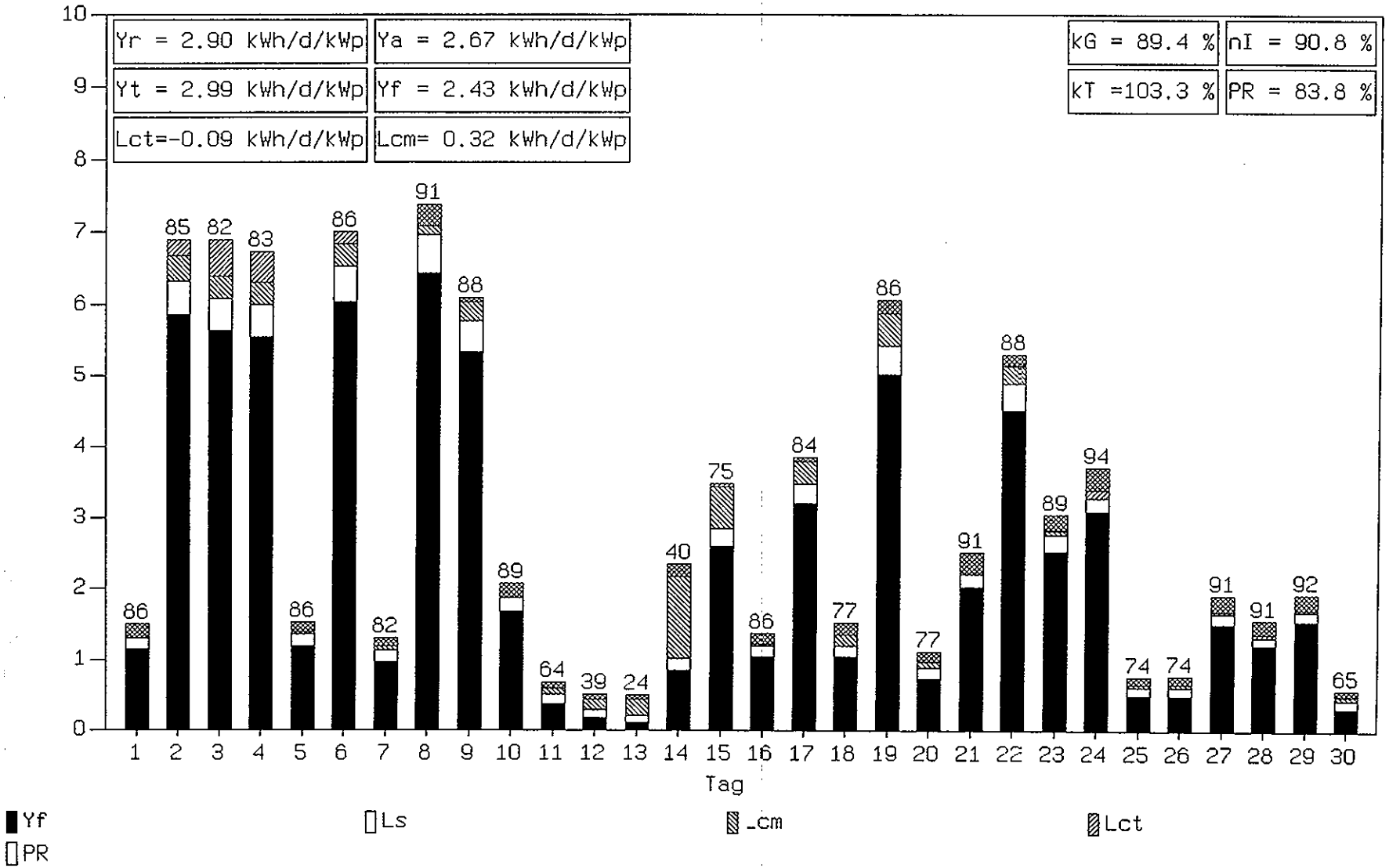
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 11.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



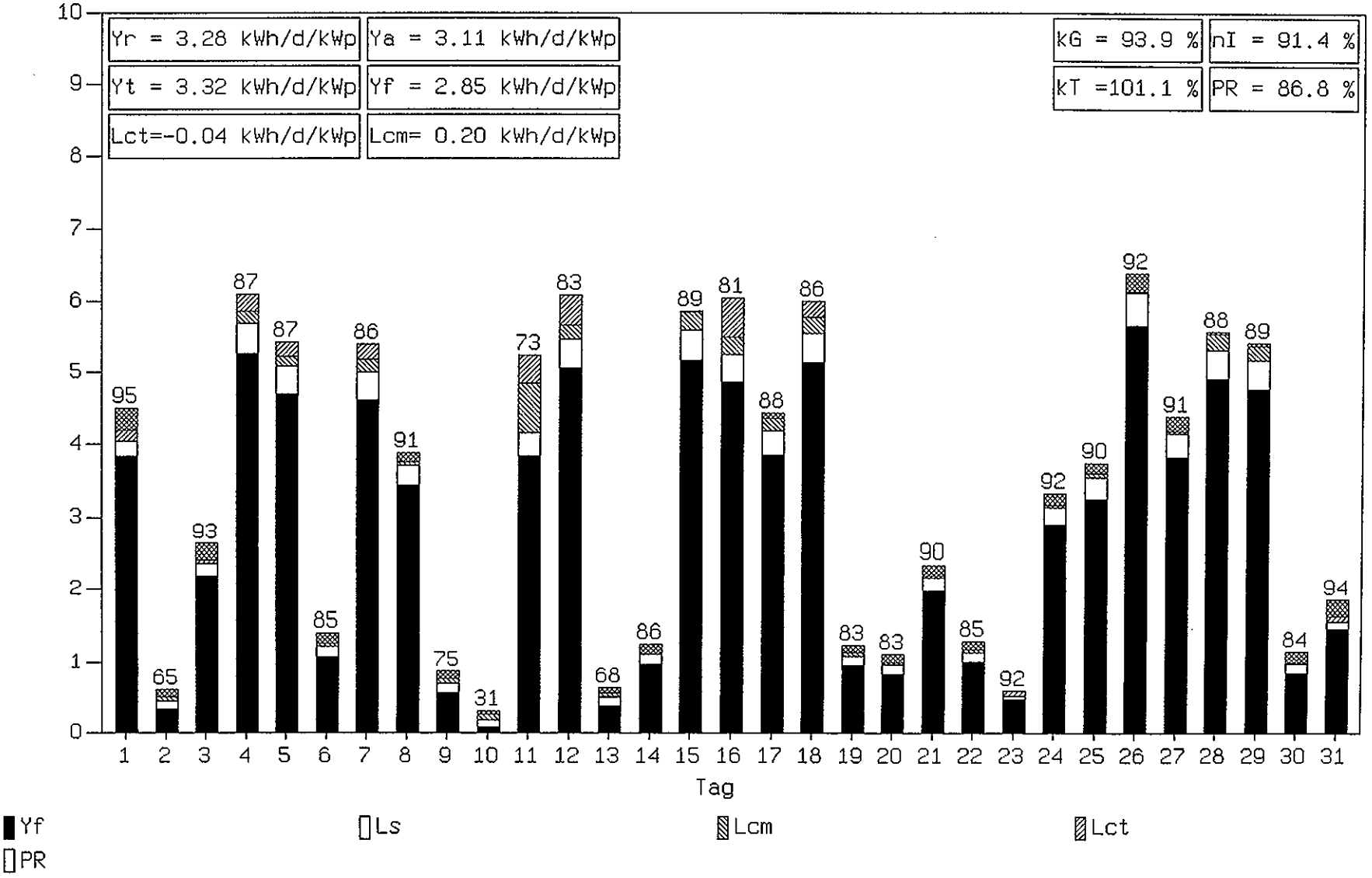
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 12.1996

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

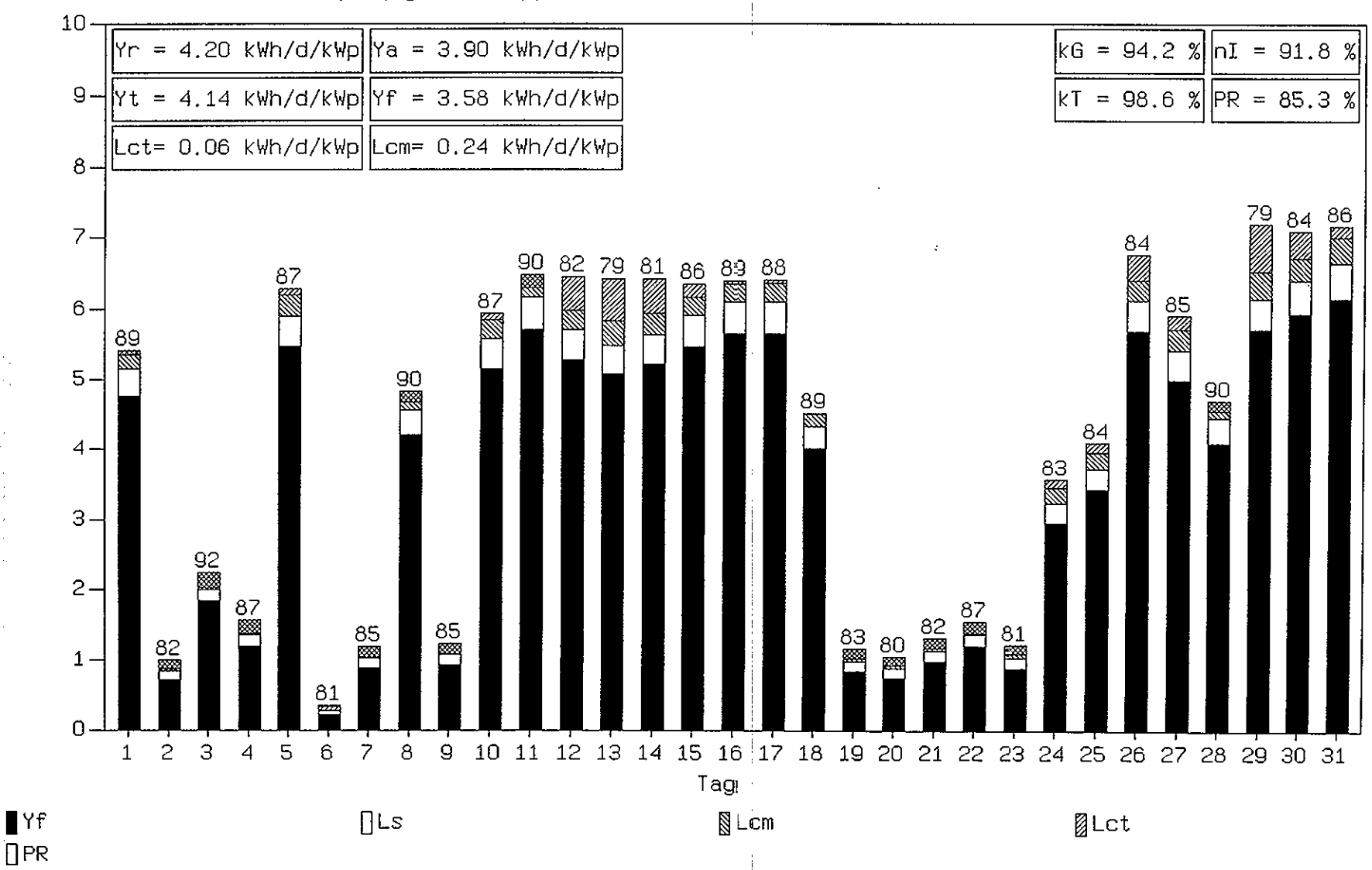
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch

Monat: 1.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



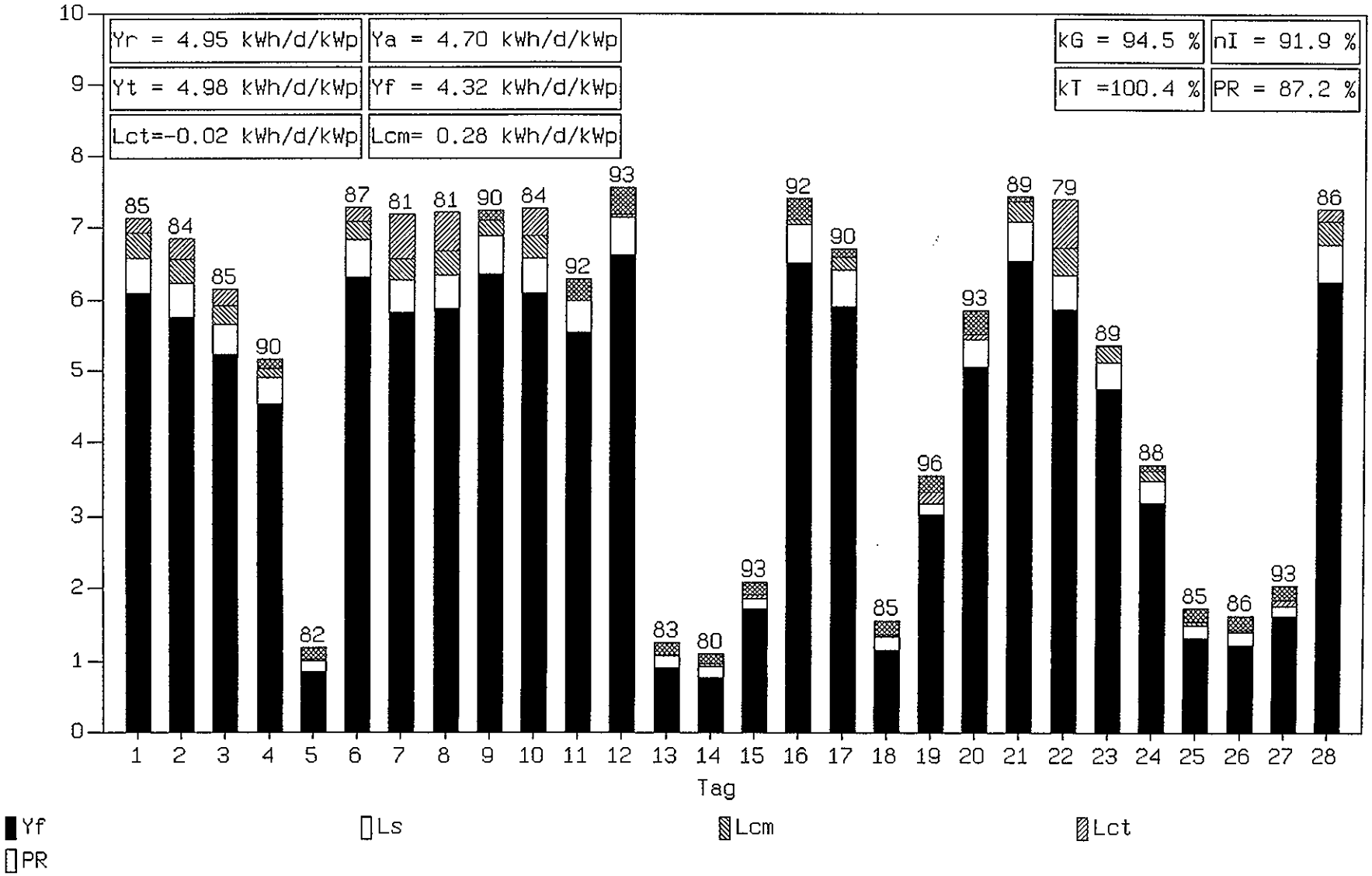
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 2.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



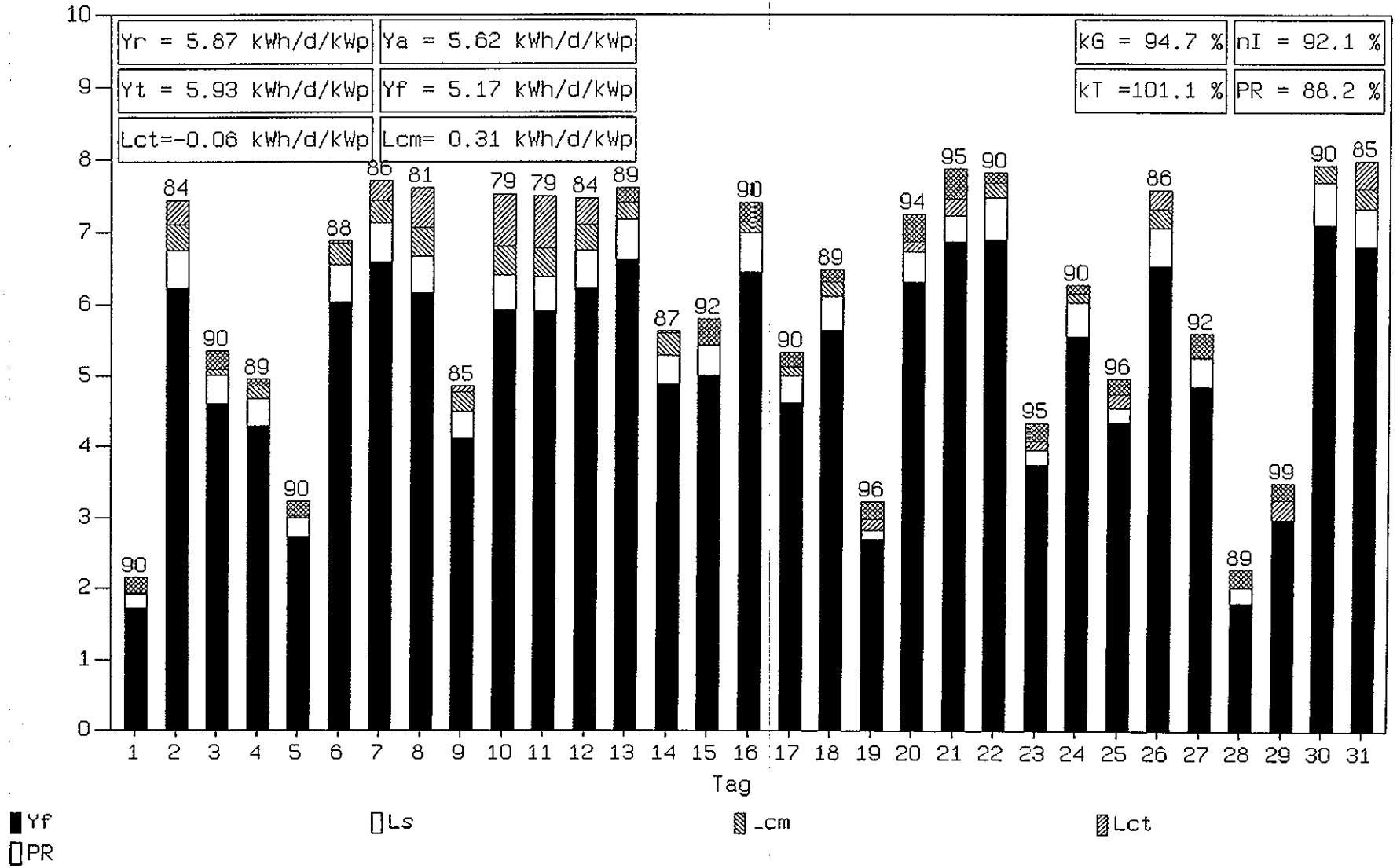
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 3.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



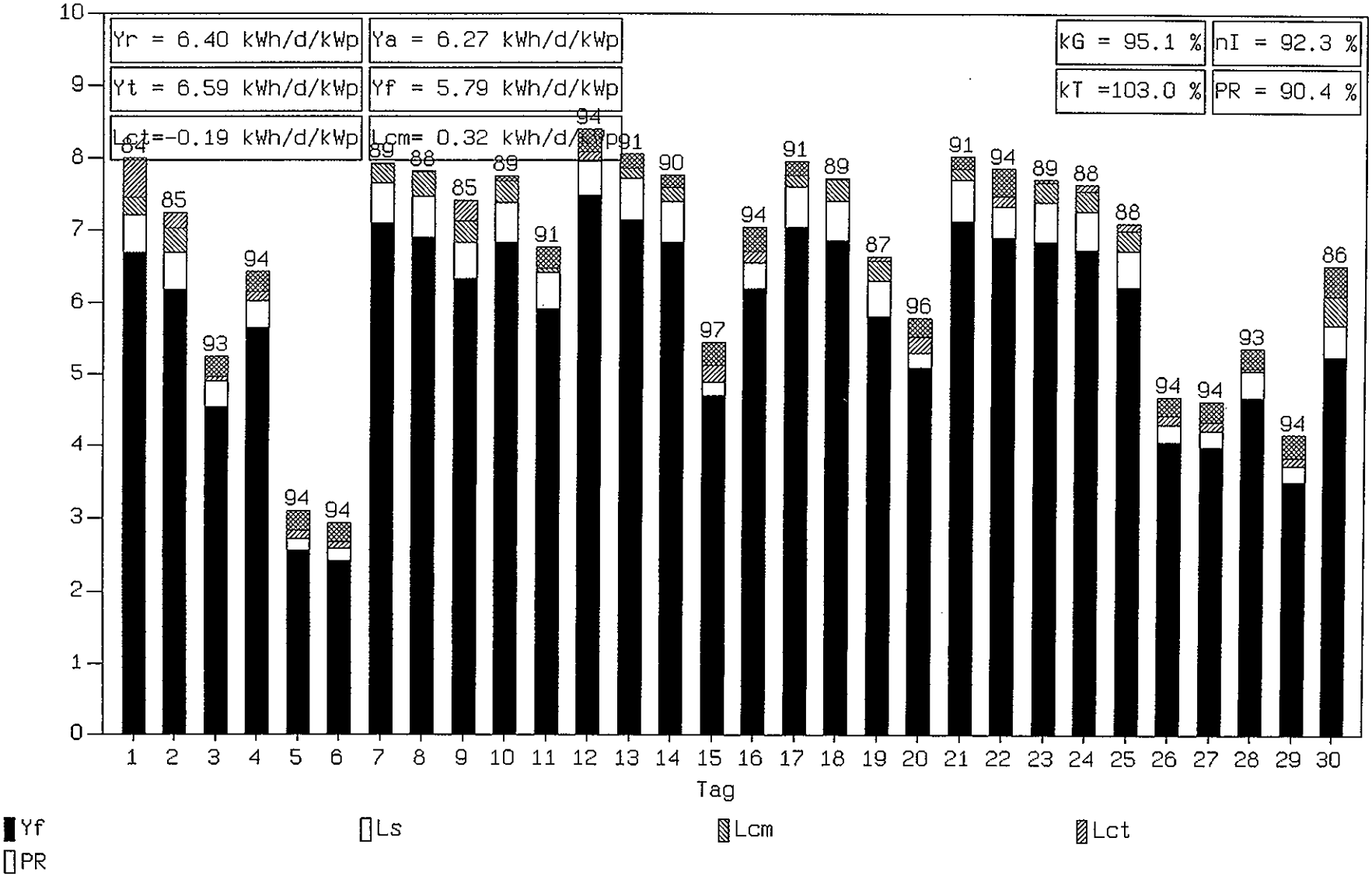
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 4.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



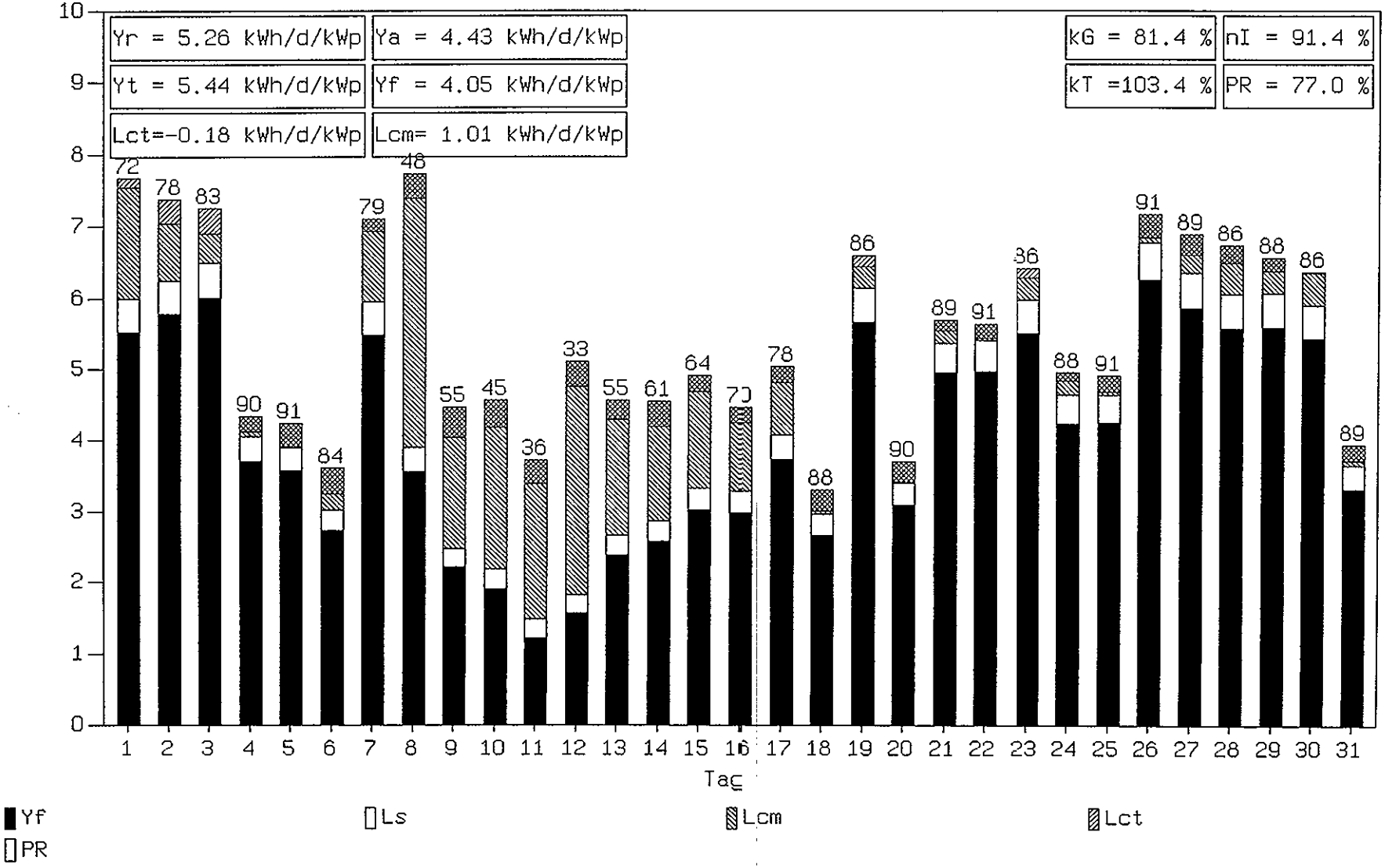
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 5.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



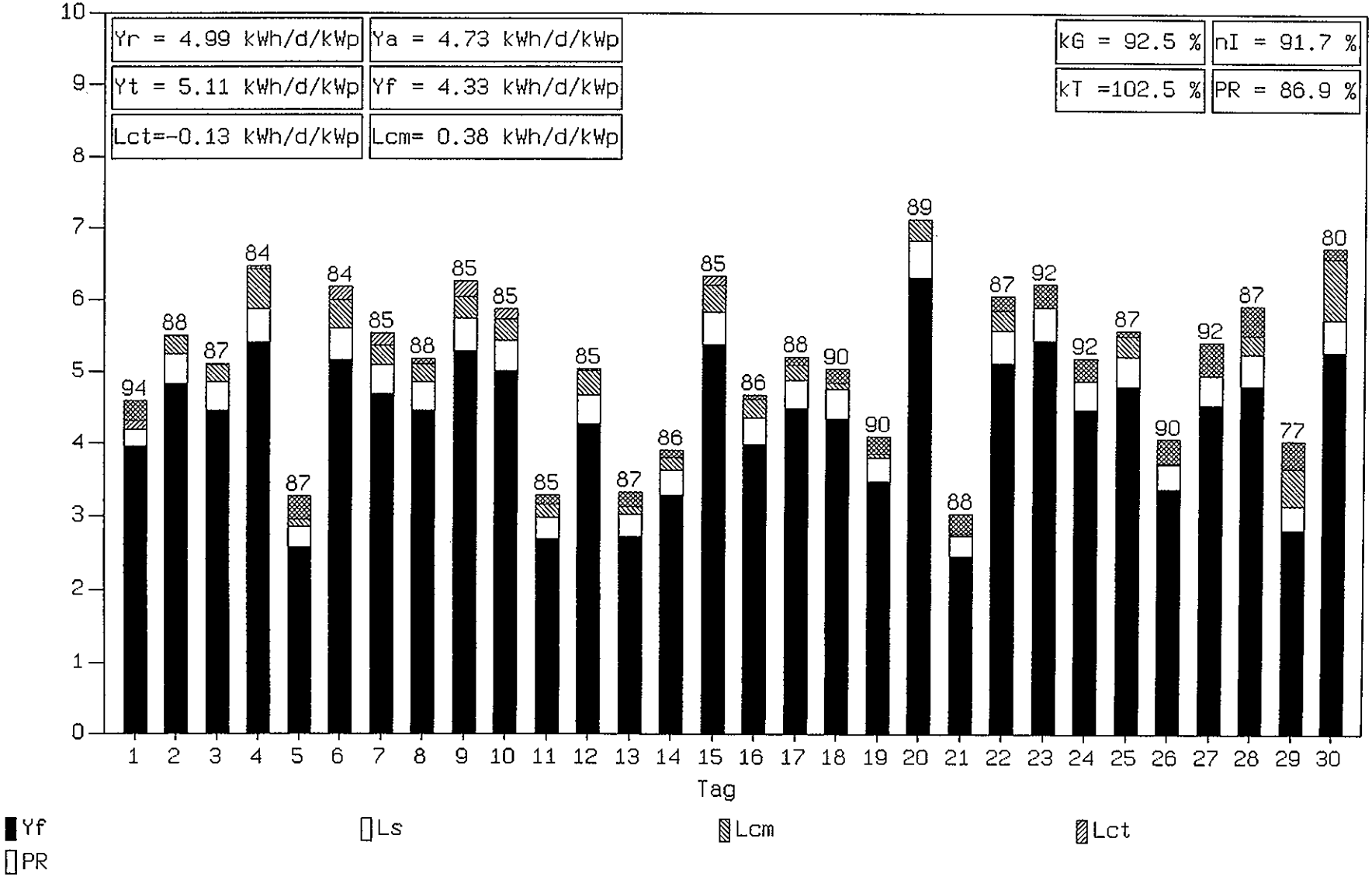
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 6.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



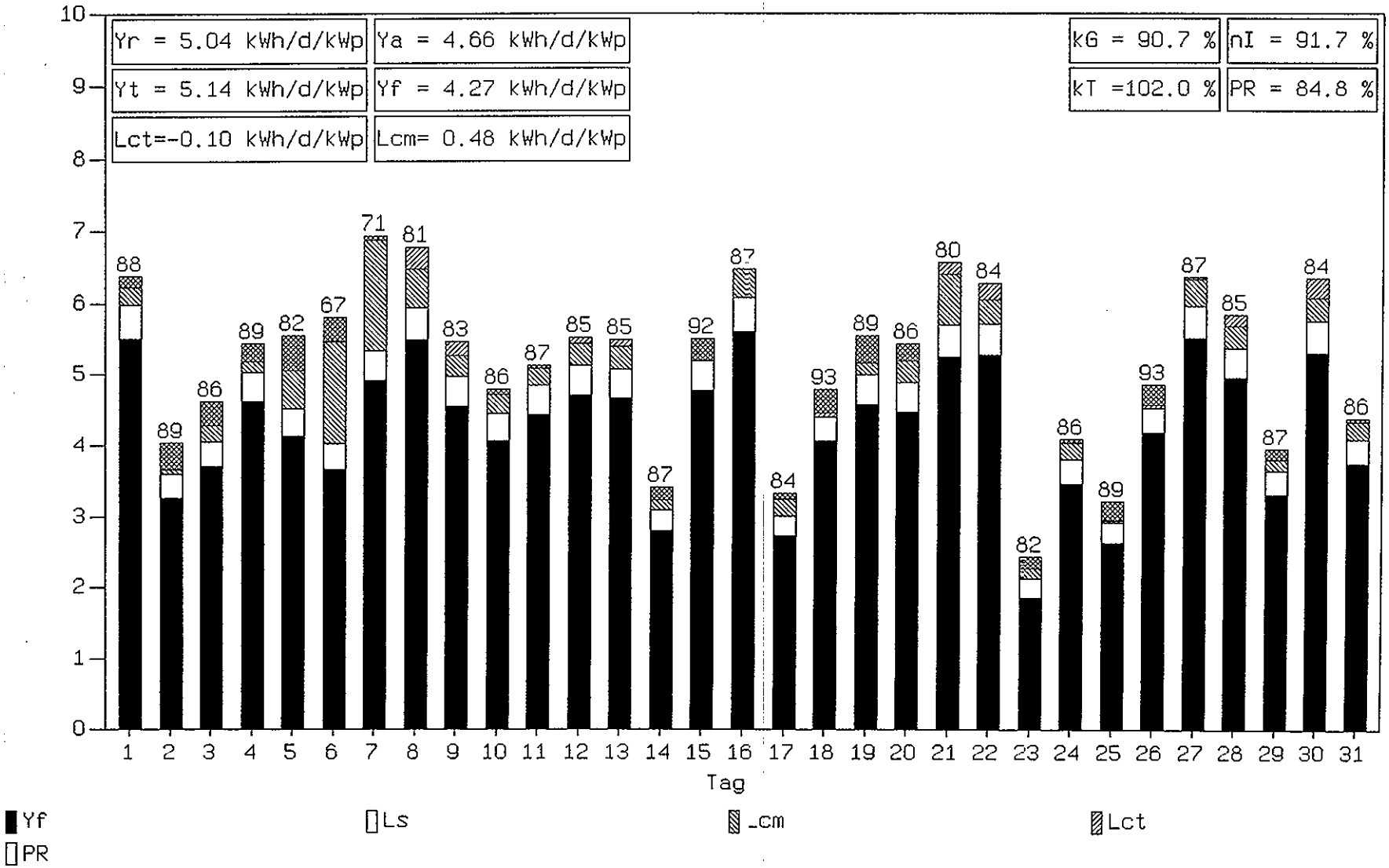
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 7.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



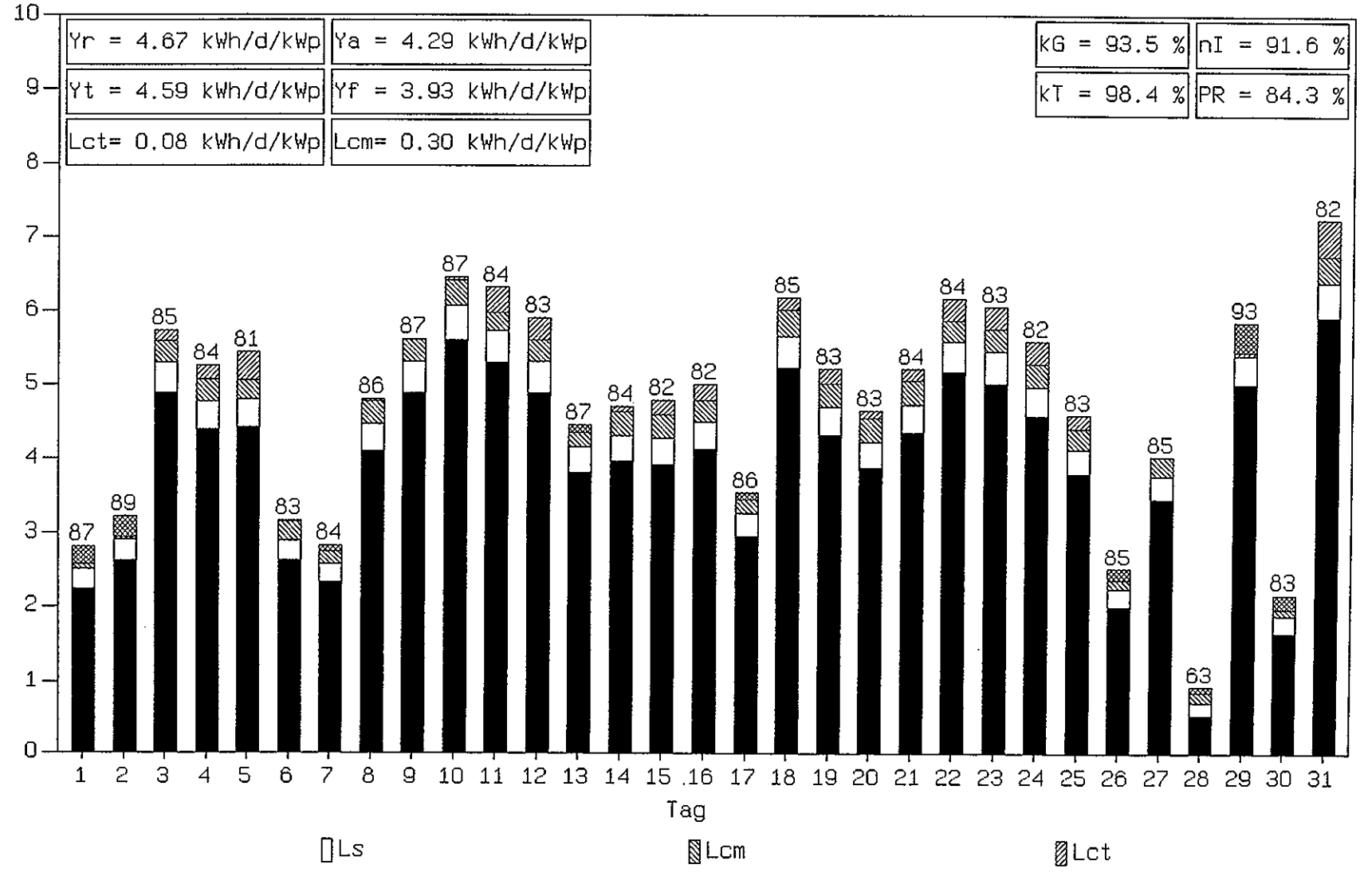
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 8.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



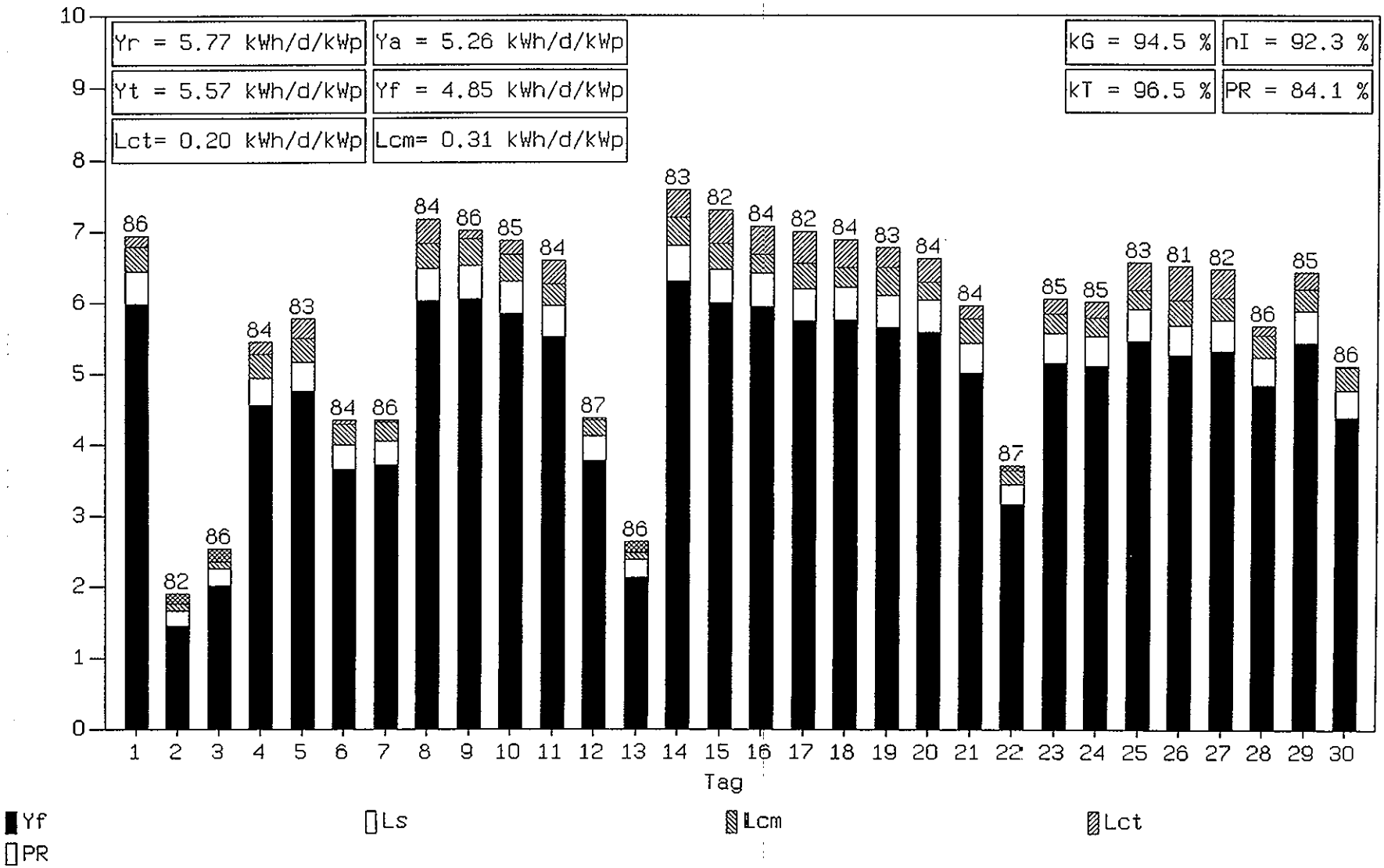
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 9.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



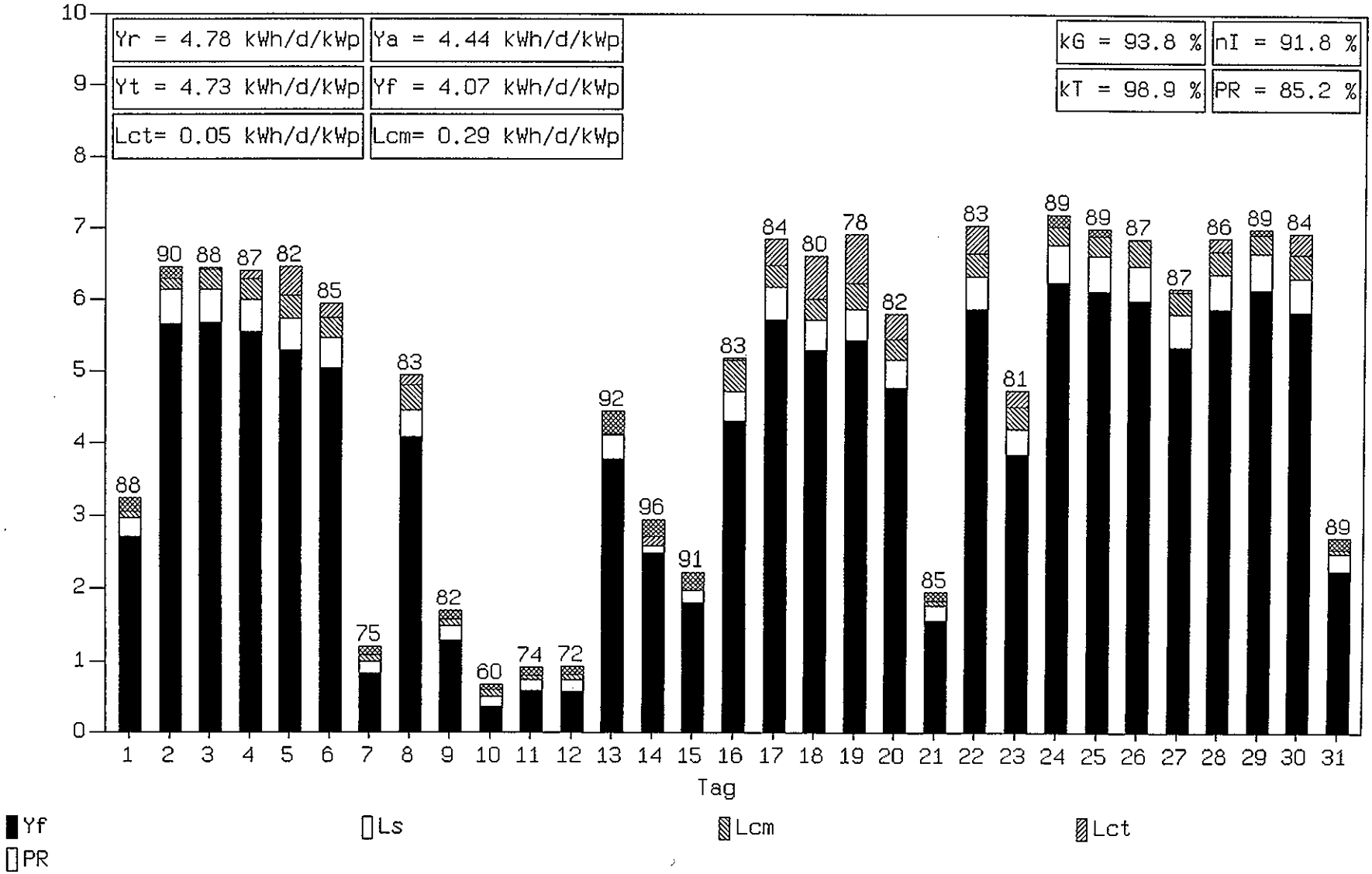
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 10.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



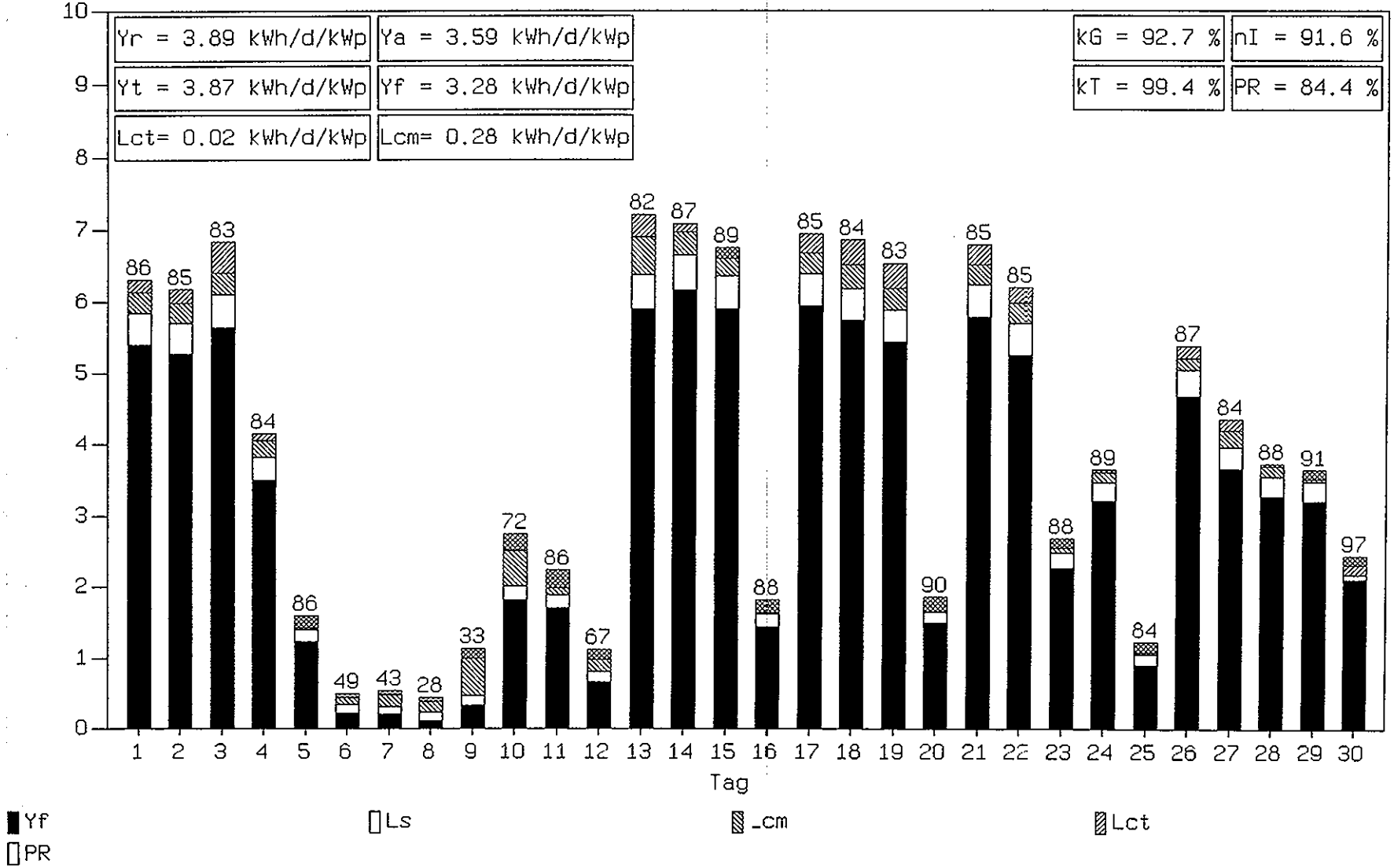
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 11.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



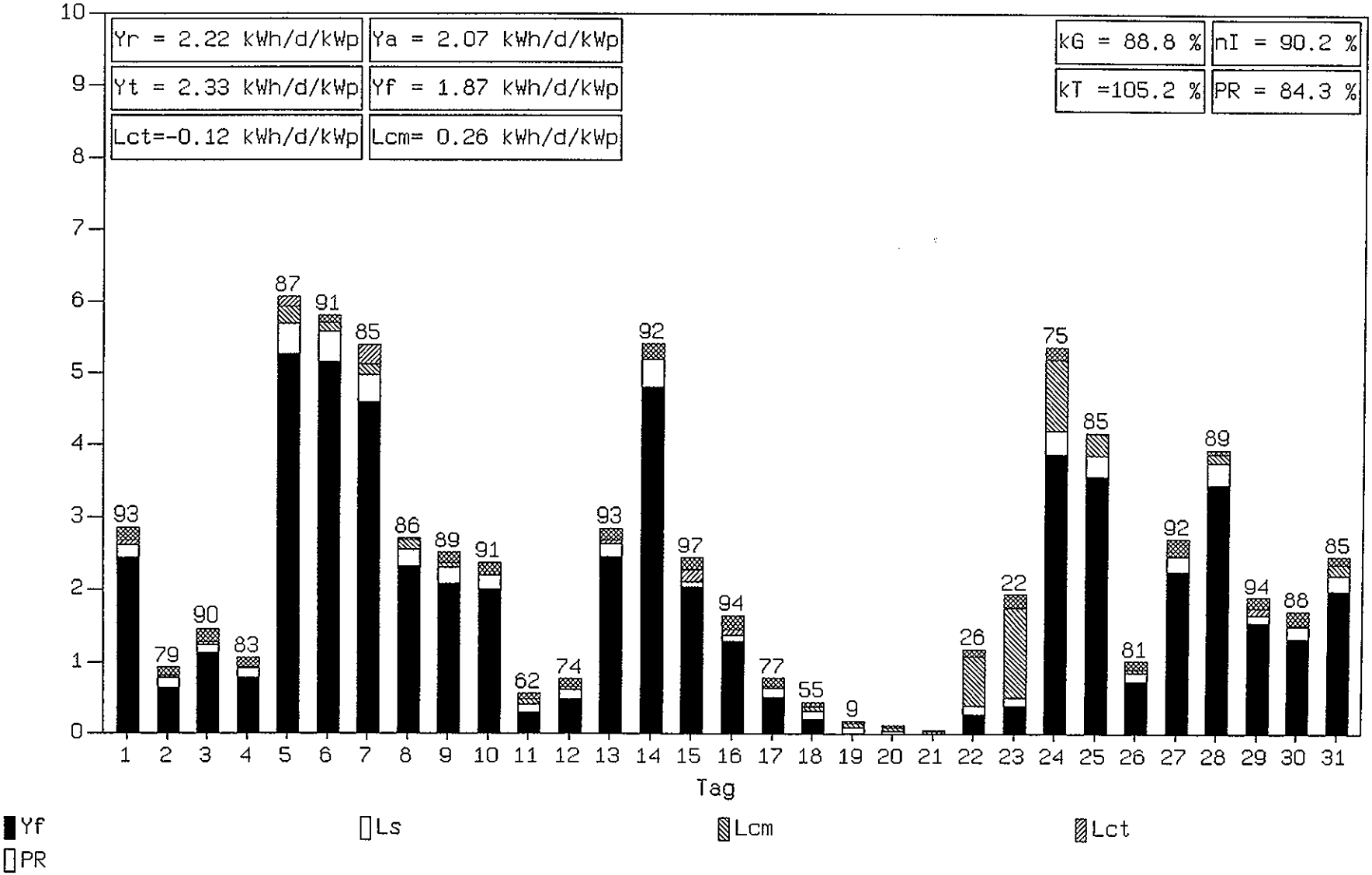
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 12.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



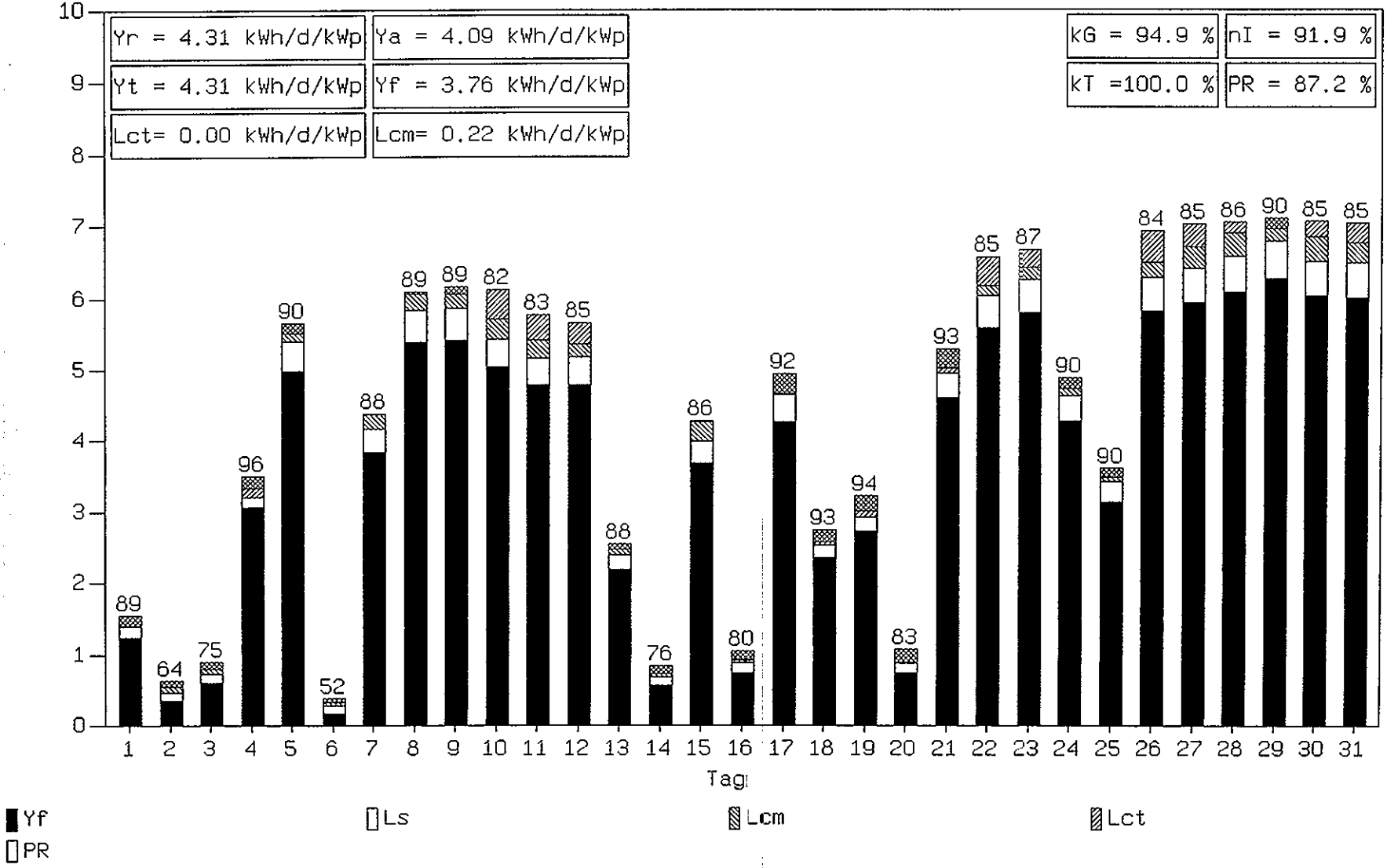
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 1.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



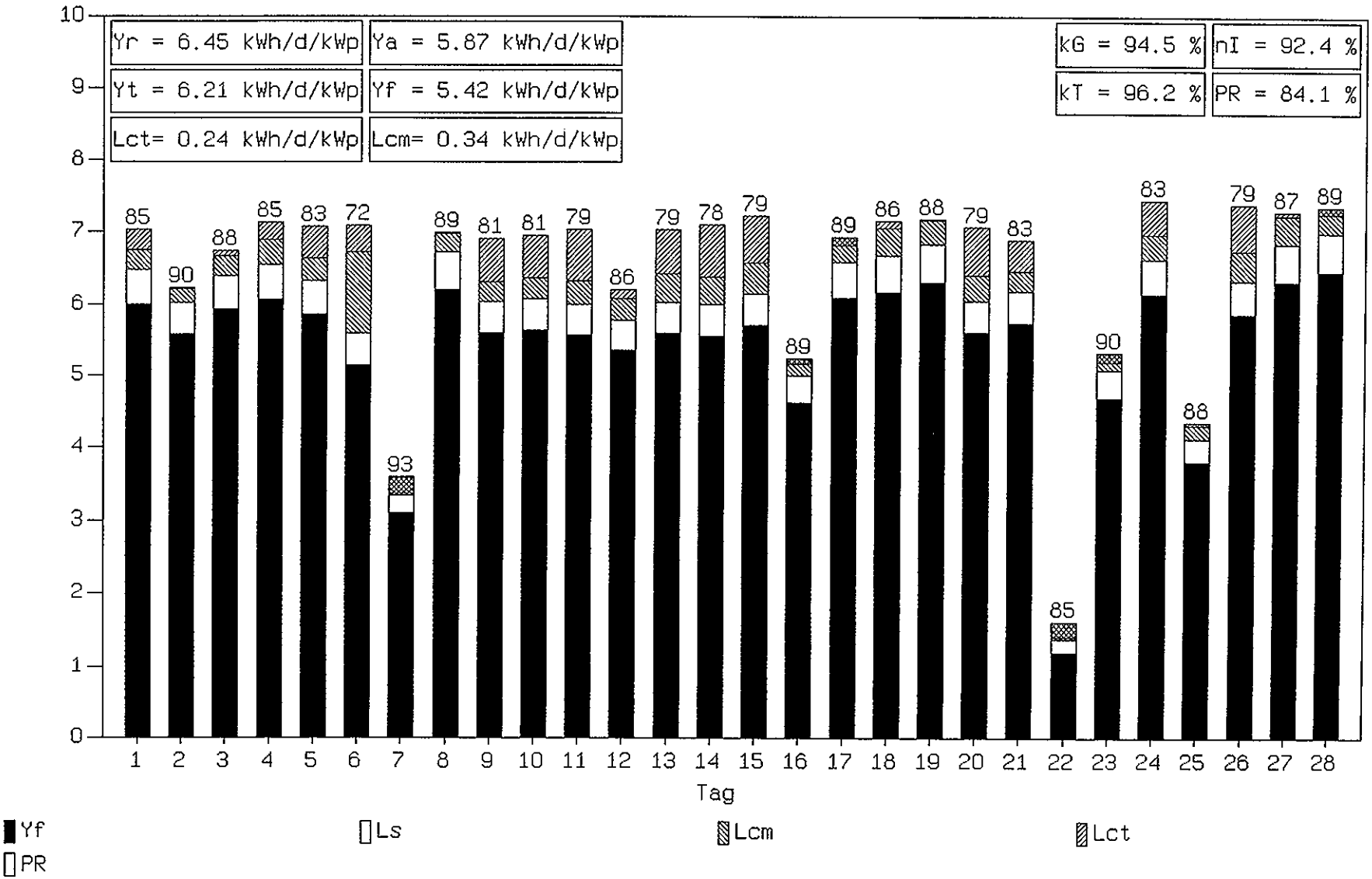
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 2.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



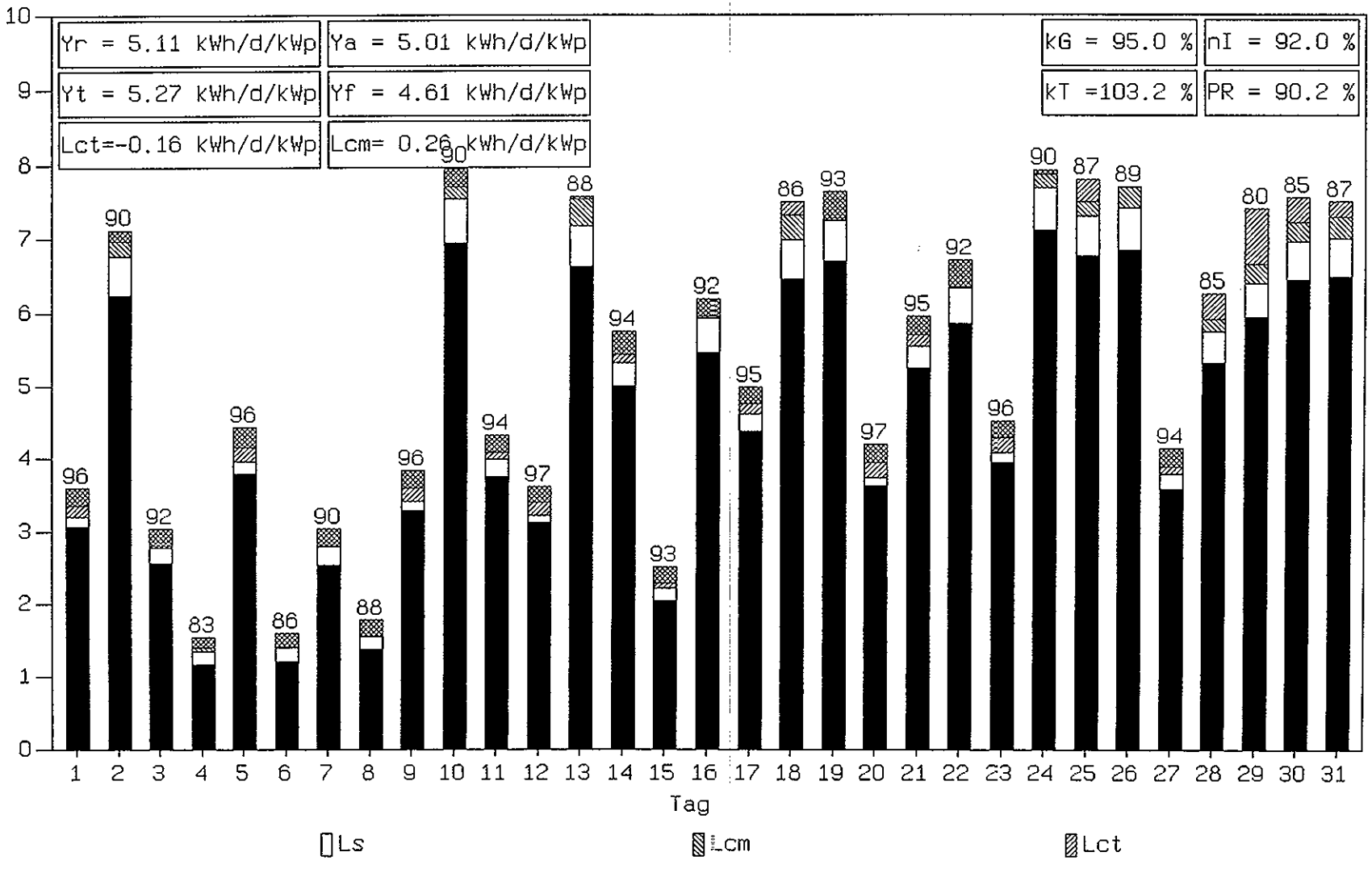
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 3.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



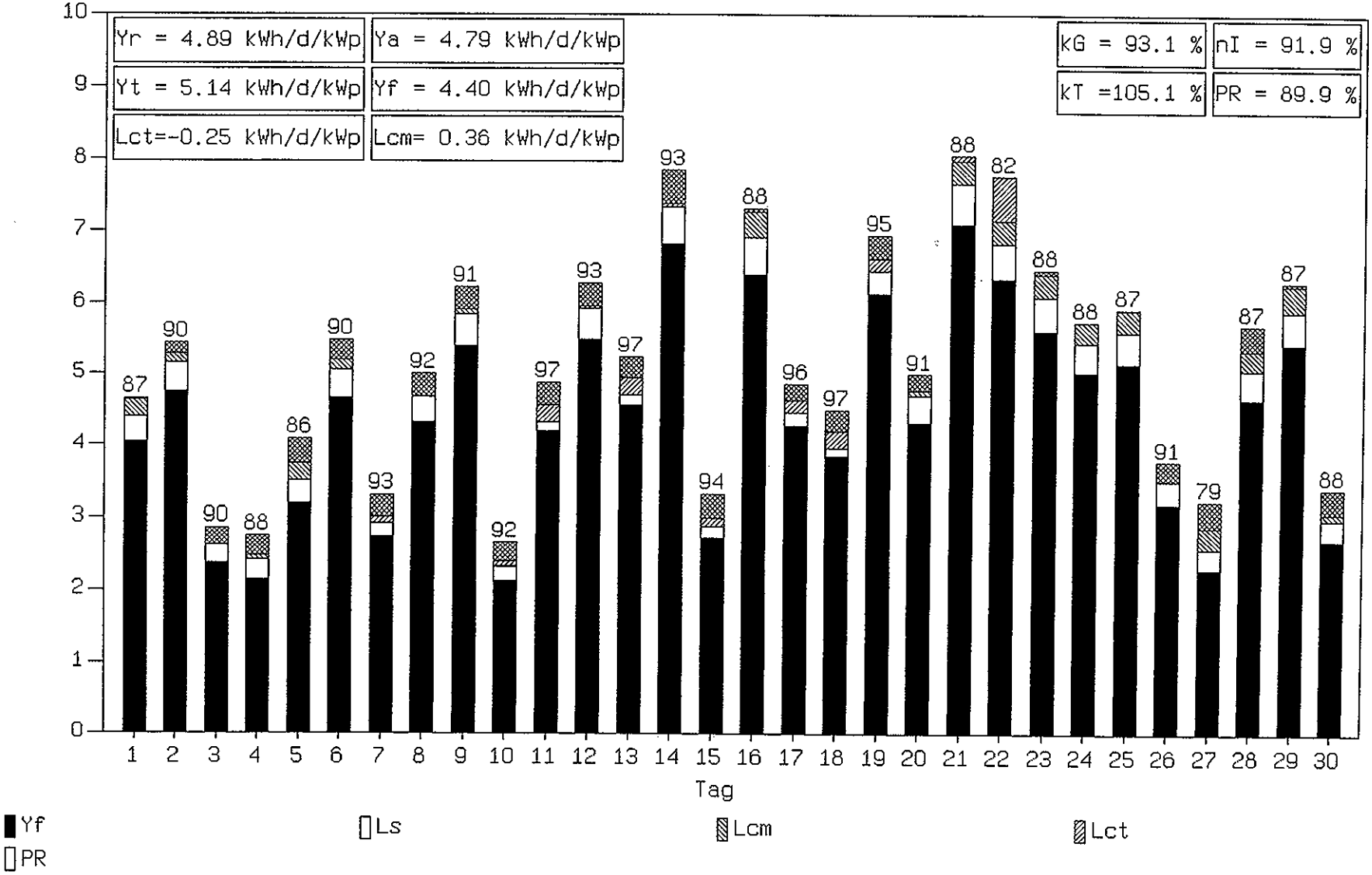
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 4.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



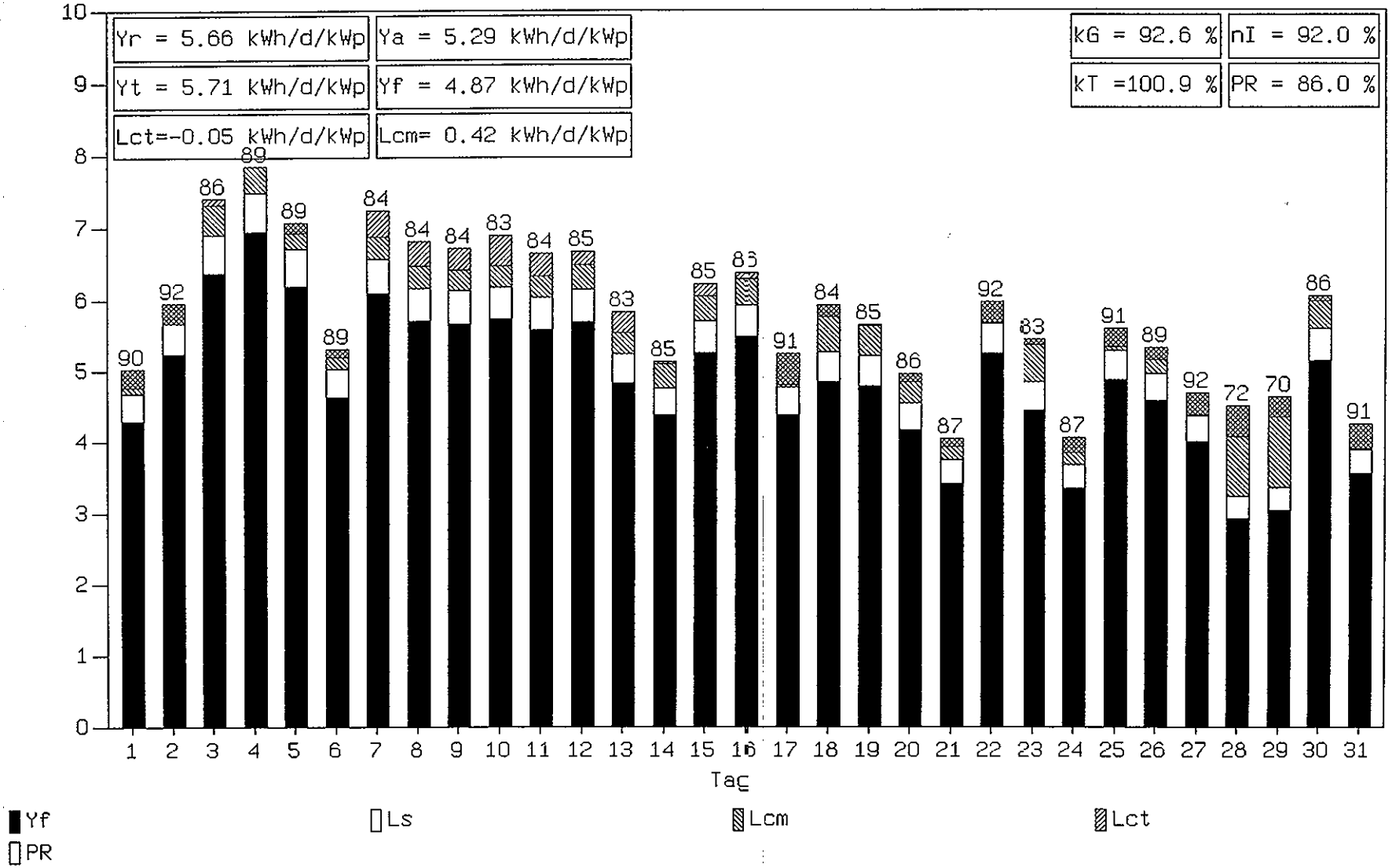
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 5.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



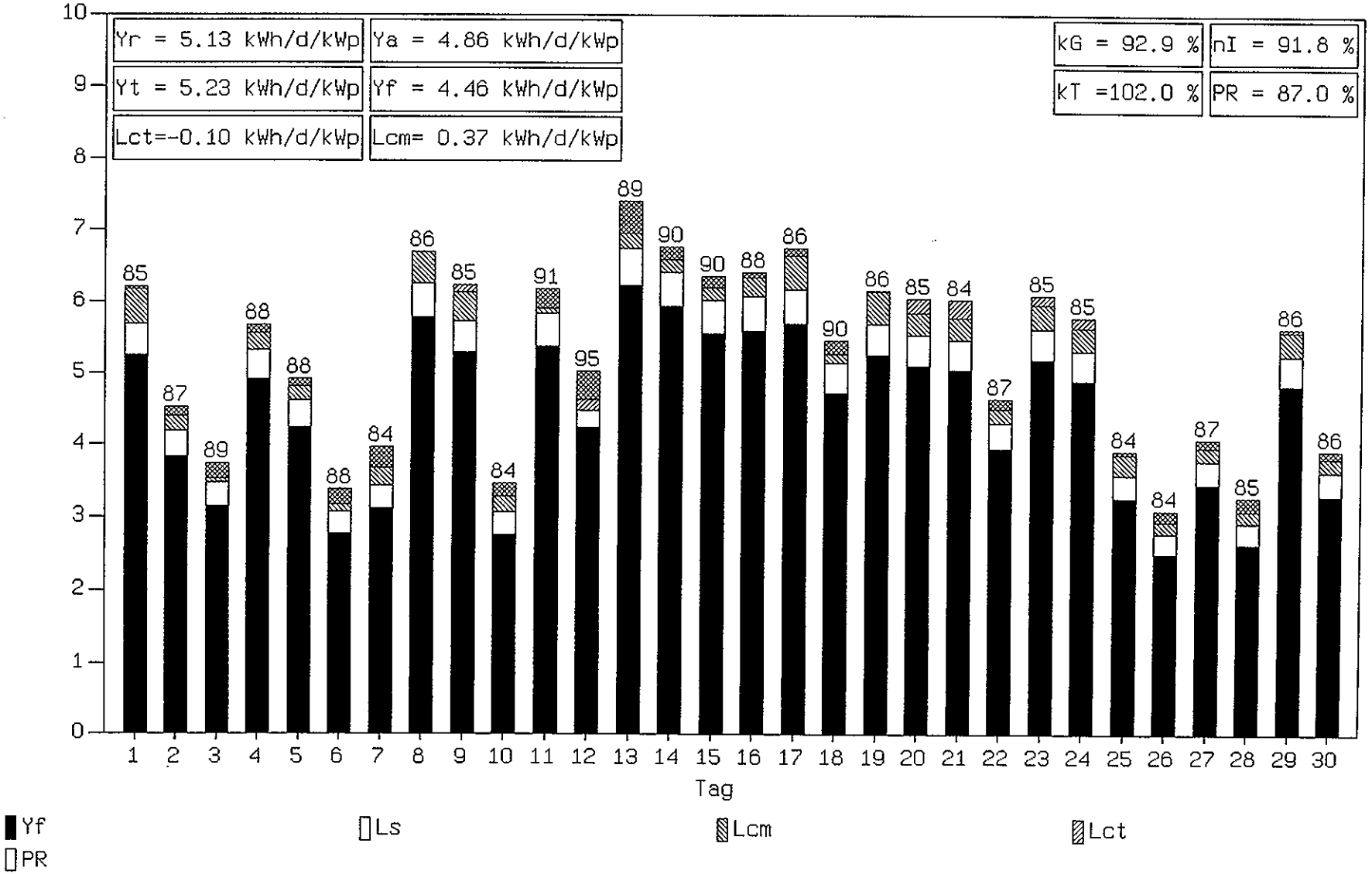
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 6.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



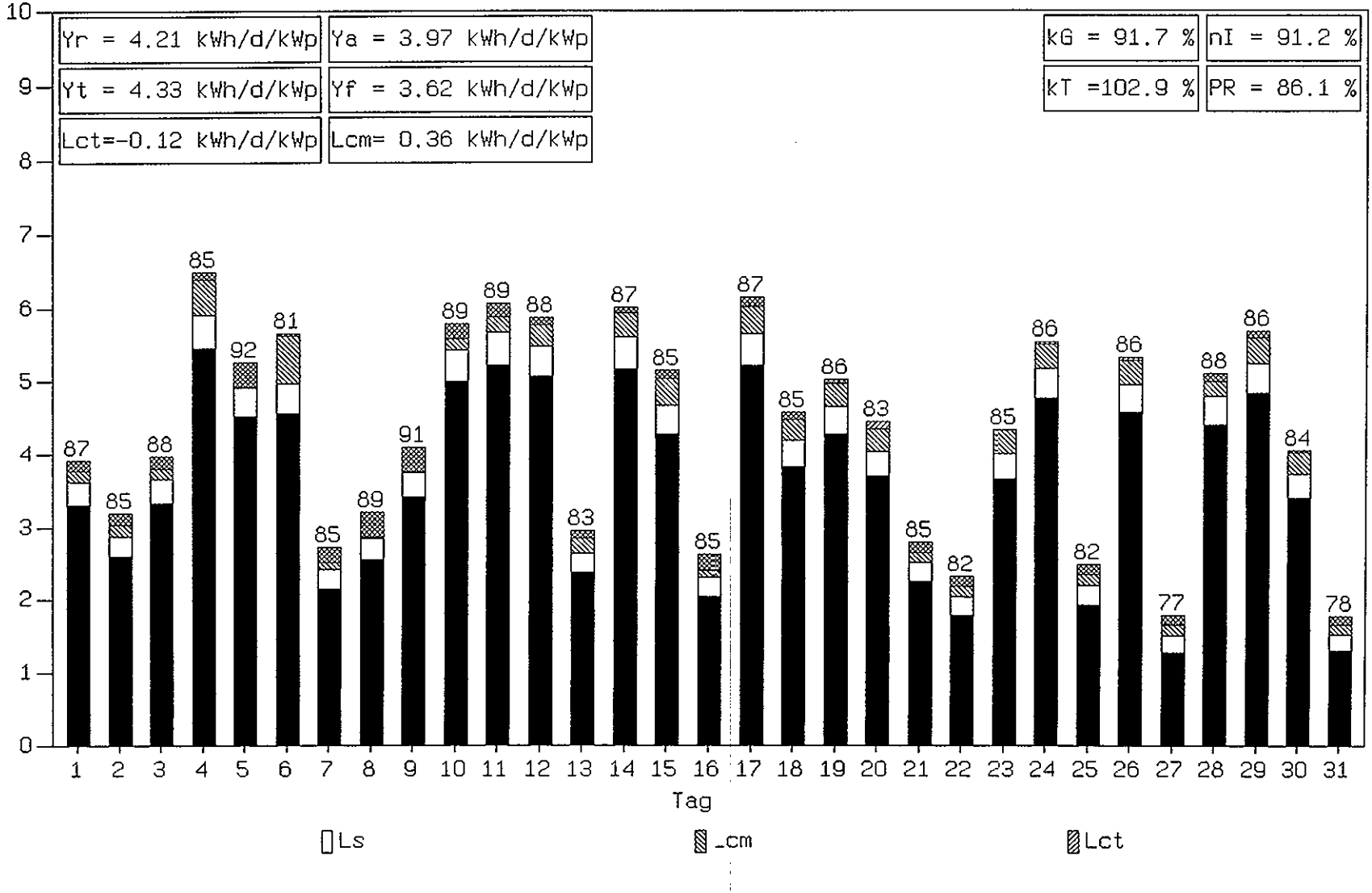
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 7.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



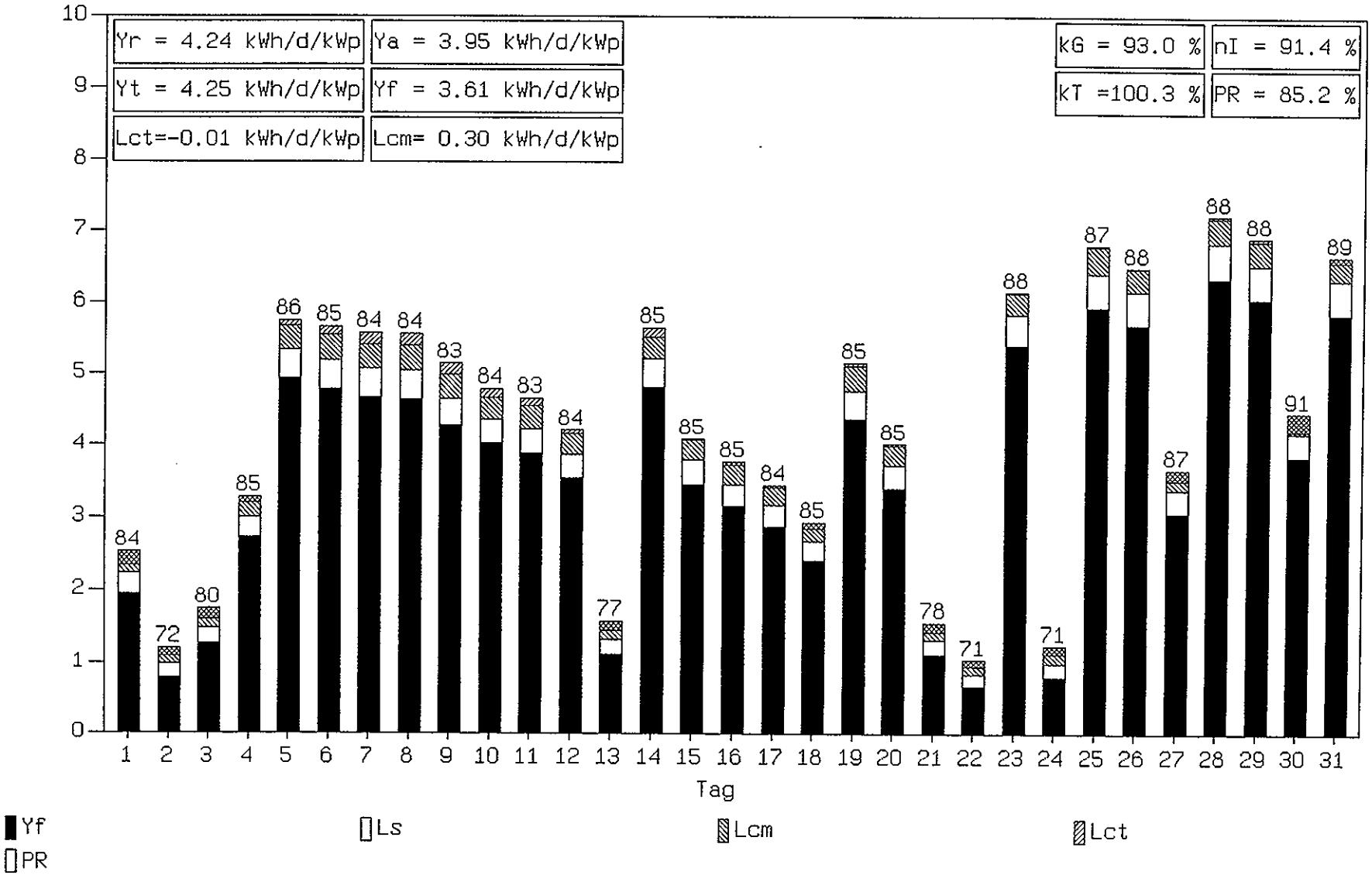
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 8.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



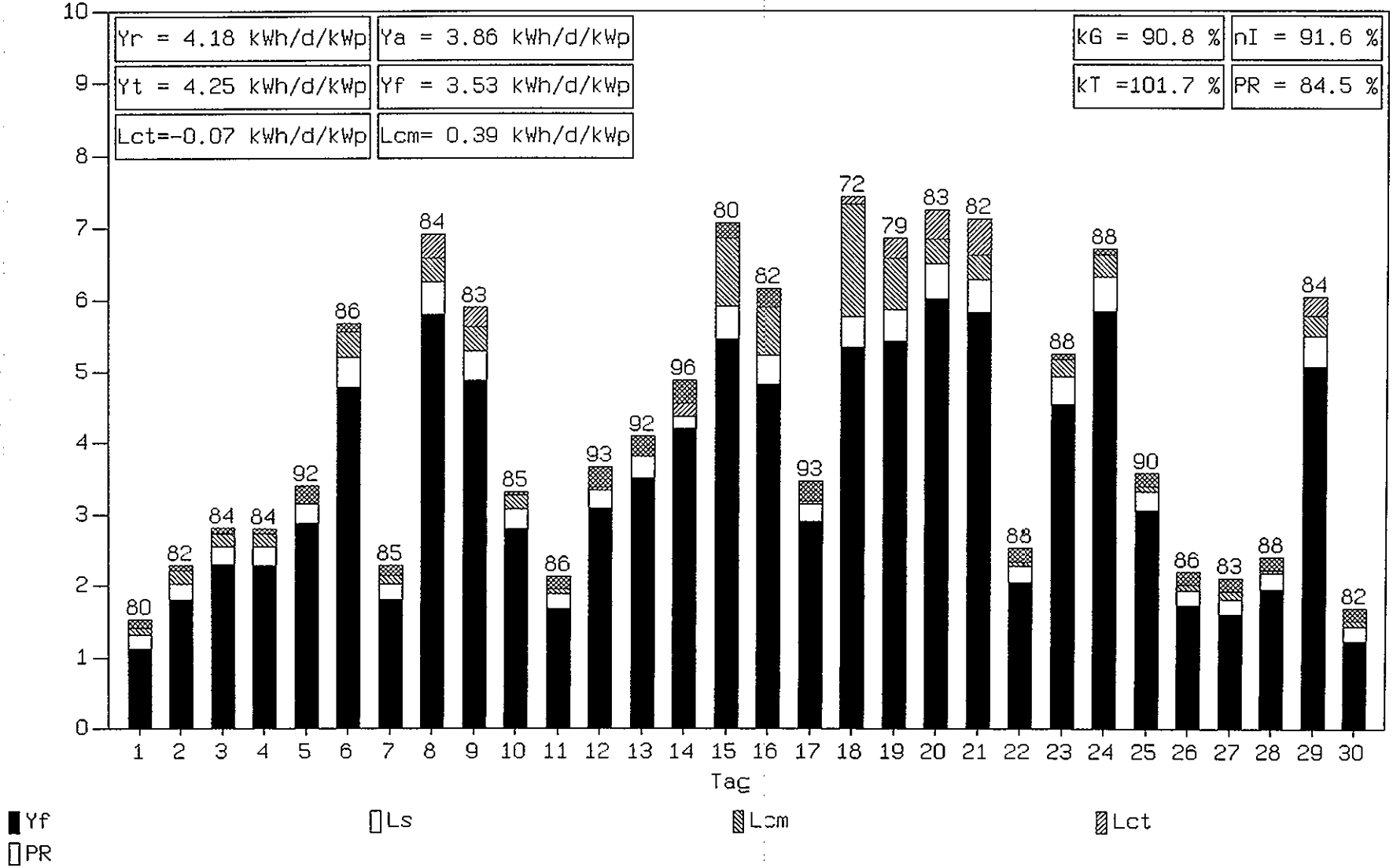
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 9.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



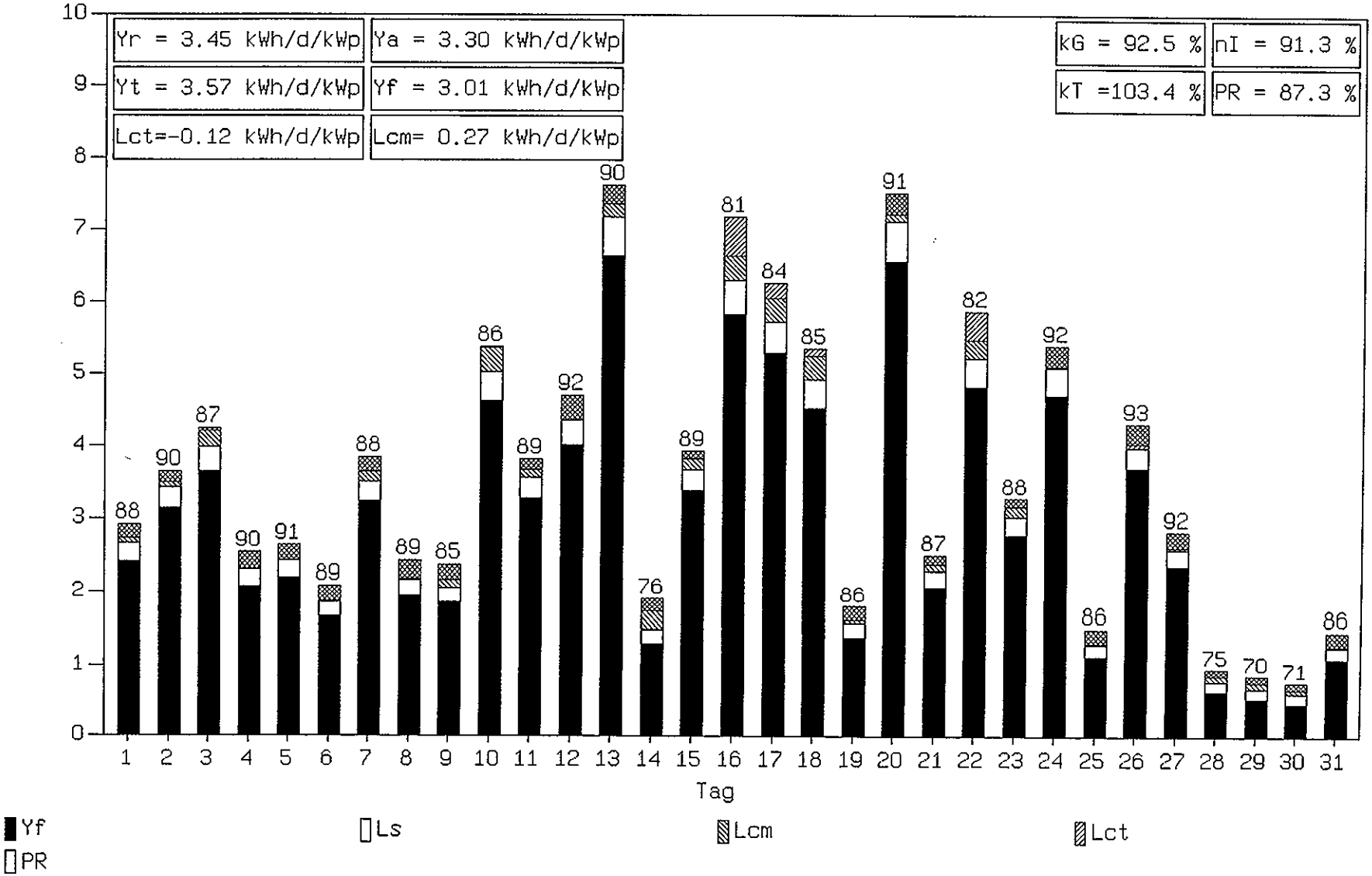
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 10.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



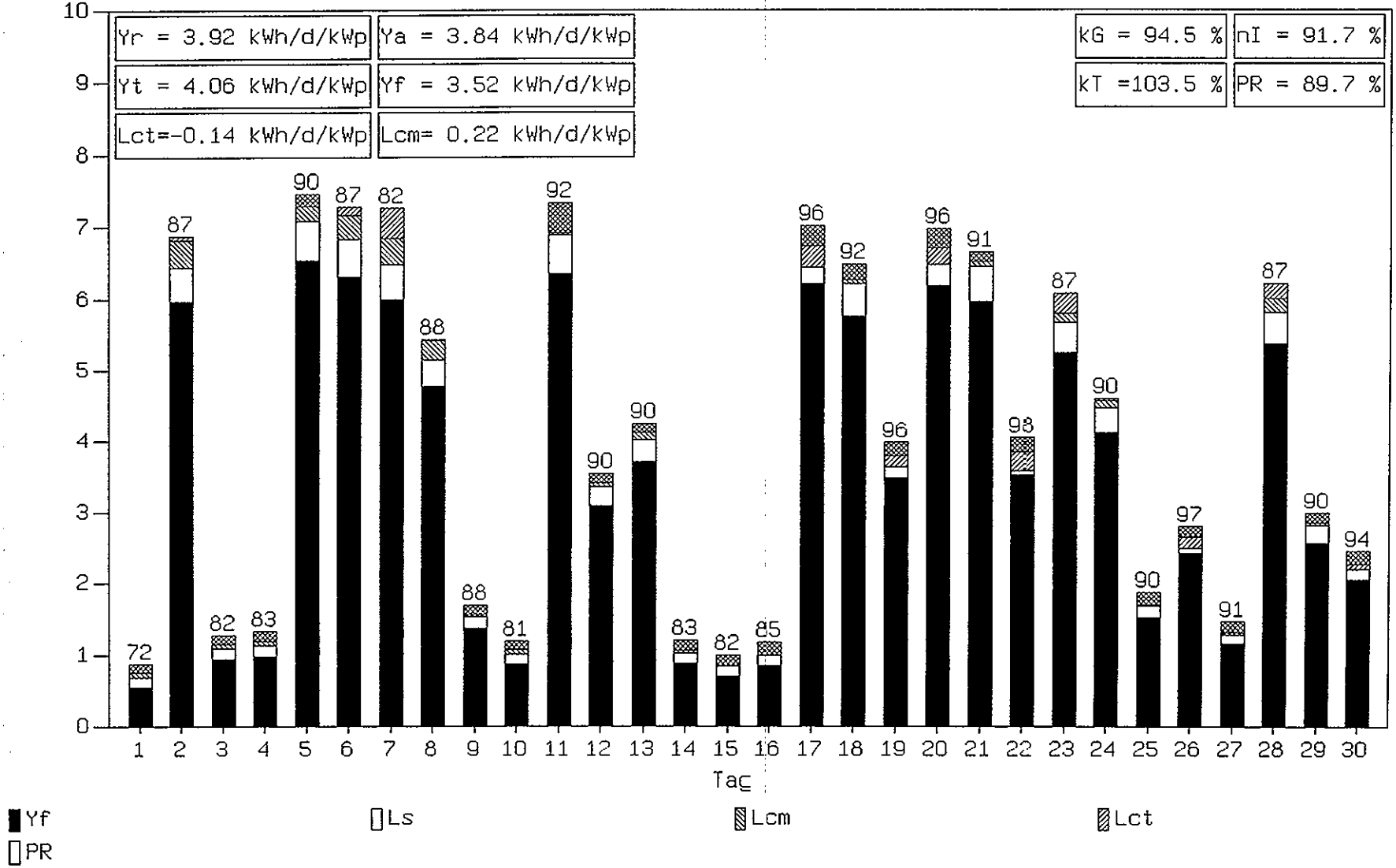
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 11.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



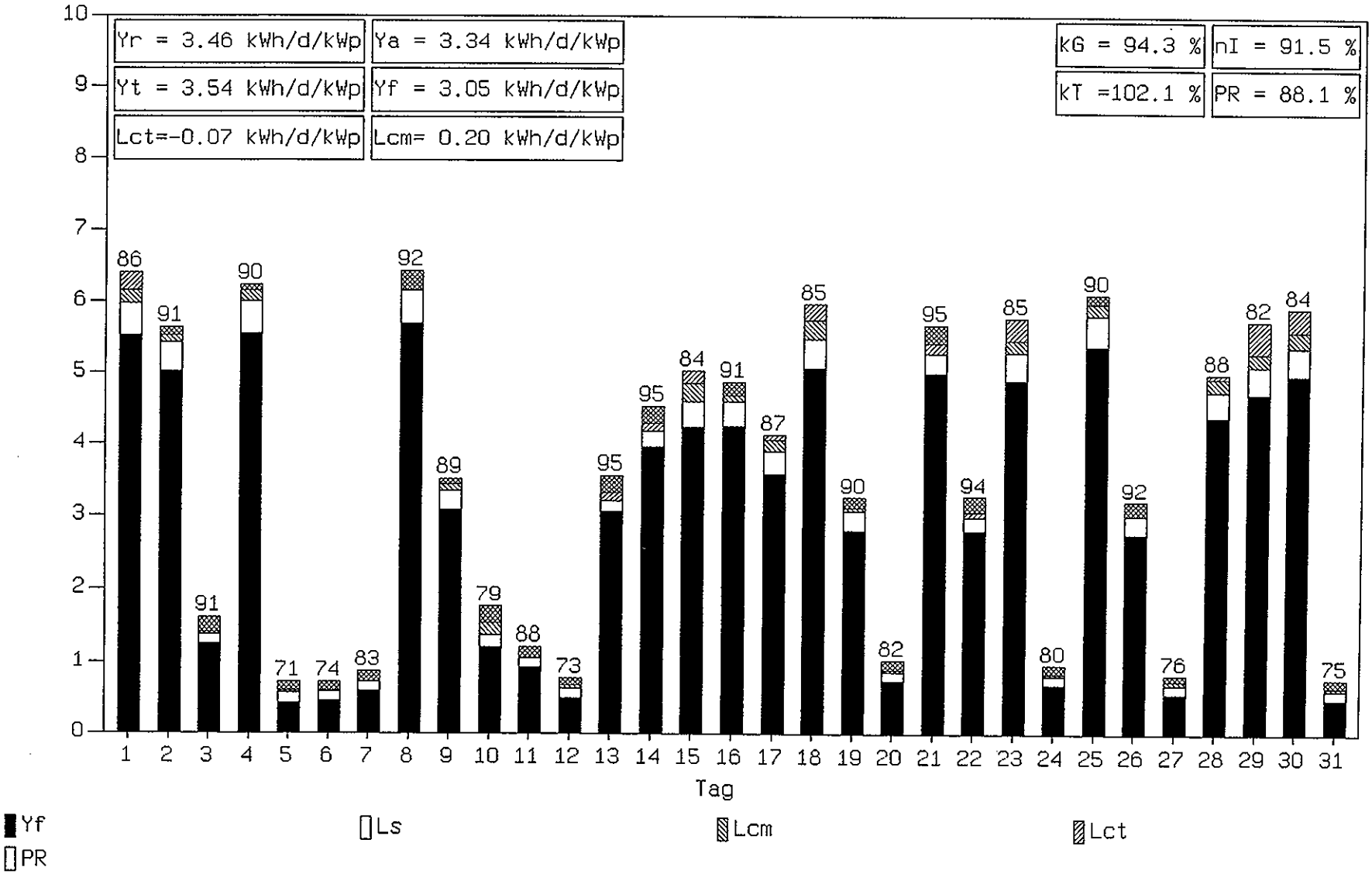
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 12.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



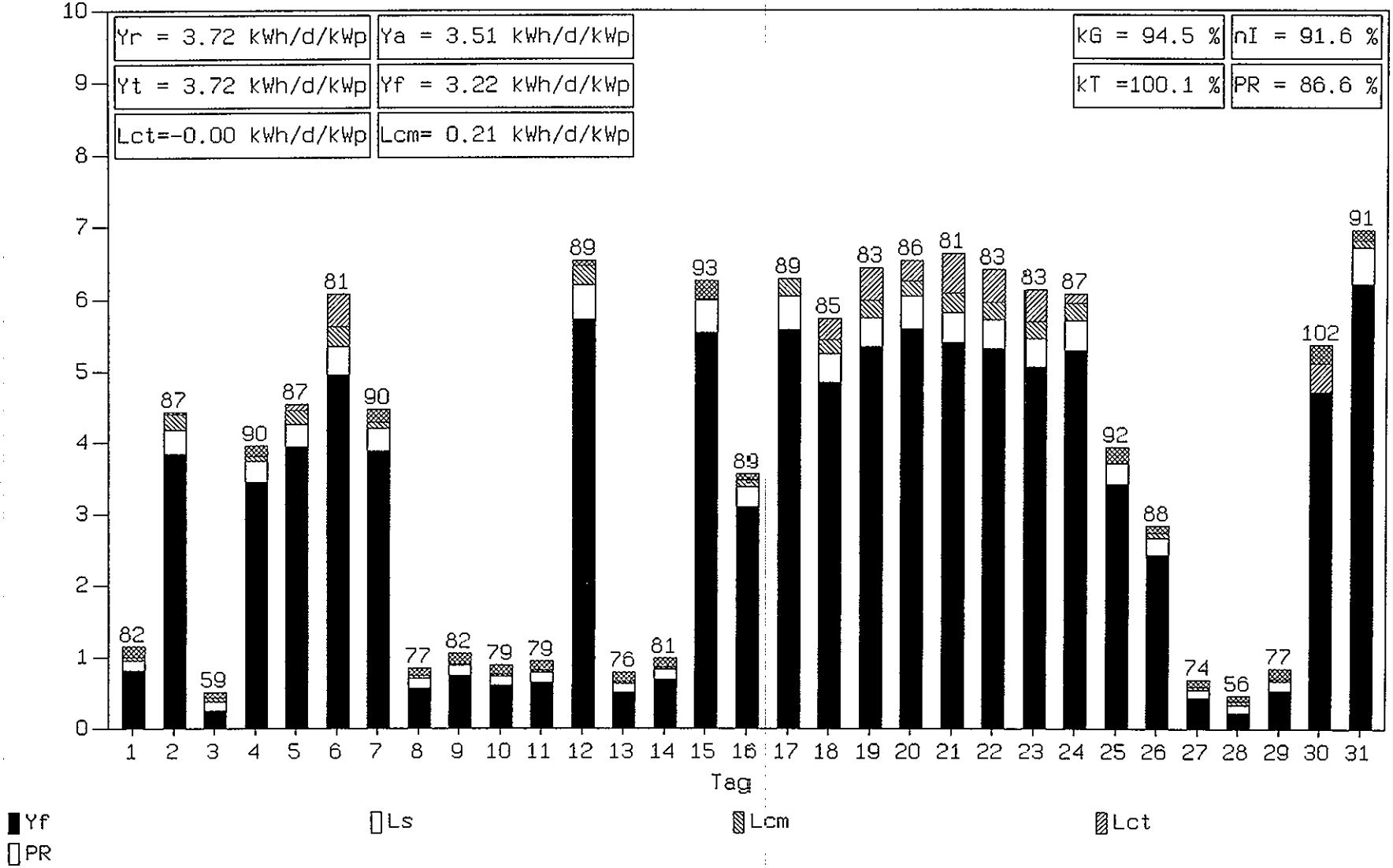
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 1.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



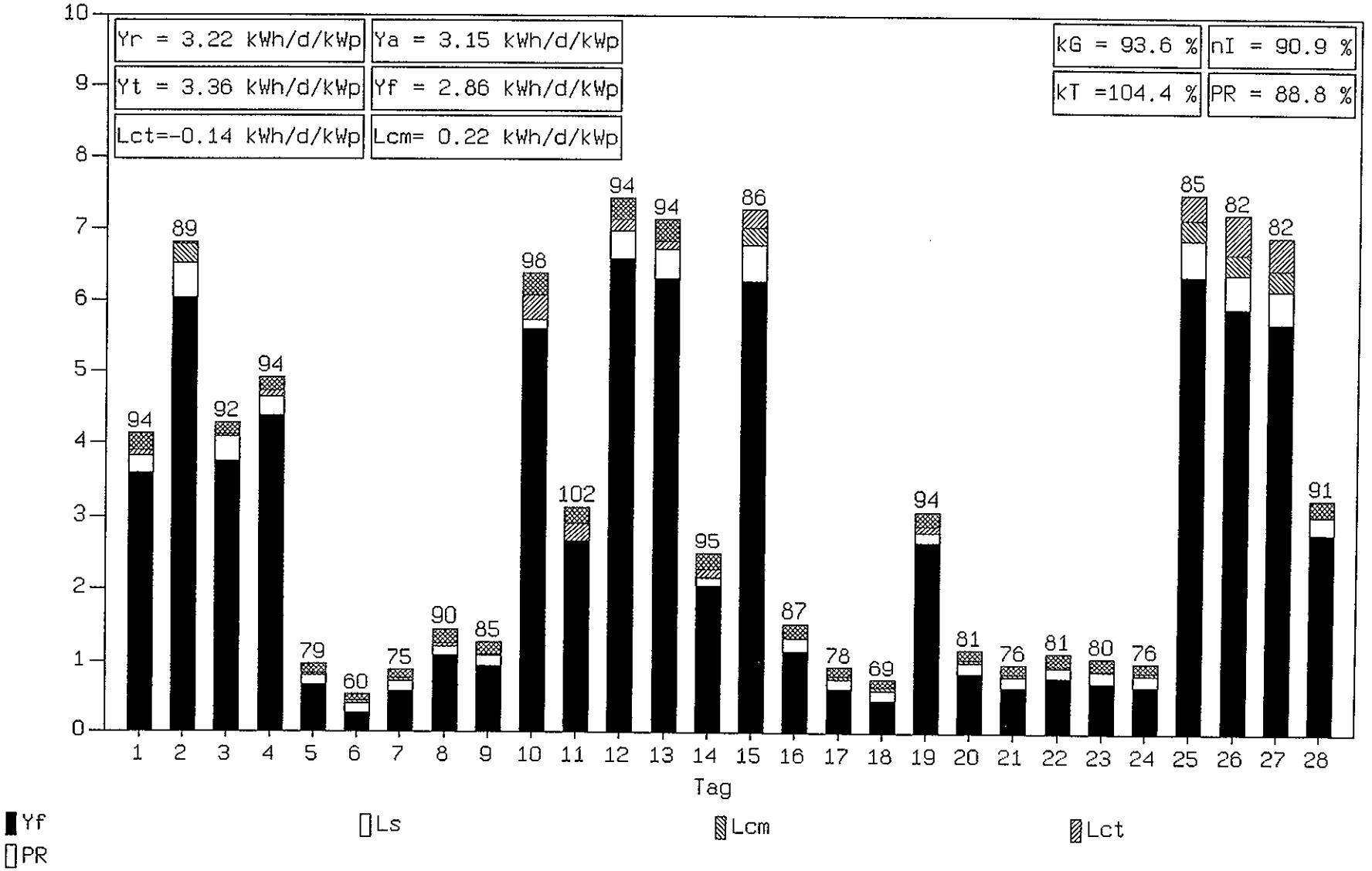
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 2.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



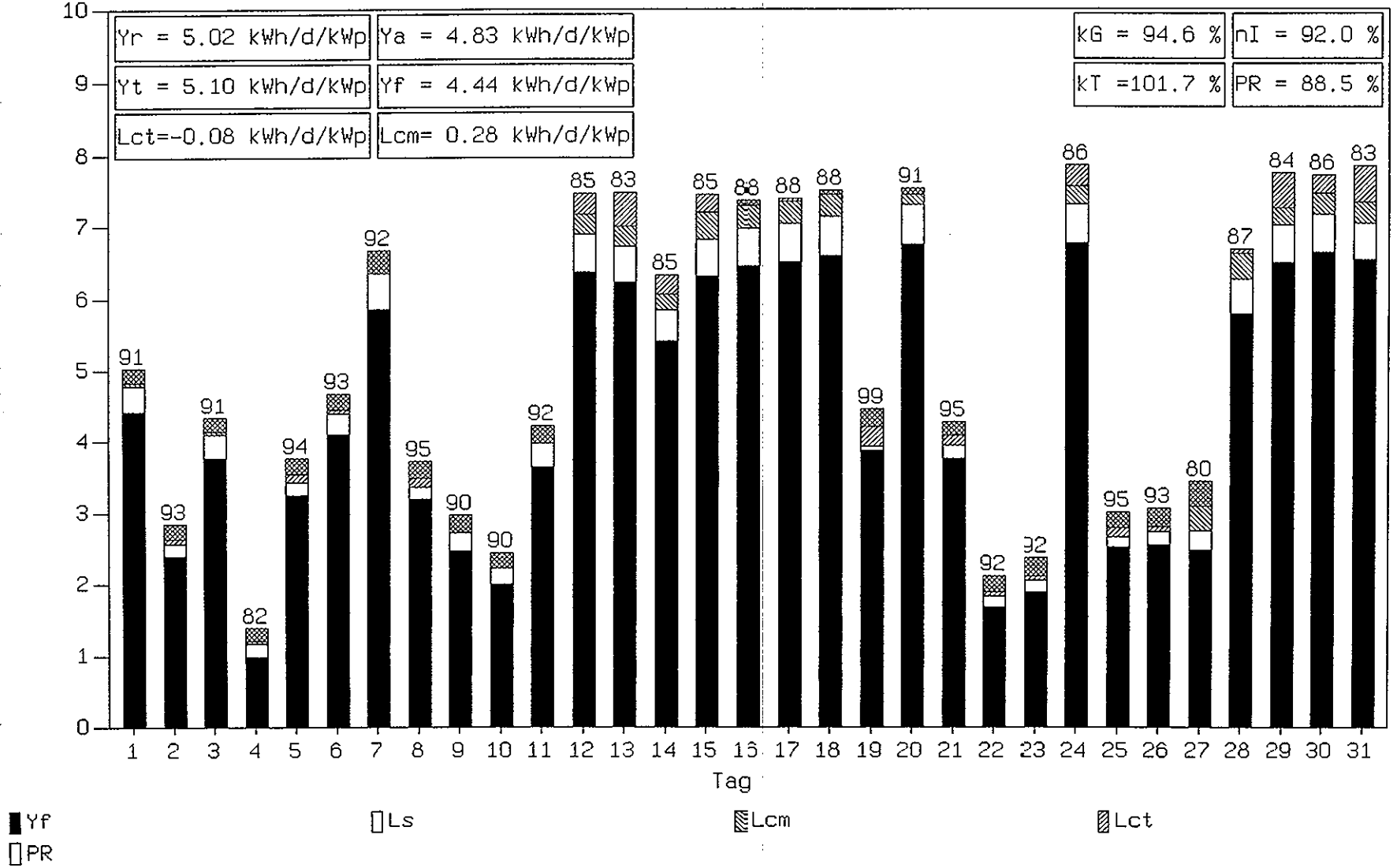
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 3.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



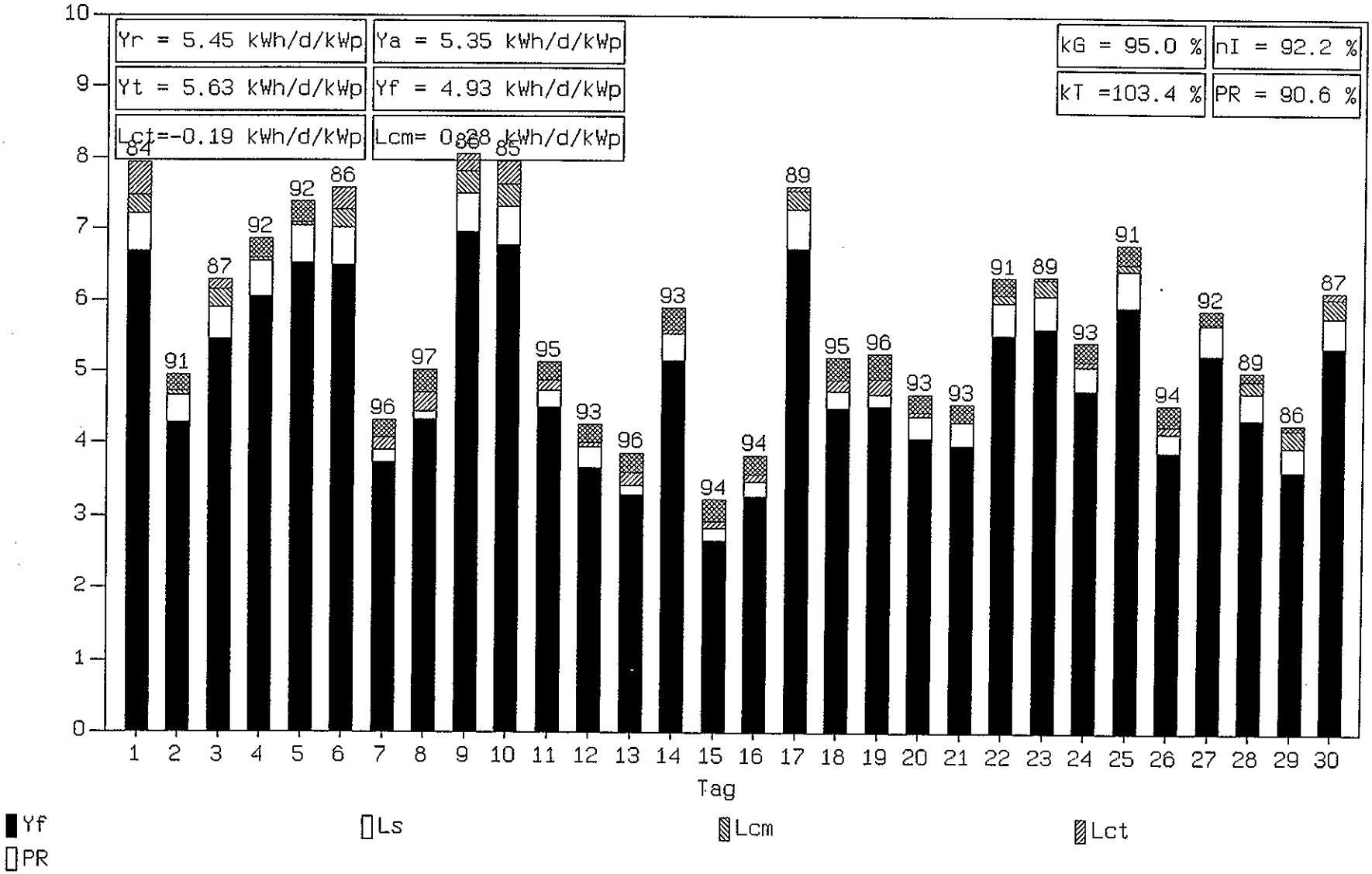
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 4.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



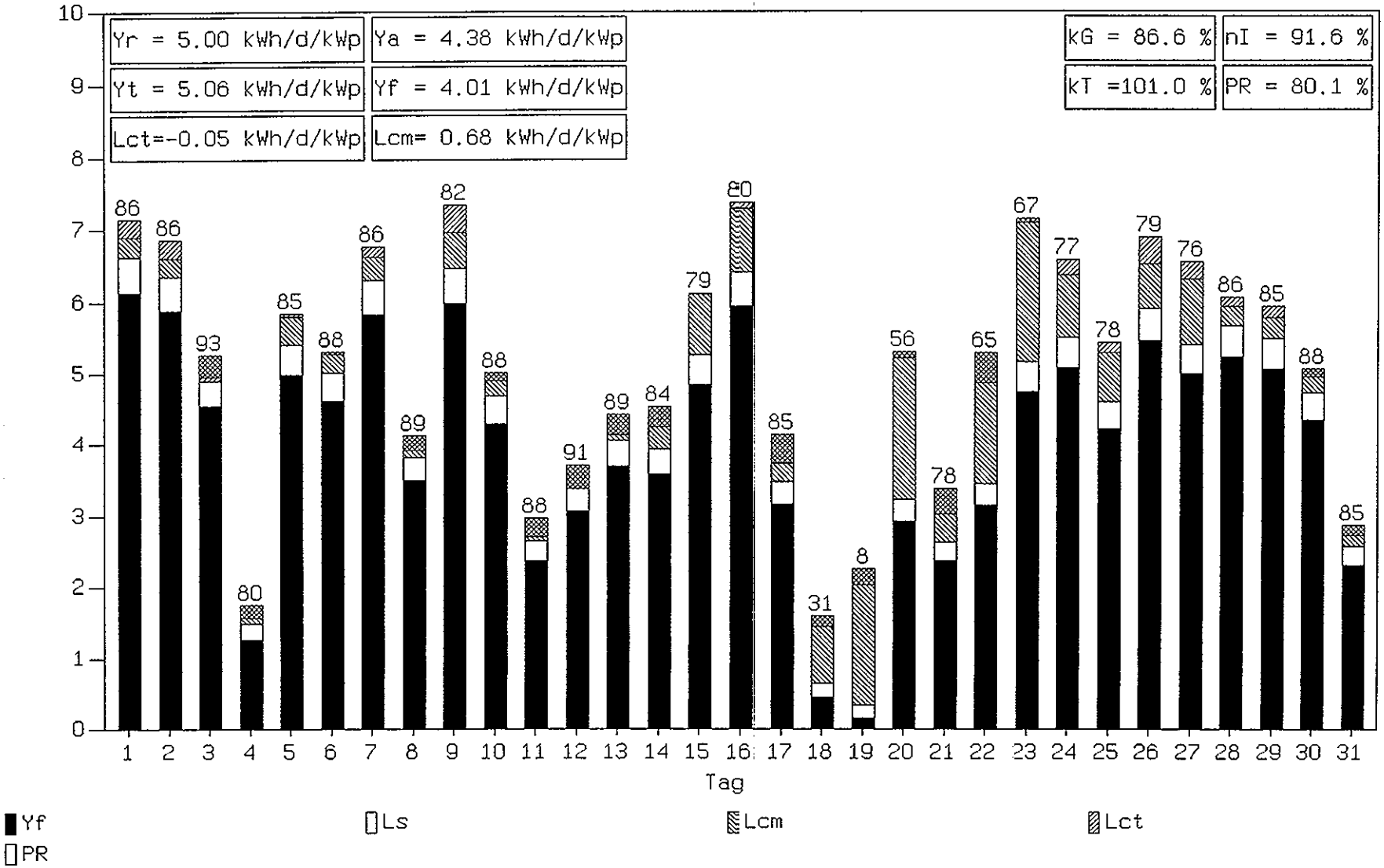
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 5.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)



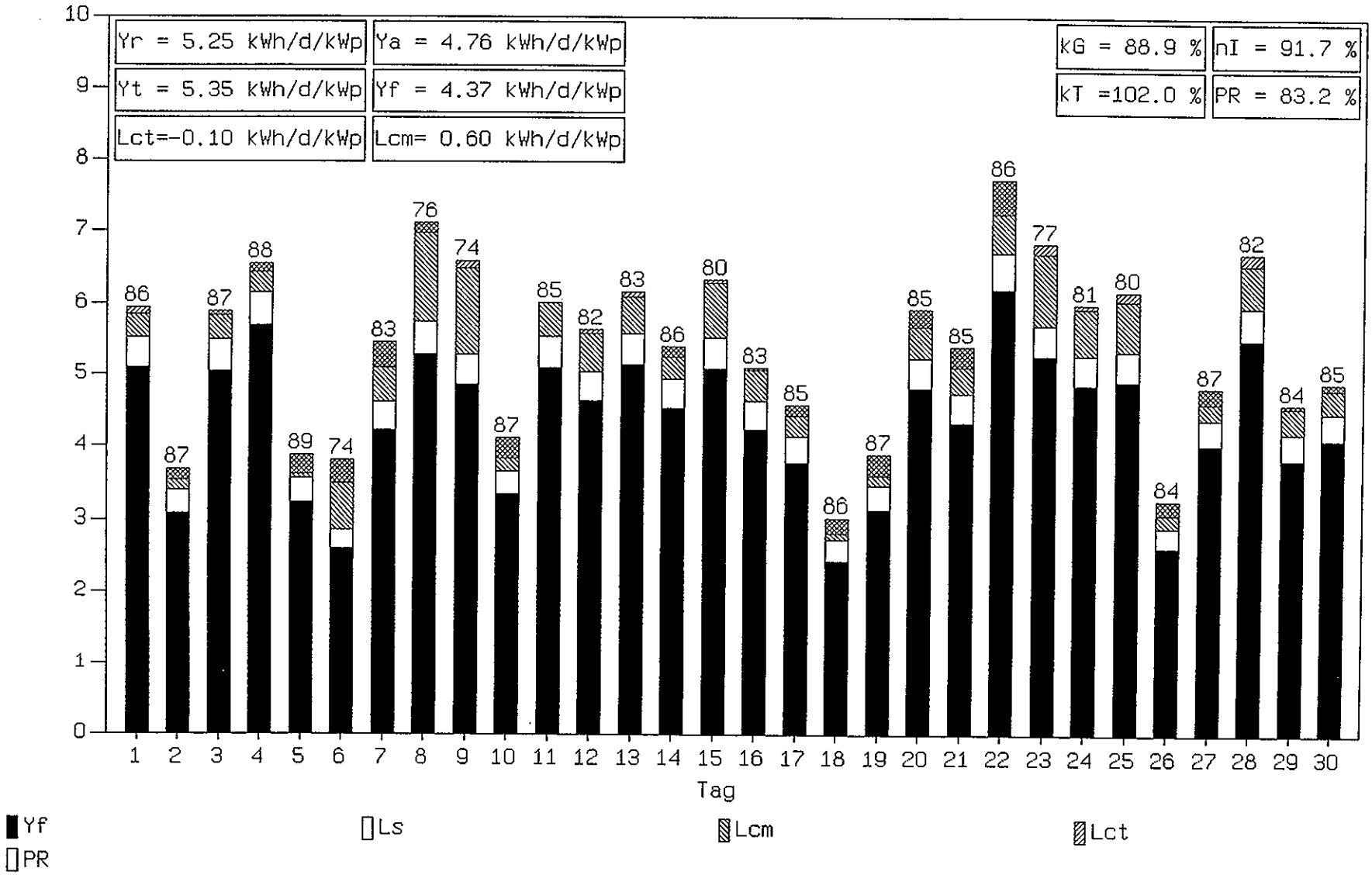
Ingenieurschule Burgdorf

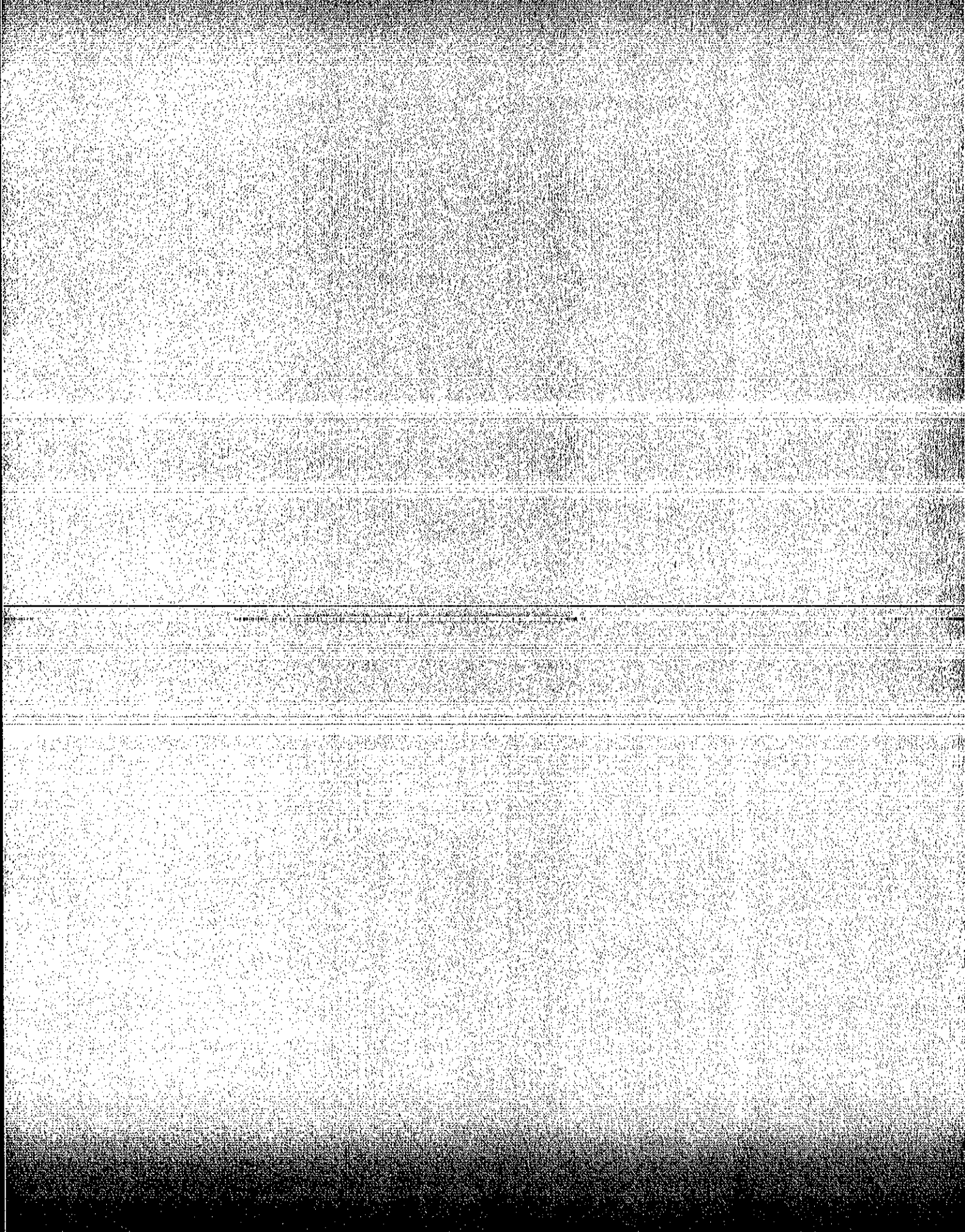
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: Jungfraujoch Monat: 6.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=1130Wp)

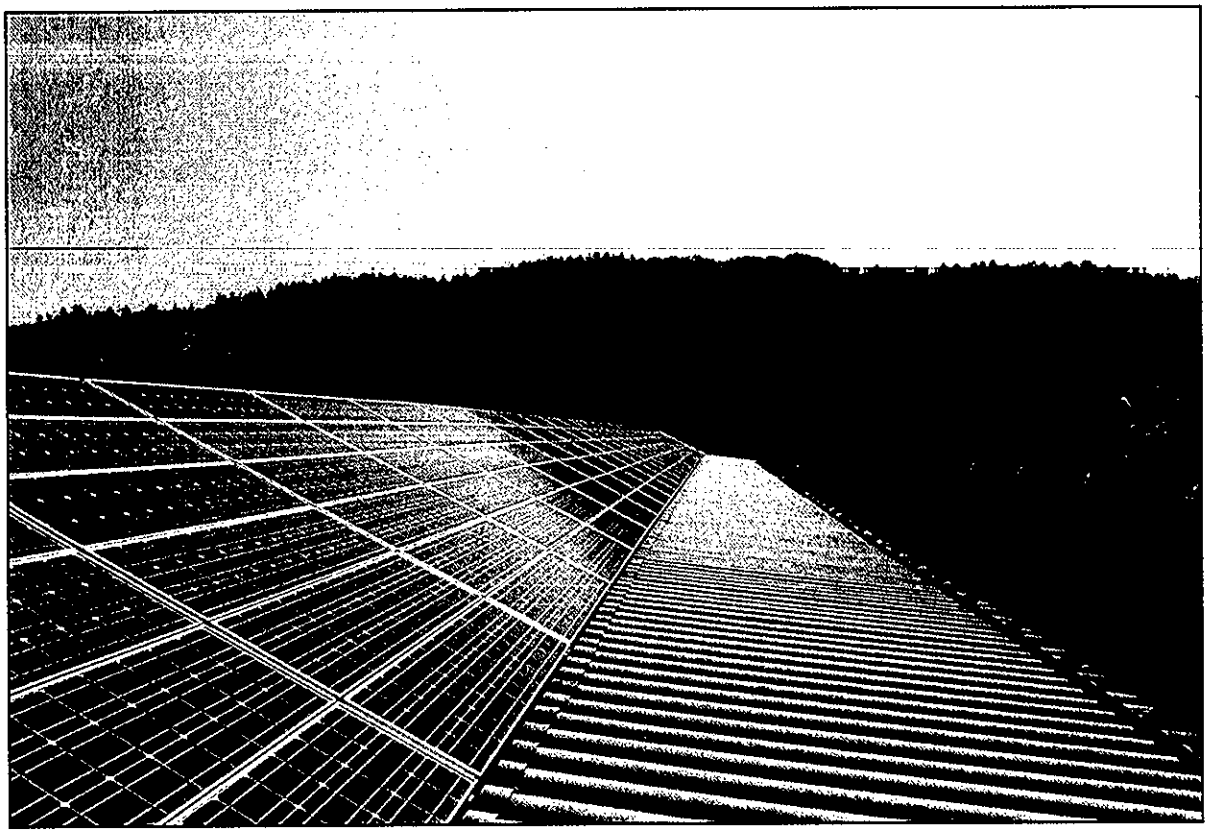




4 Schlossmatt 8, Burgdorf

Technische Angaben zur Anlage		
Ort:	Schlossmattschulhaus, Grunerstrasse 7, 3400 Burgdorf; 540 m.ü.M.	
Inbetriebnahme:	17.03.1995	
Solargenerator:		
Module:	Siemens M55 (60 Stück)	
Feldleistung:	3180 Wp (nominell)	**Neigung:** 30° (Schrägdachaufständerung)
Bruttofläche:	25,6 m^2	**Ausrichtung:** 7° Ost
Wechselrichter:	Sputnik SolarMaxS	
Messgrössen:		

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer und Referenzzelle
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichstrom und Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung
- Netzspannung



Bei der Anlage Schlossmatt 8 ergaben sich kurzzeitige Messdatenausfälle, die durch einen defekten Datalogger DT50 verursacht wurden. Das Gerät wurde ersetzt.

Durch den Defekt ergaben sich folgende Ausfallzeiten:

10.12.97 – 19.12.97

23.08.98 – 01.09.98

17.09.98 – 02.10.98

Ingenieurschule Burgdorf

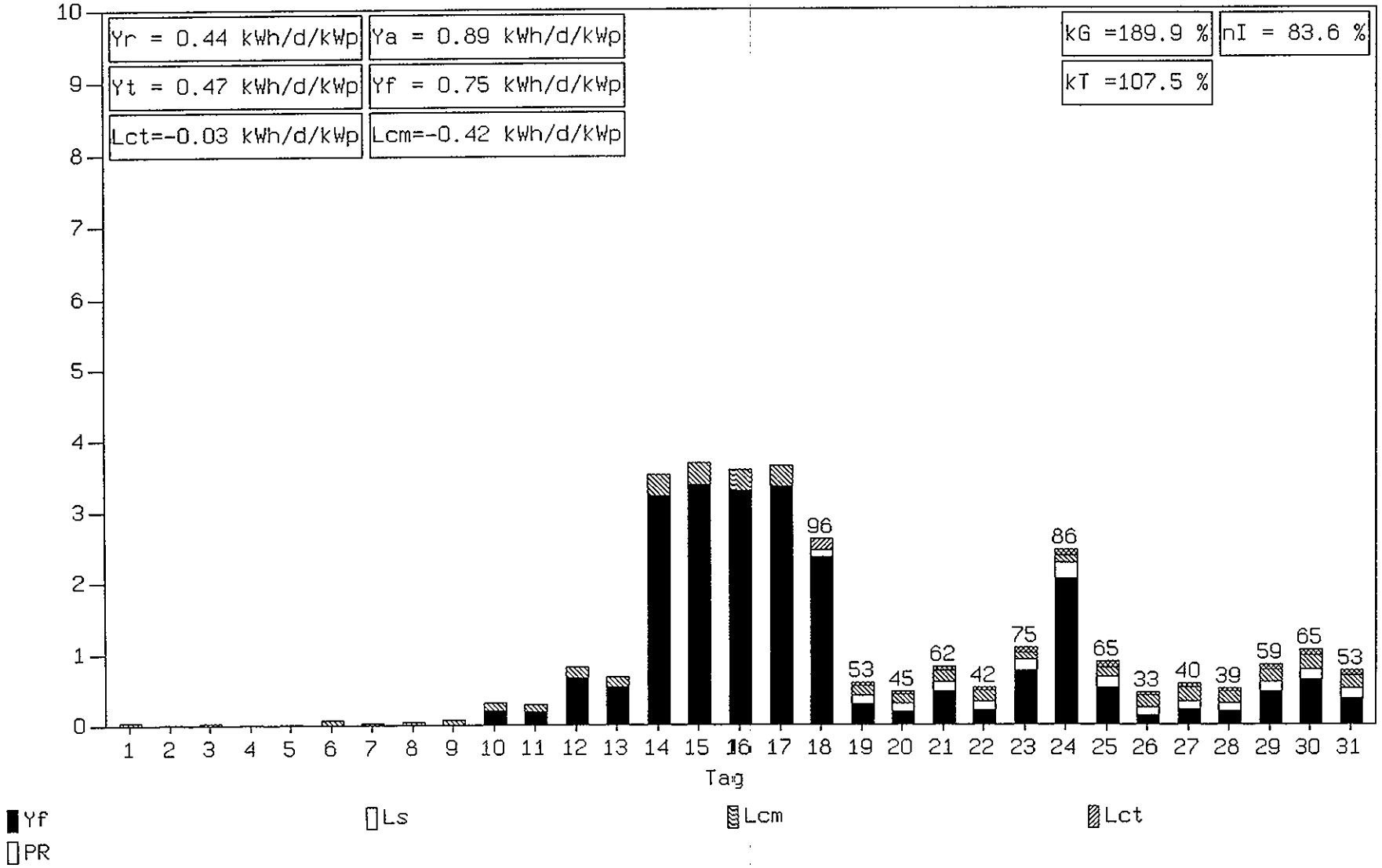
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 1.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

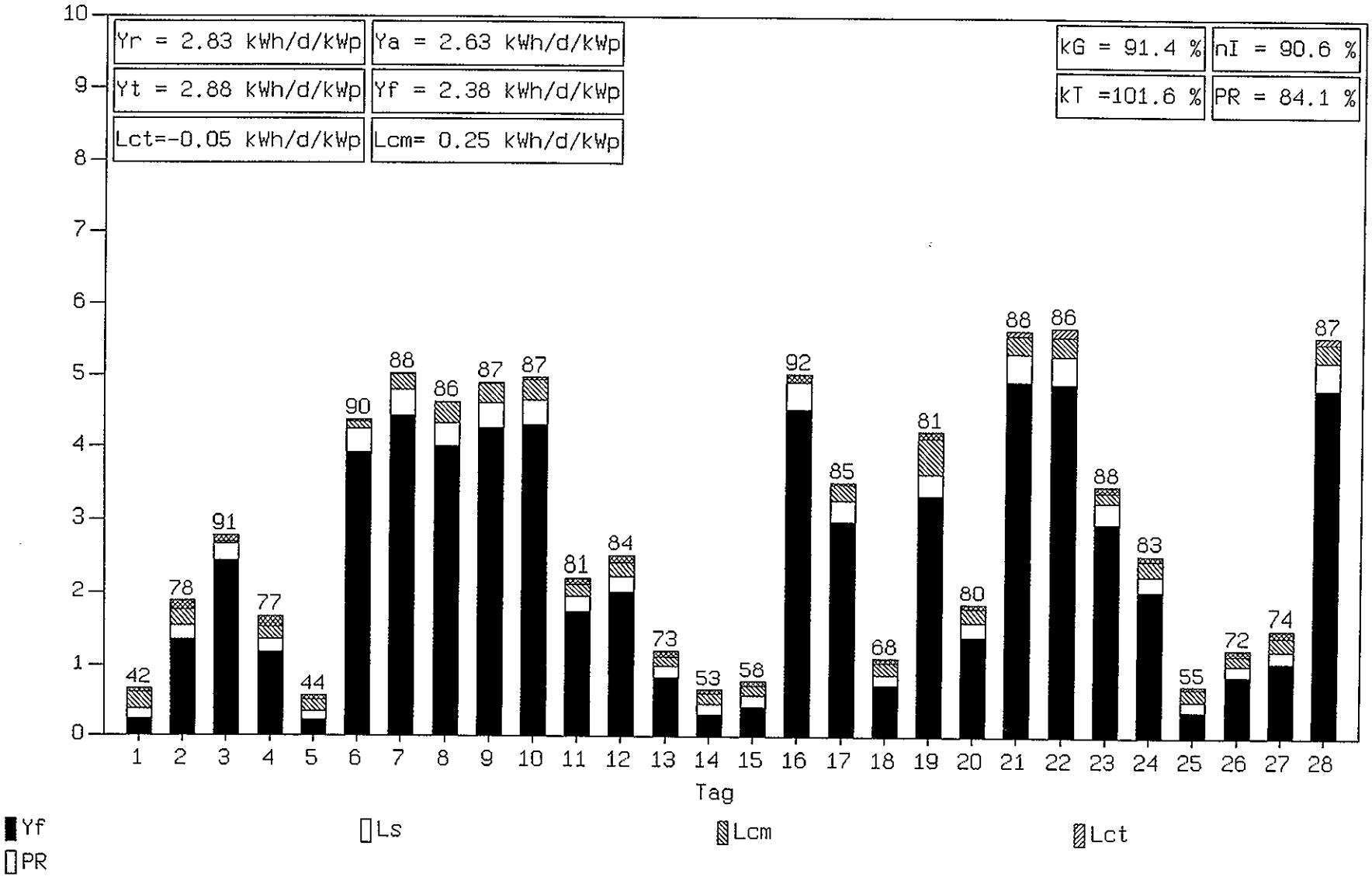
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 2.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

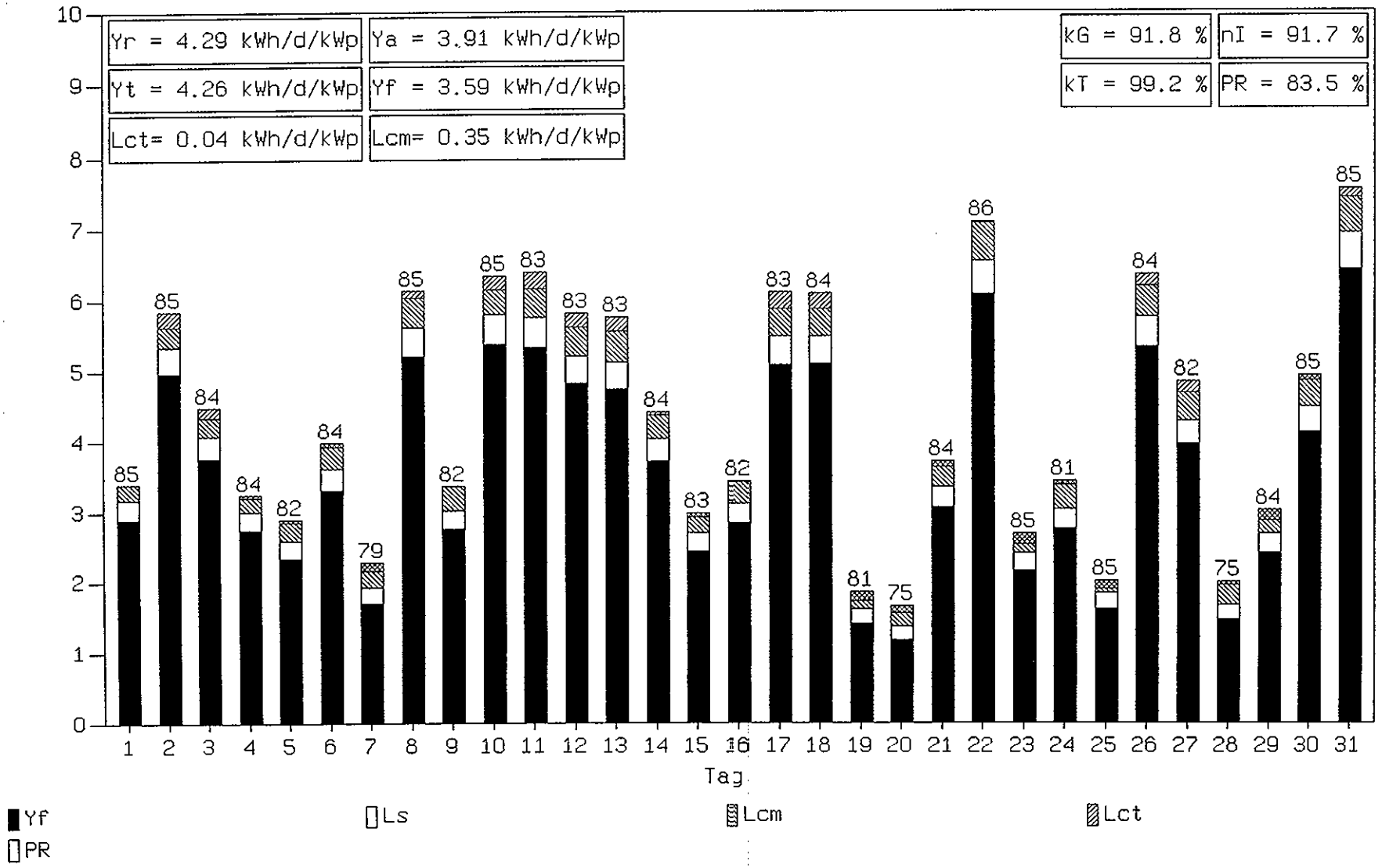
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 3.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

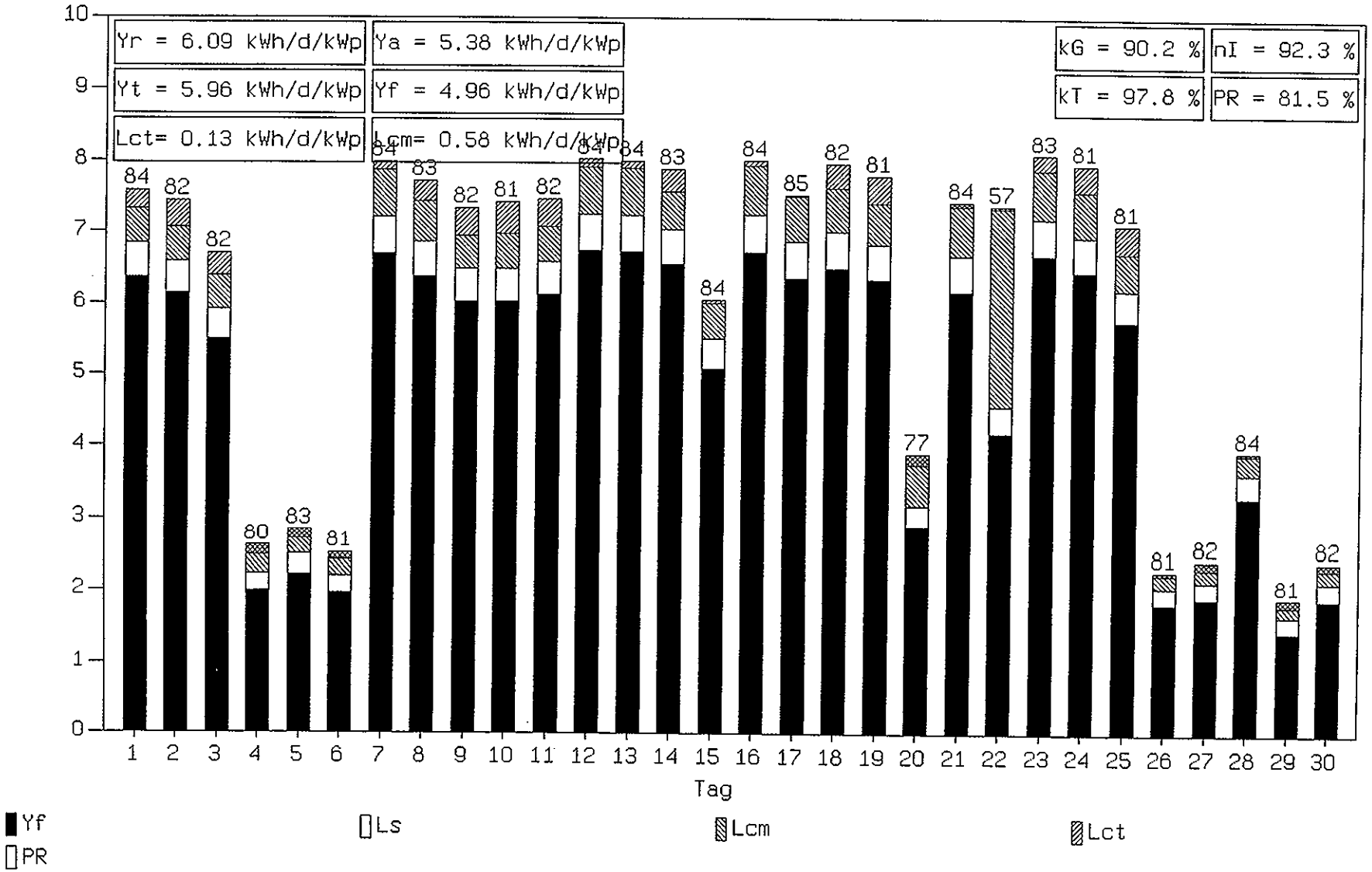
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 4.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

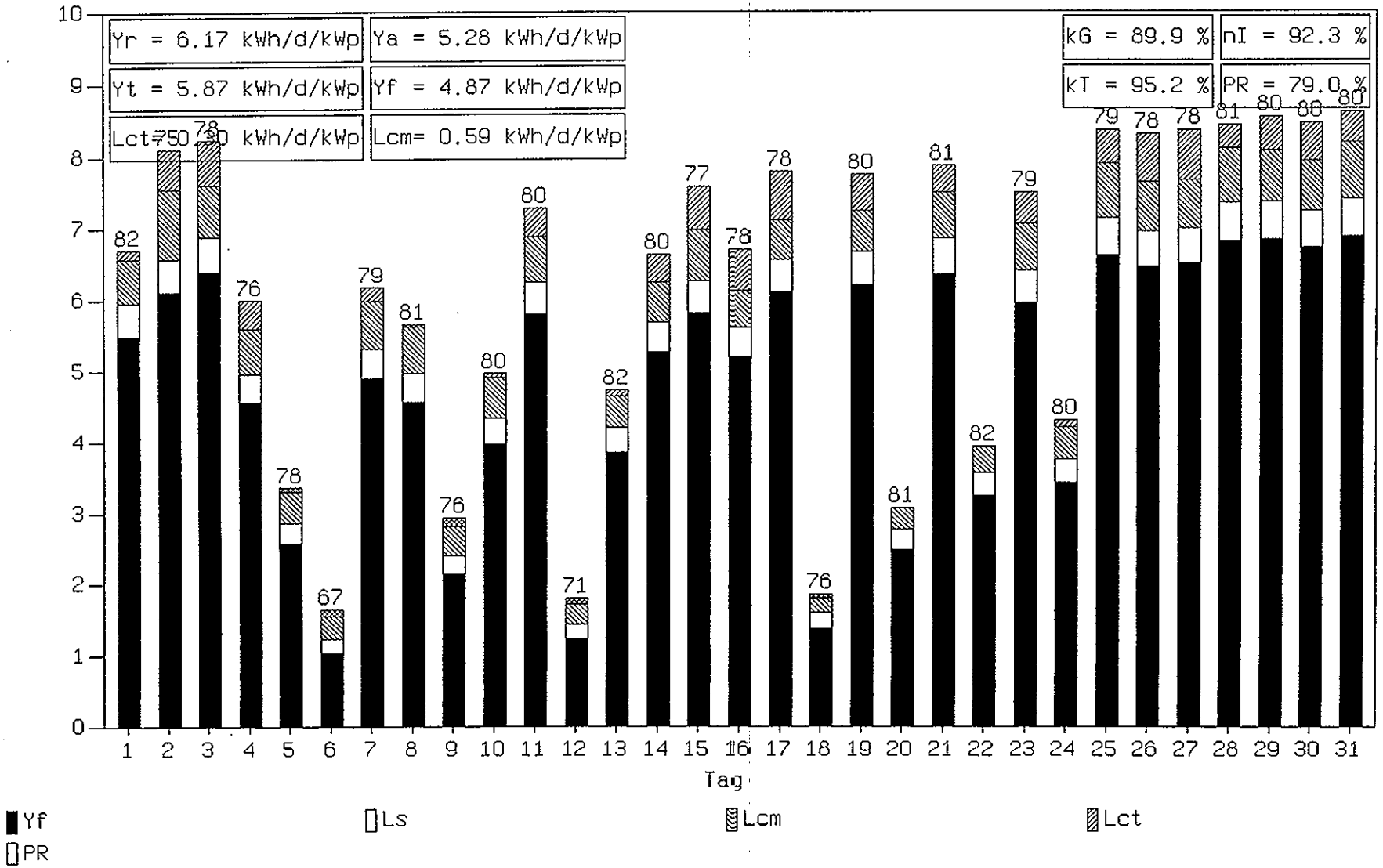
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 5.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

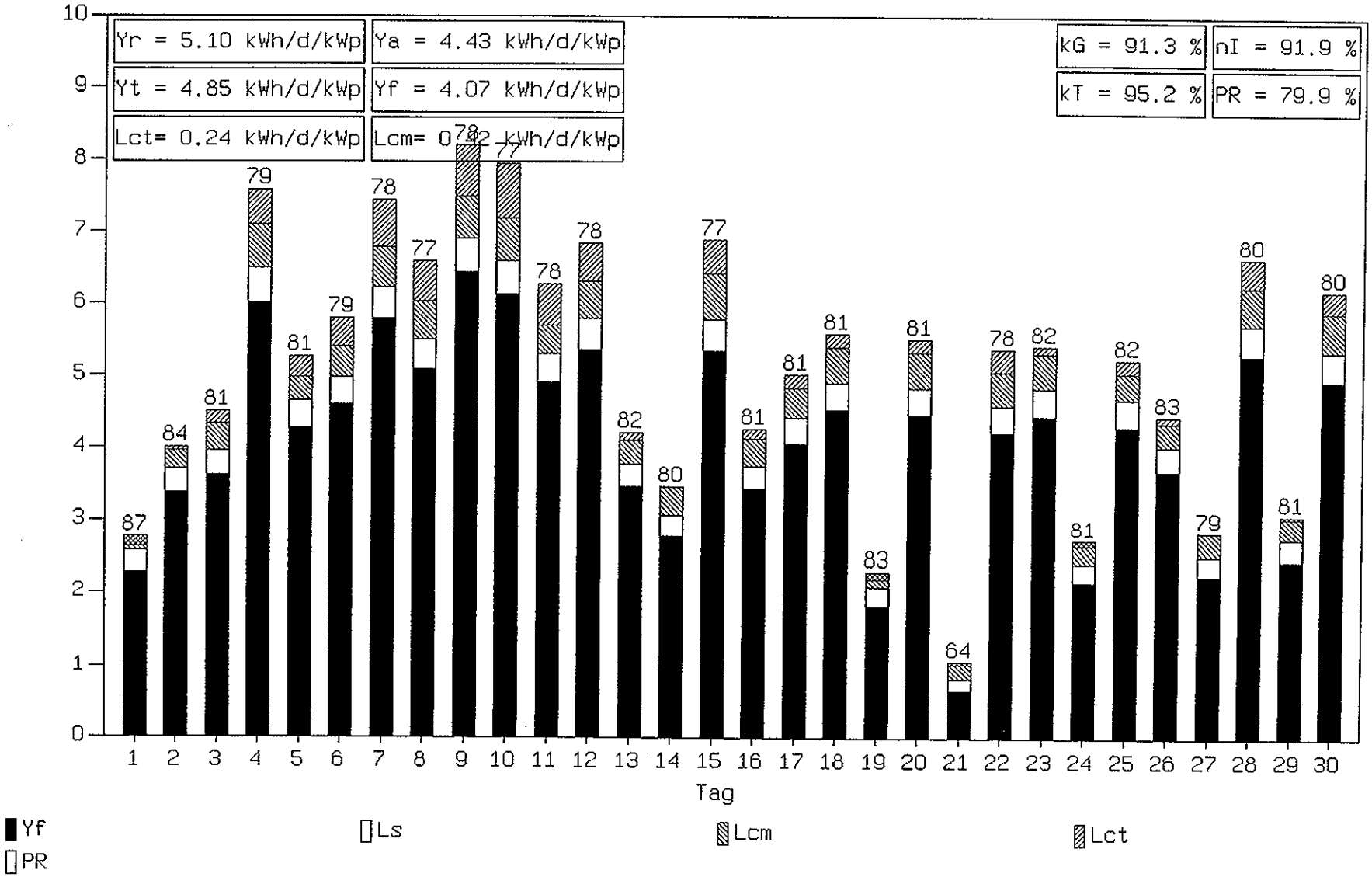
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 6.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

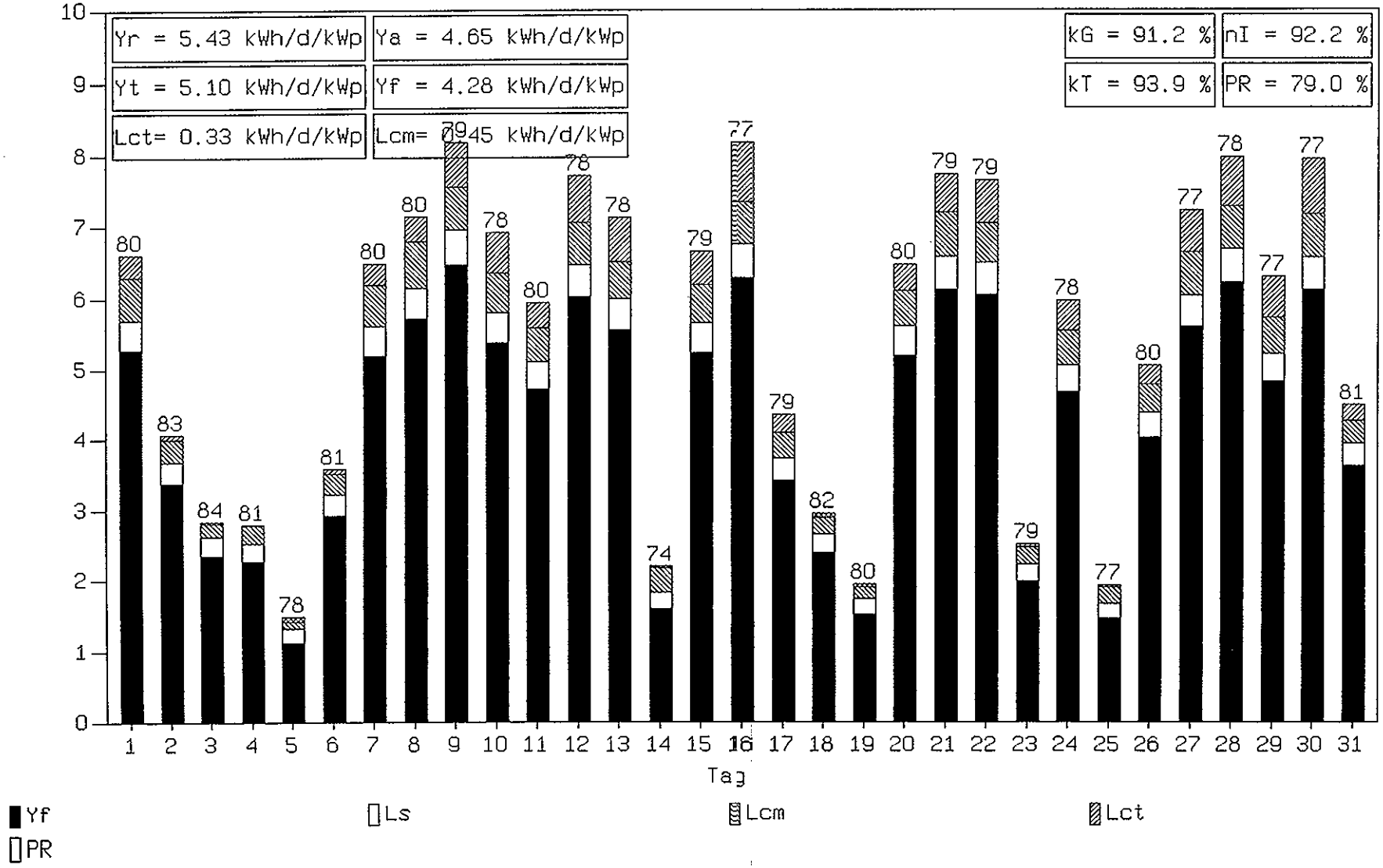
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (ɔc)

Monat: 7.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

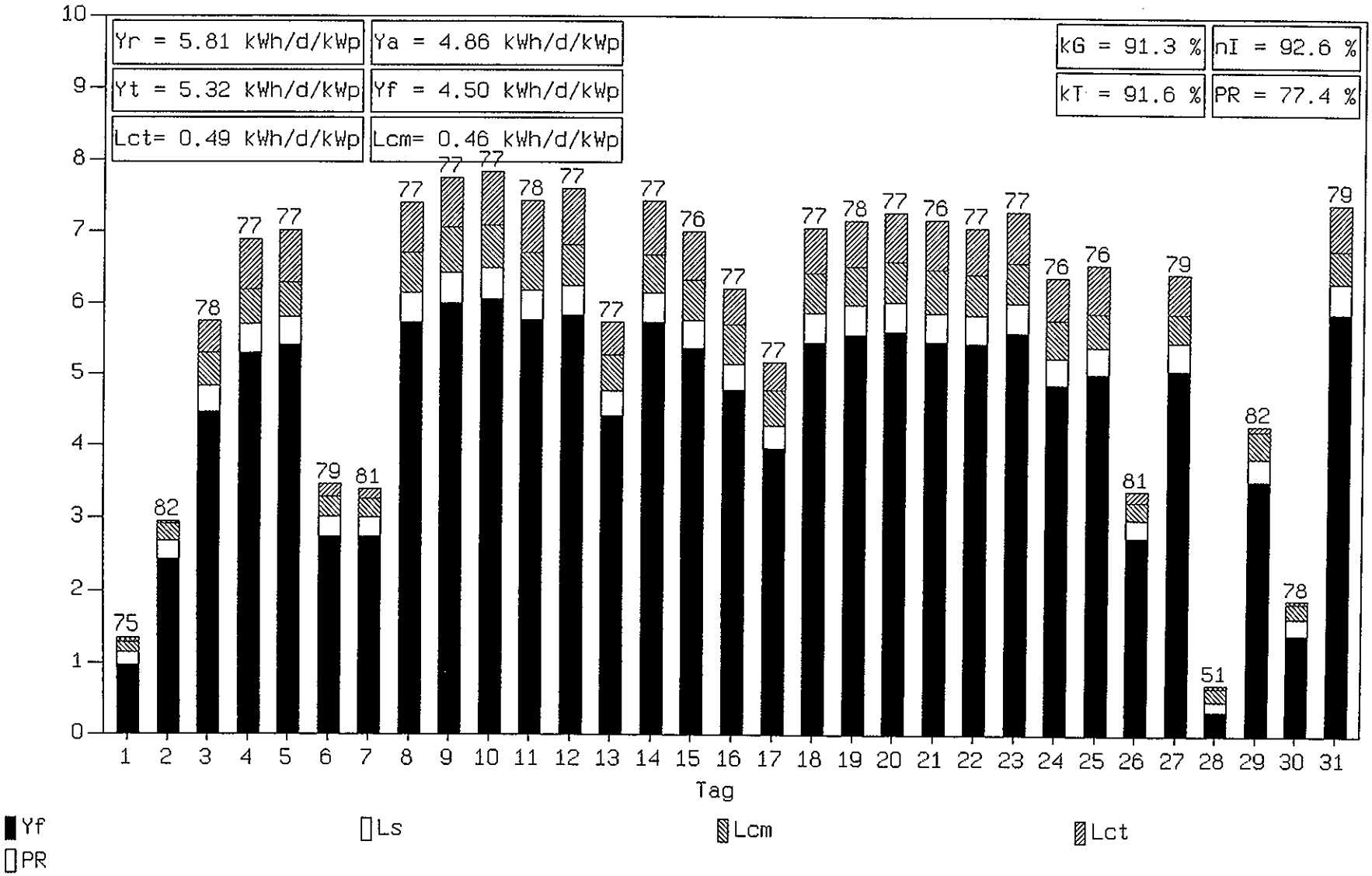
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 8.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

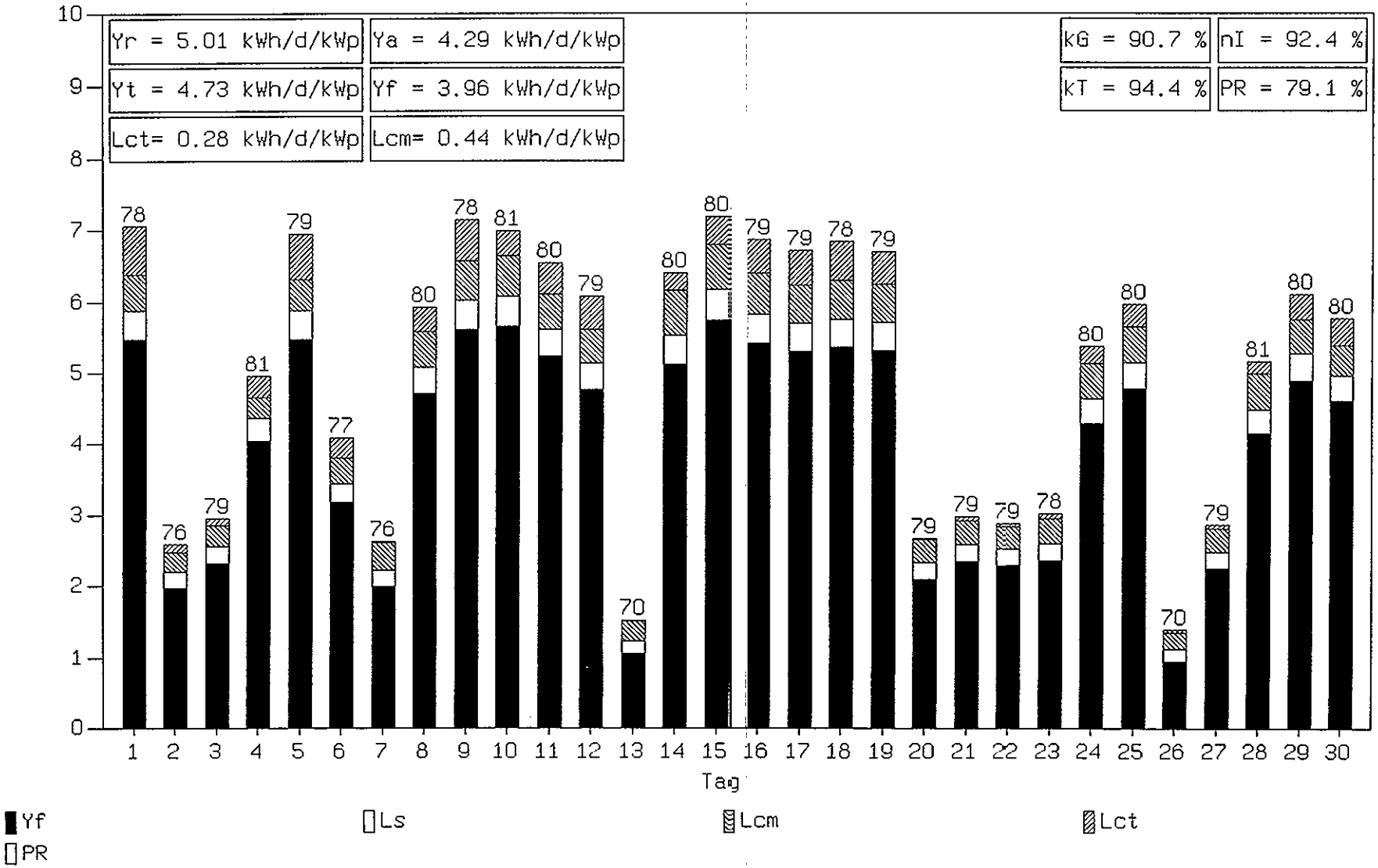
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 9.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

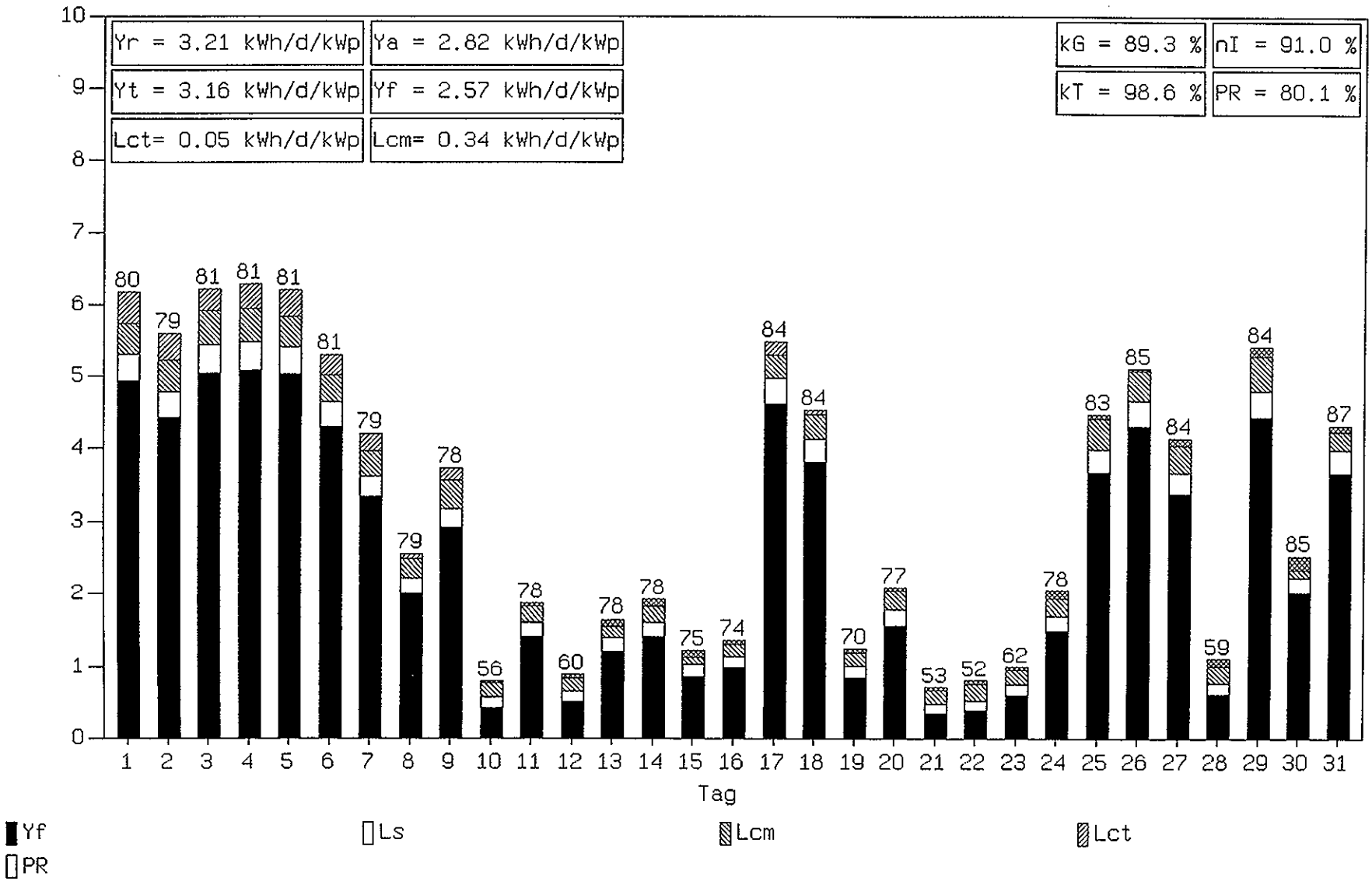
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 10.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

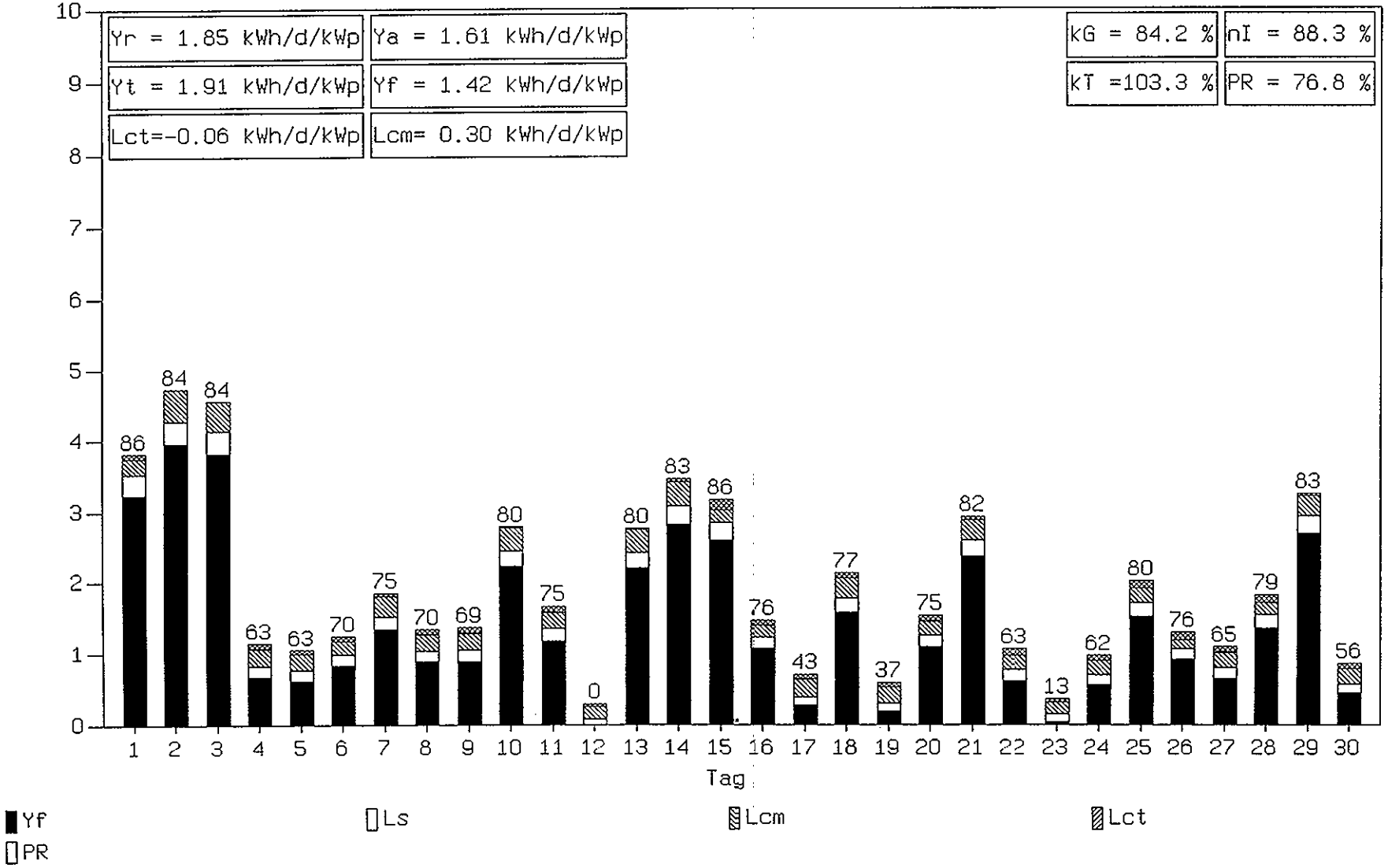
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 11.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

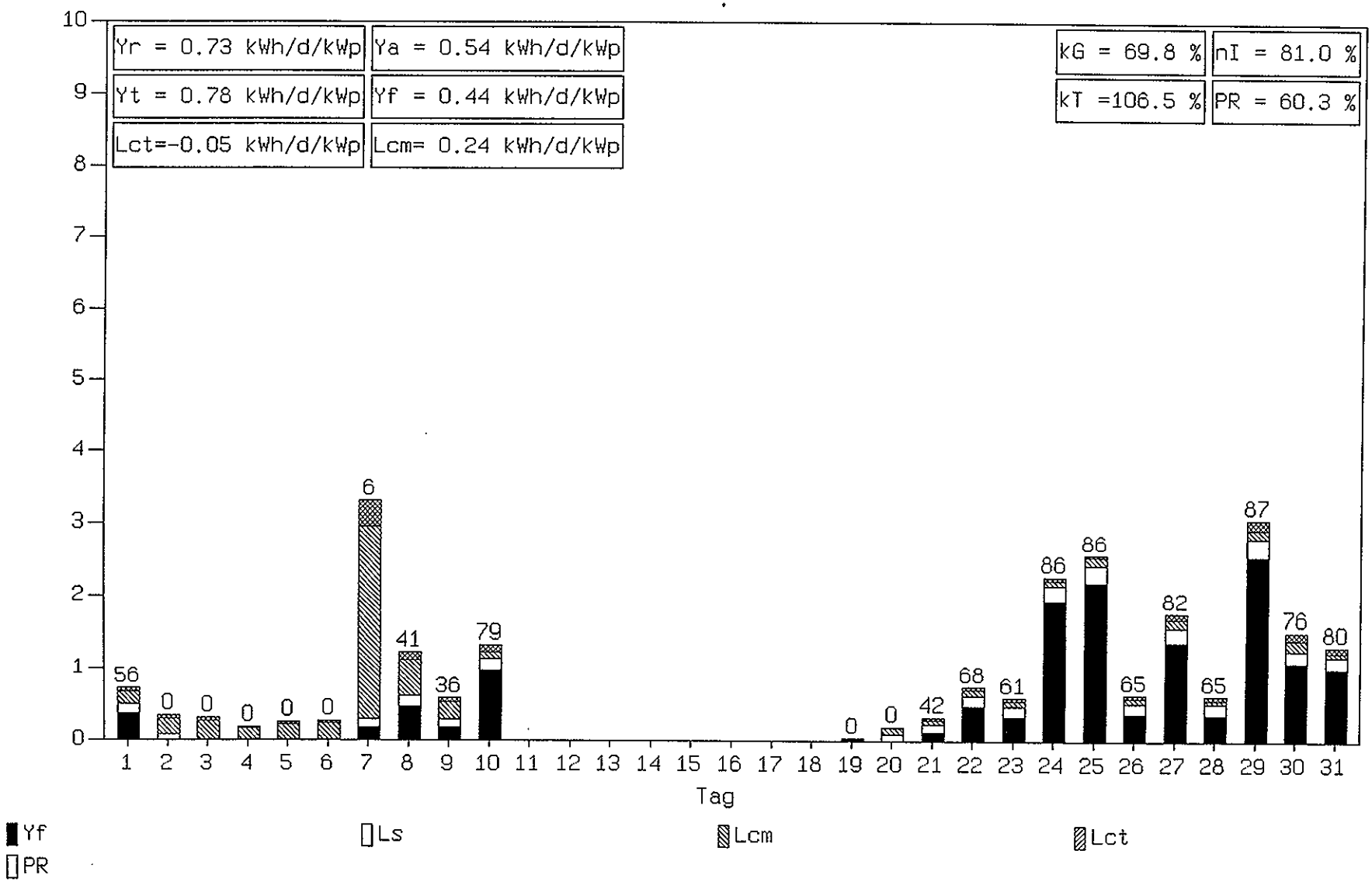
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 12.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

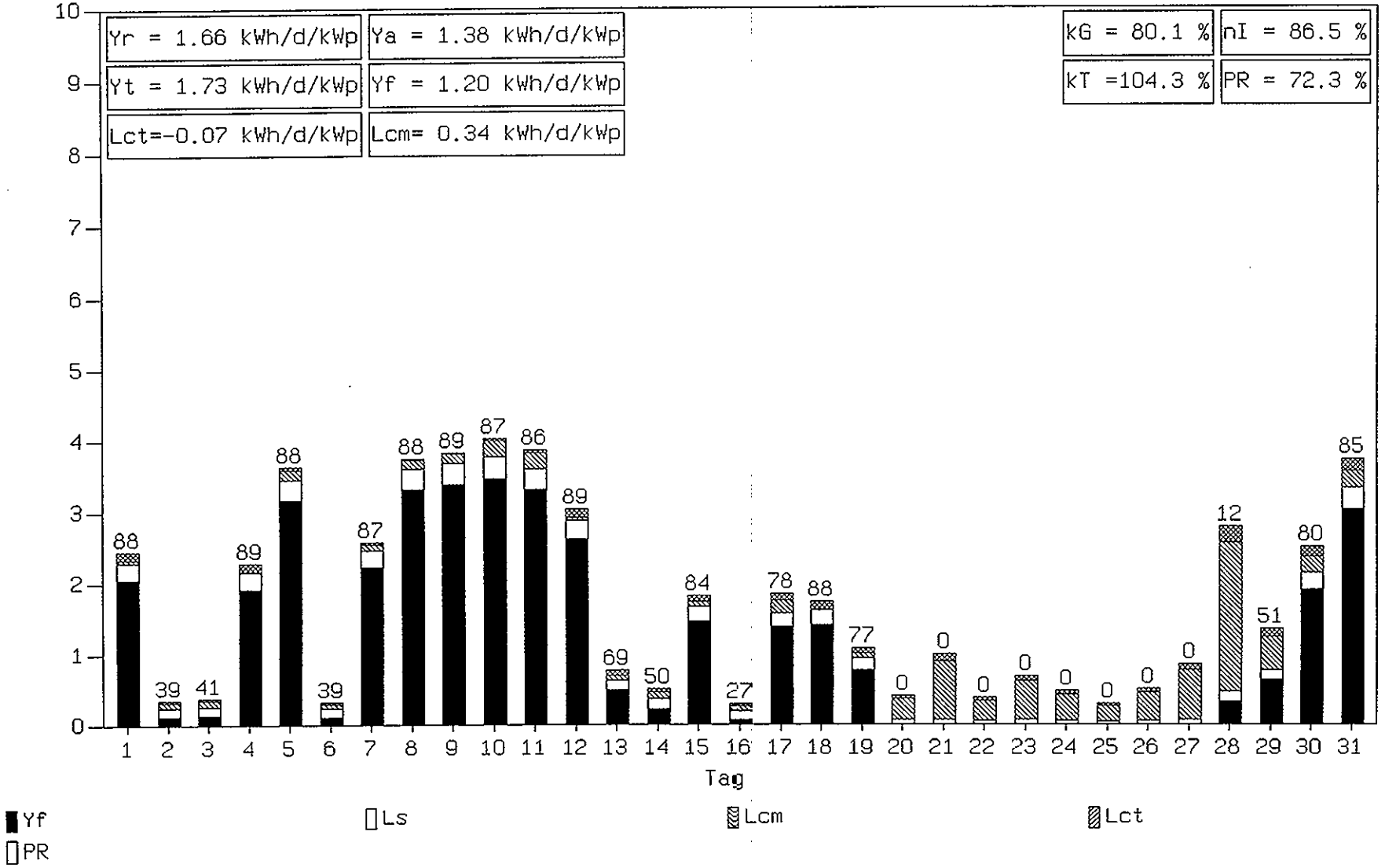
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 1.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

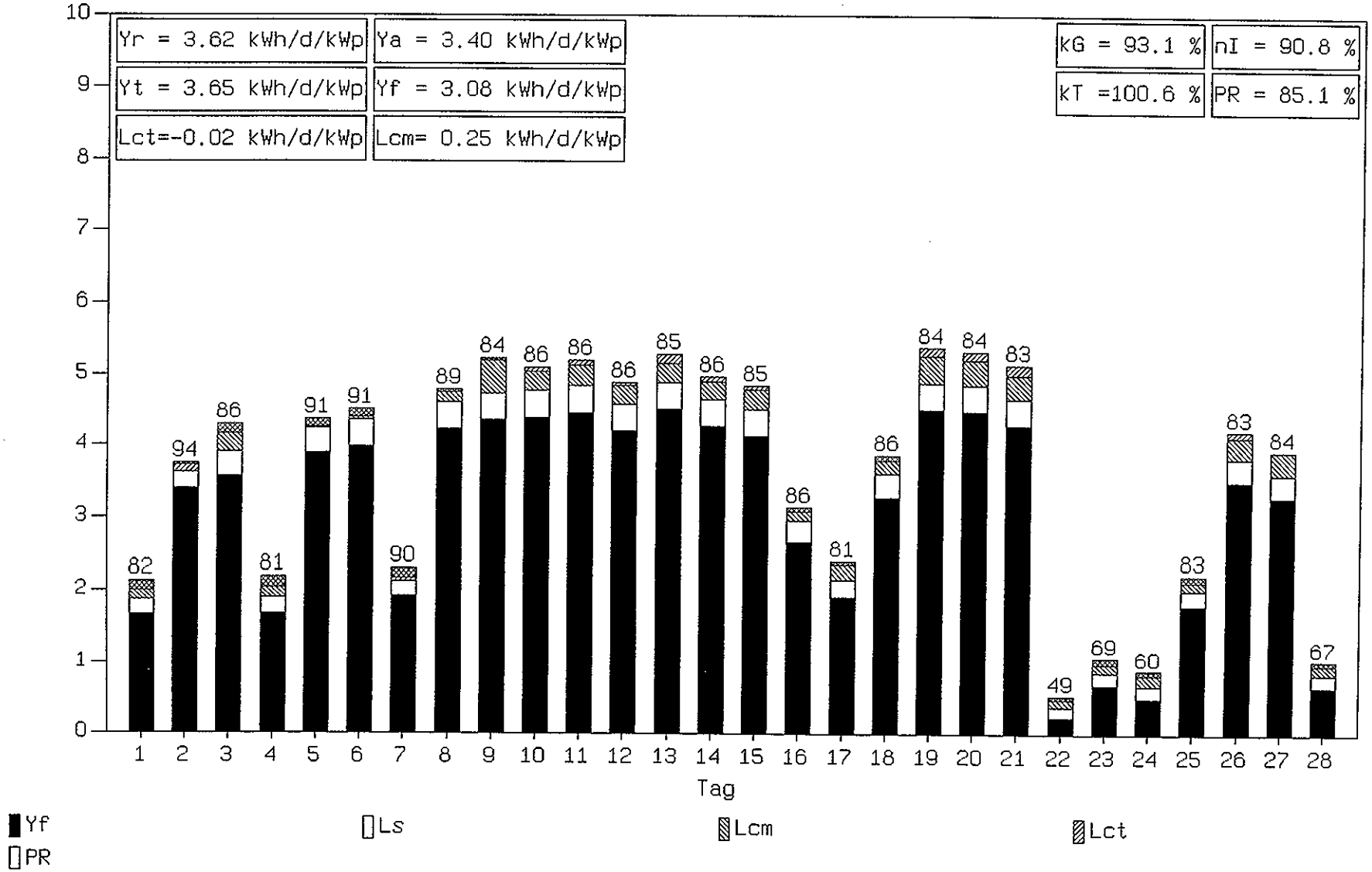
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 2.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

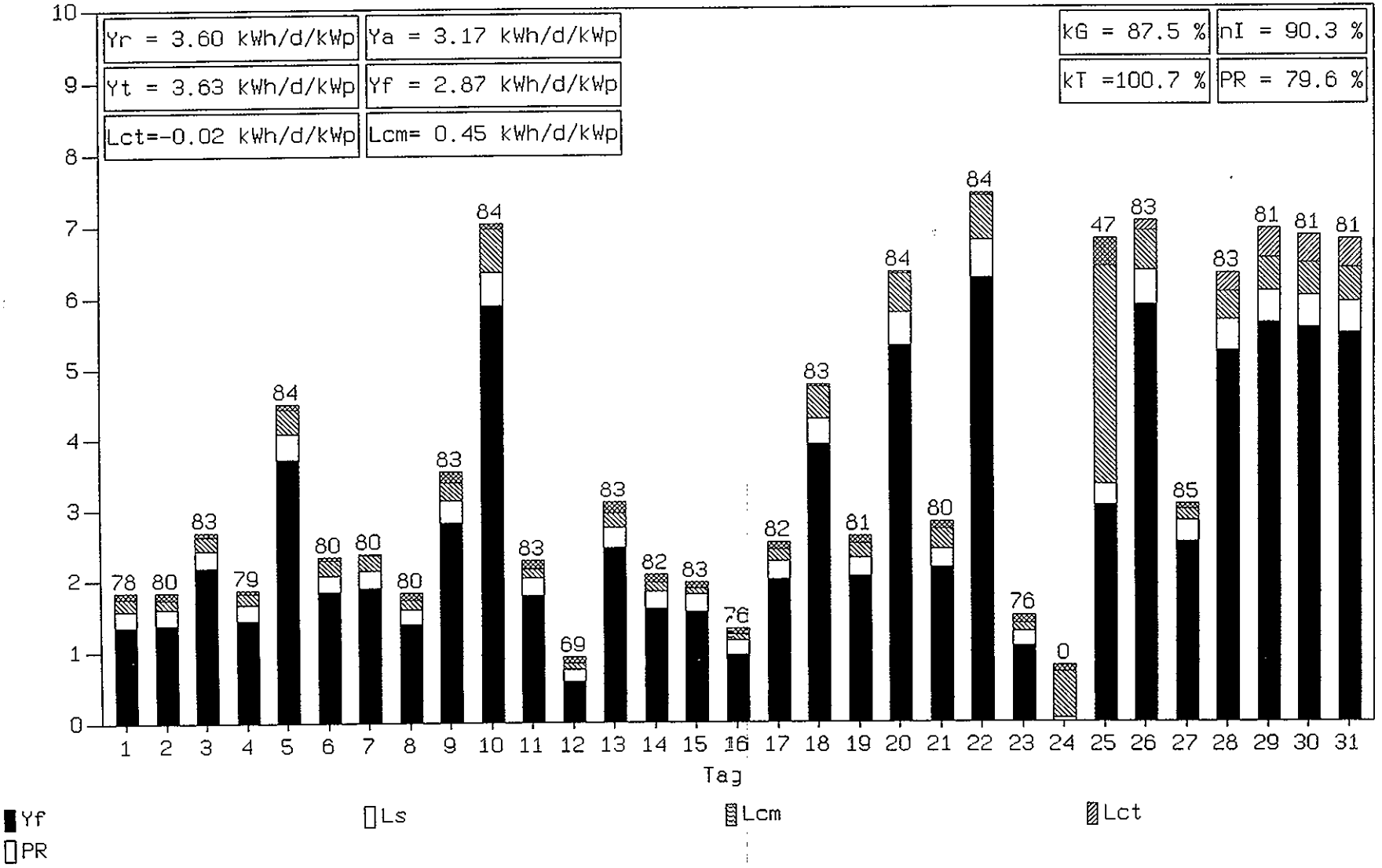
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 3.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

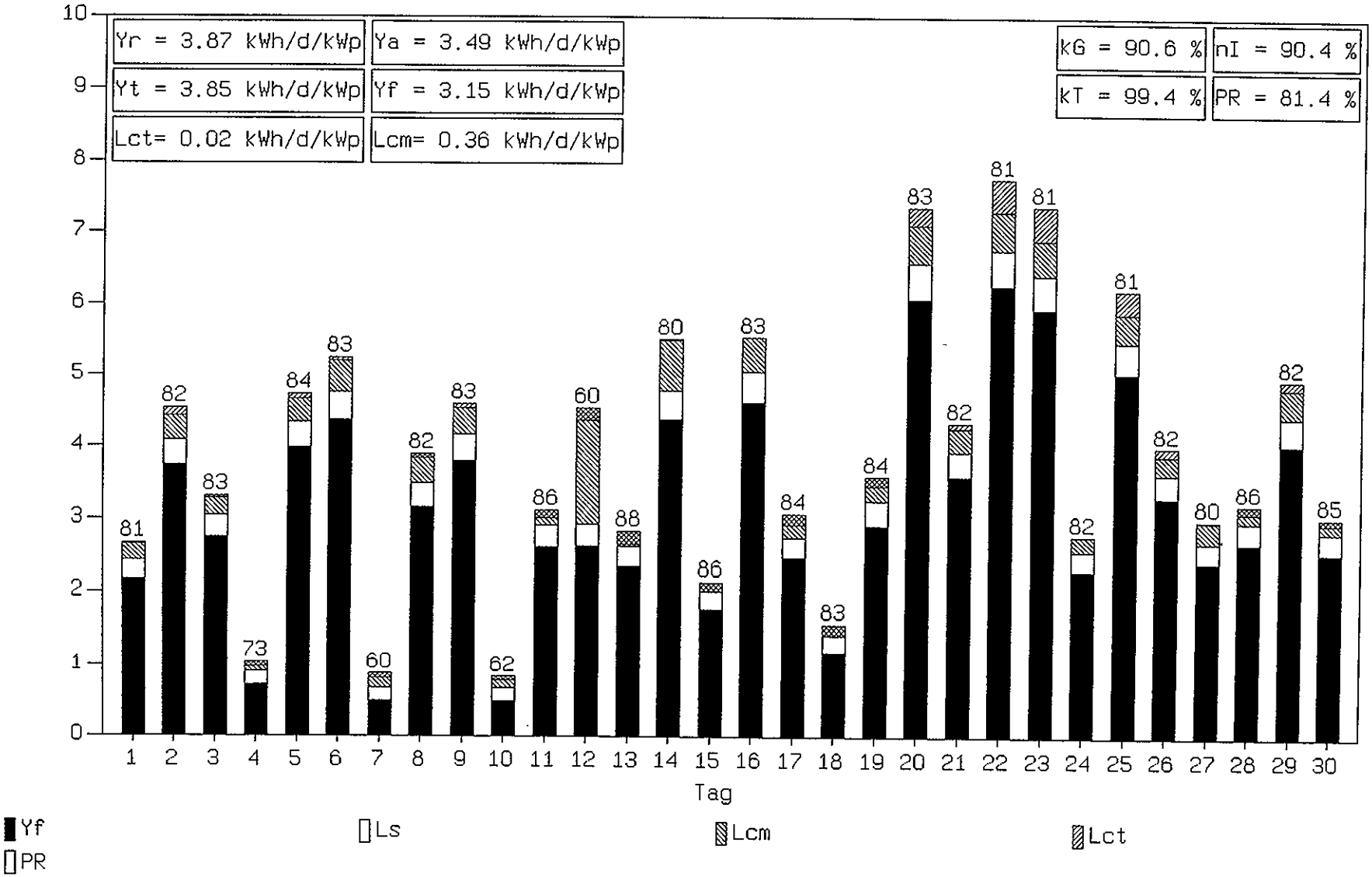
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 4.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

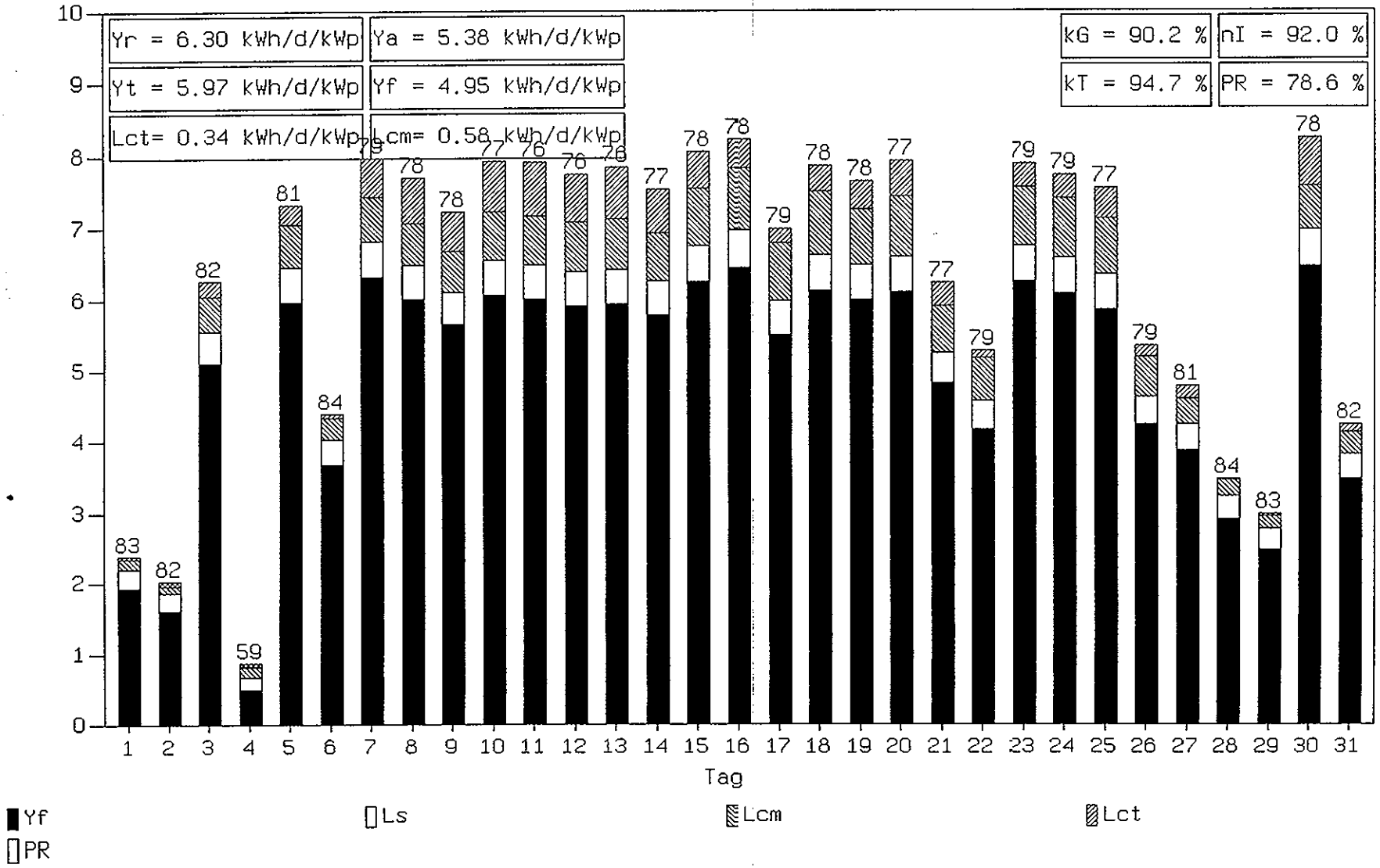
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 5.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

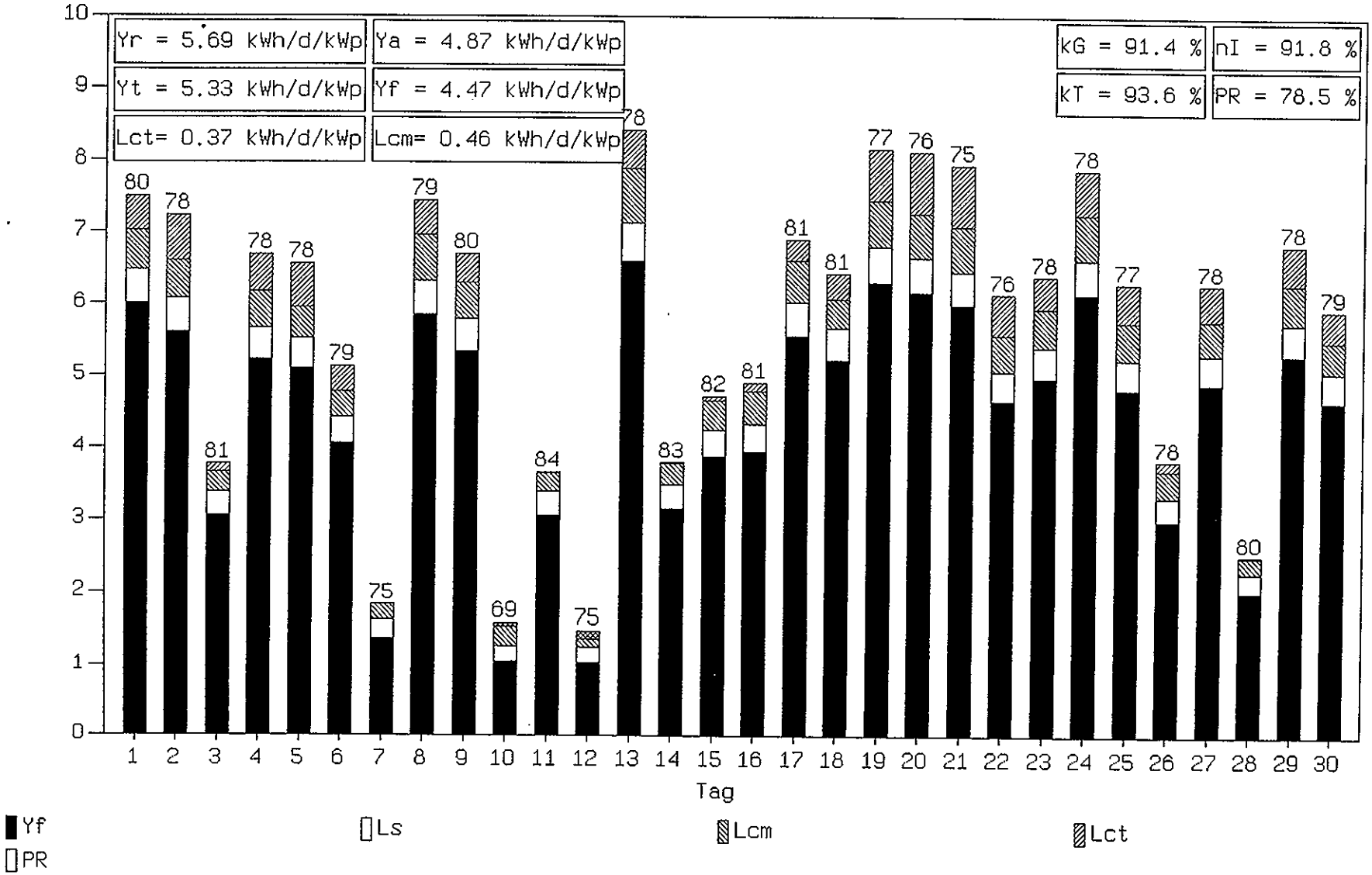
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 6.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

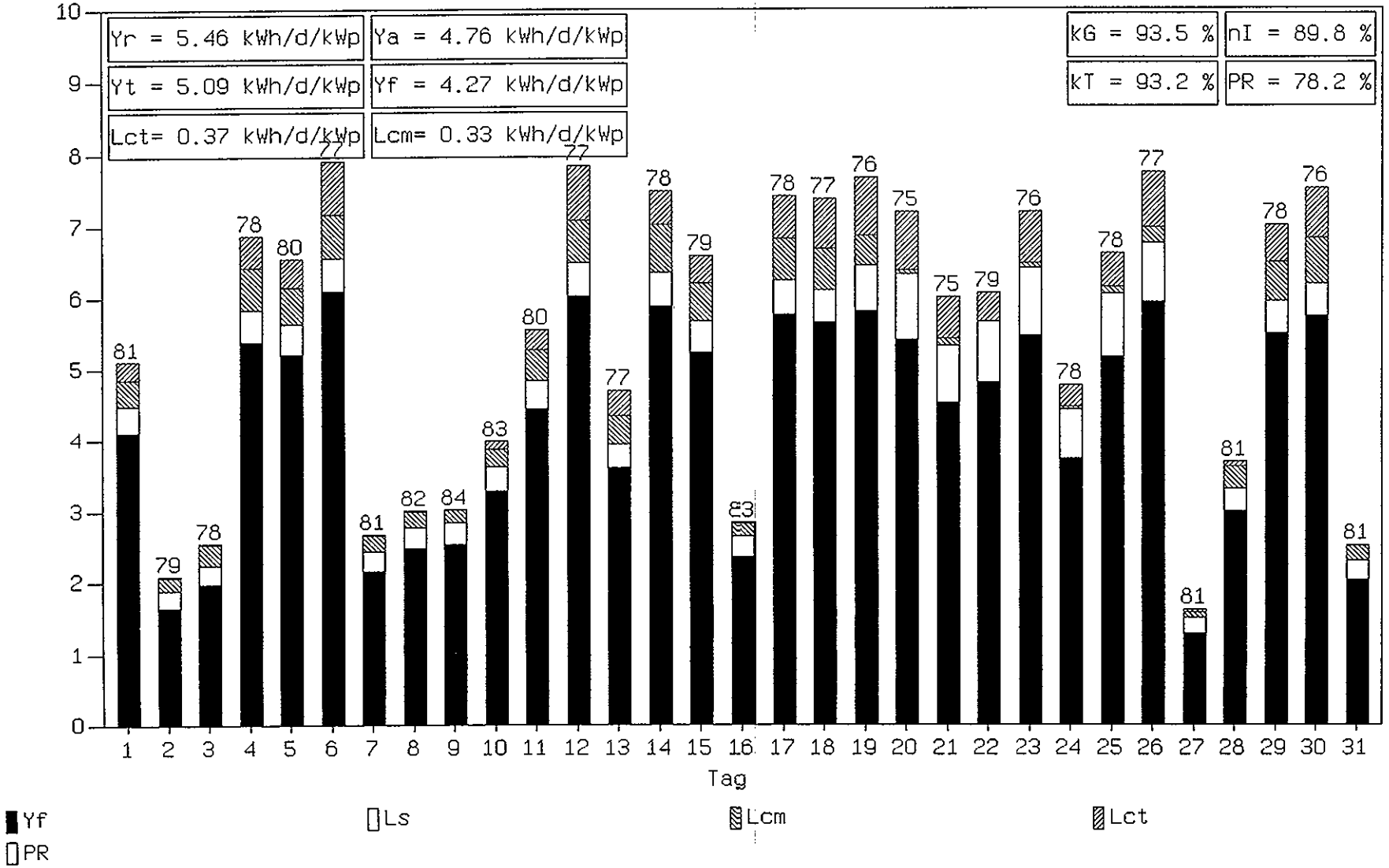
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 7.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

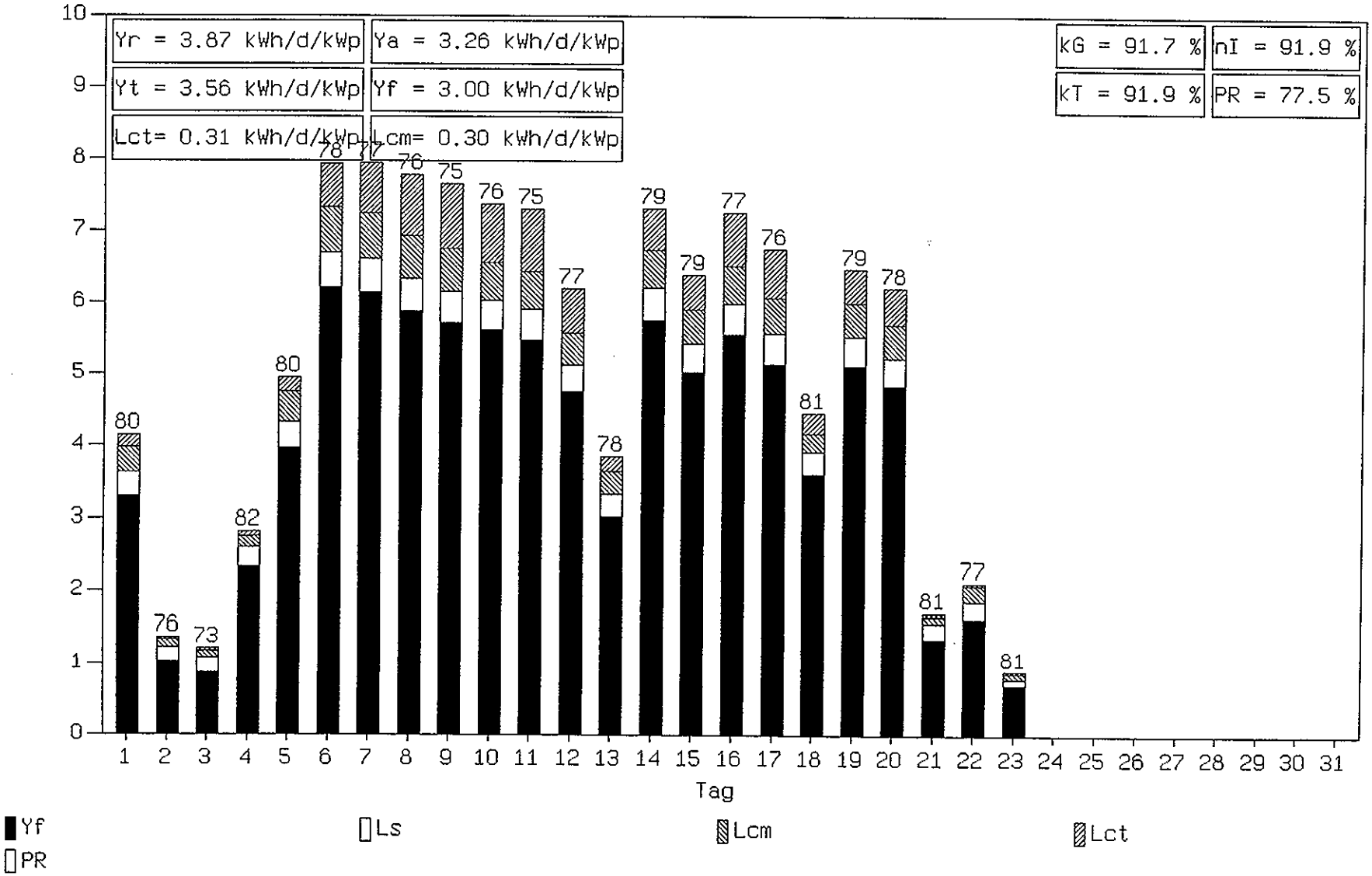
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 8.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

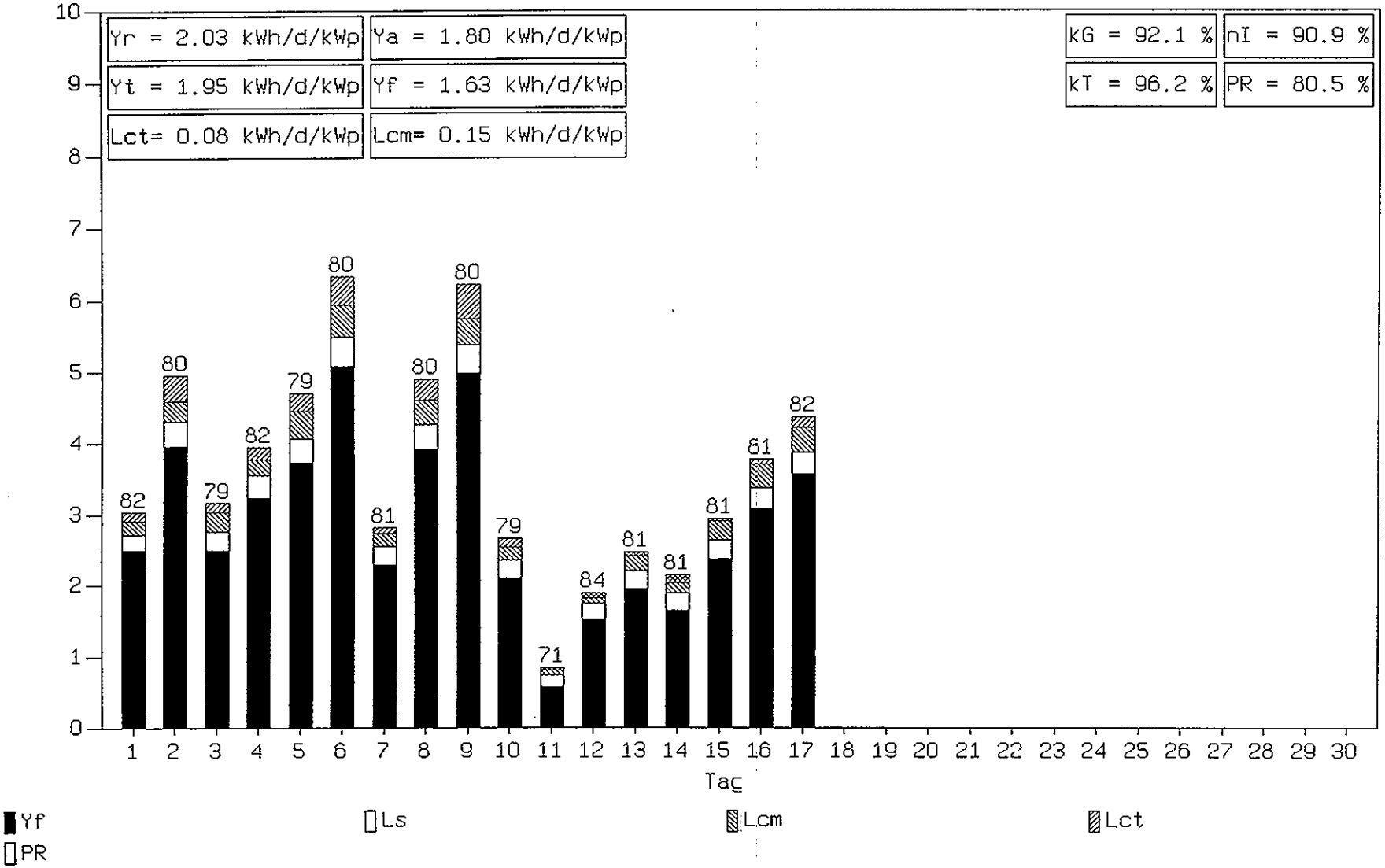
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 9.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

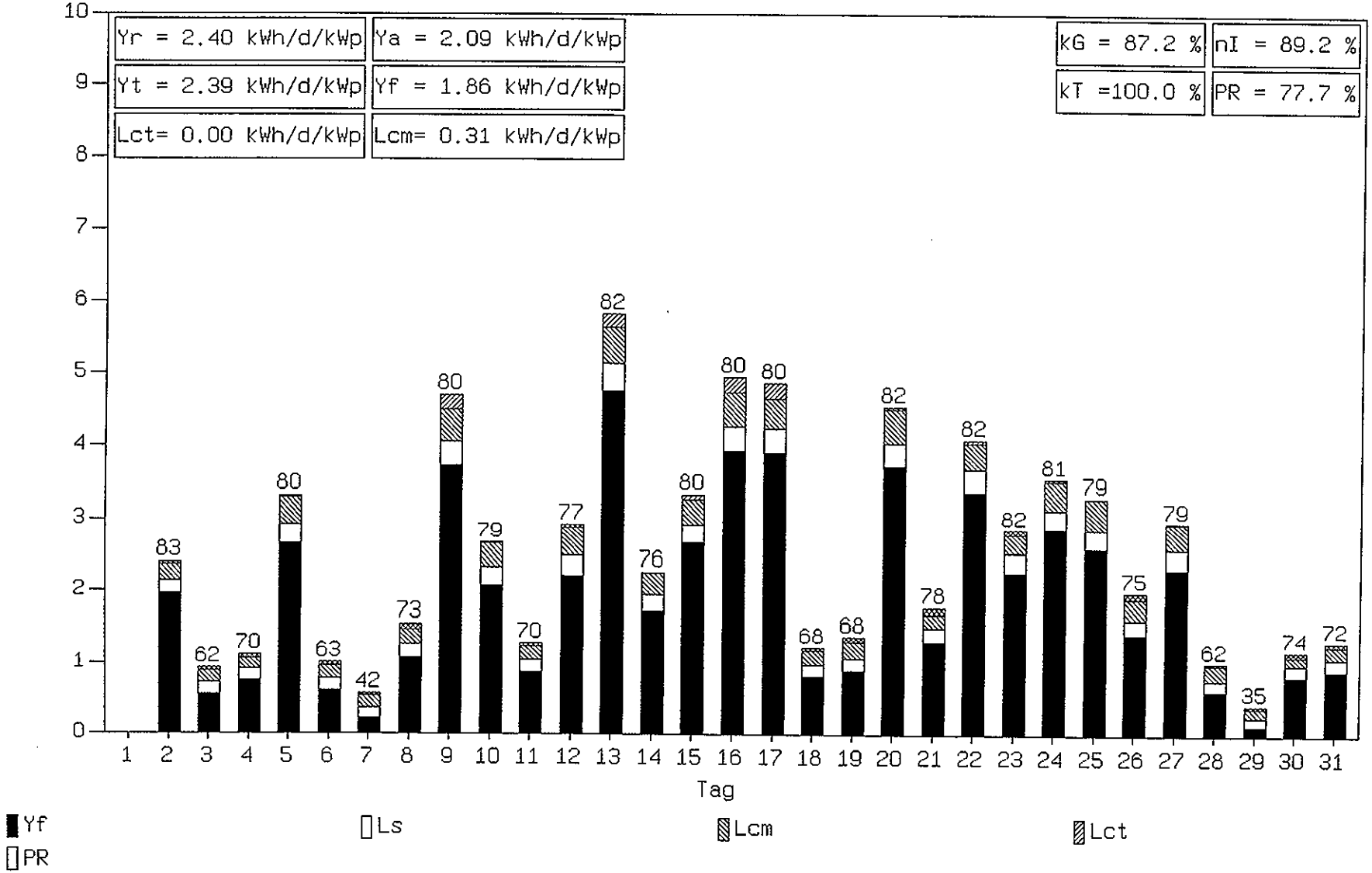
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 10.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

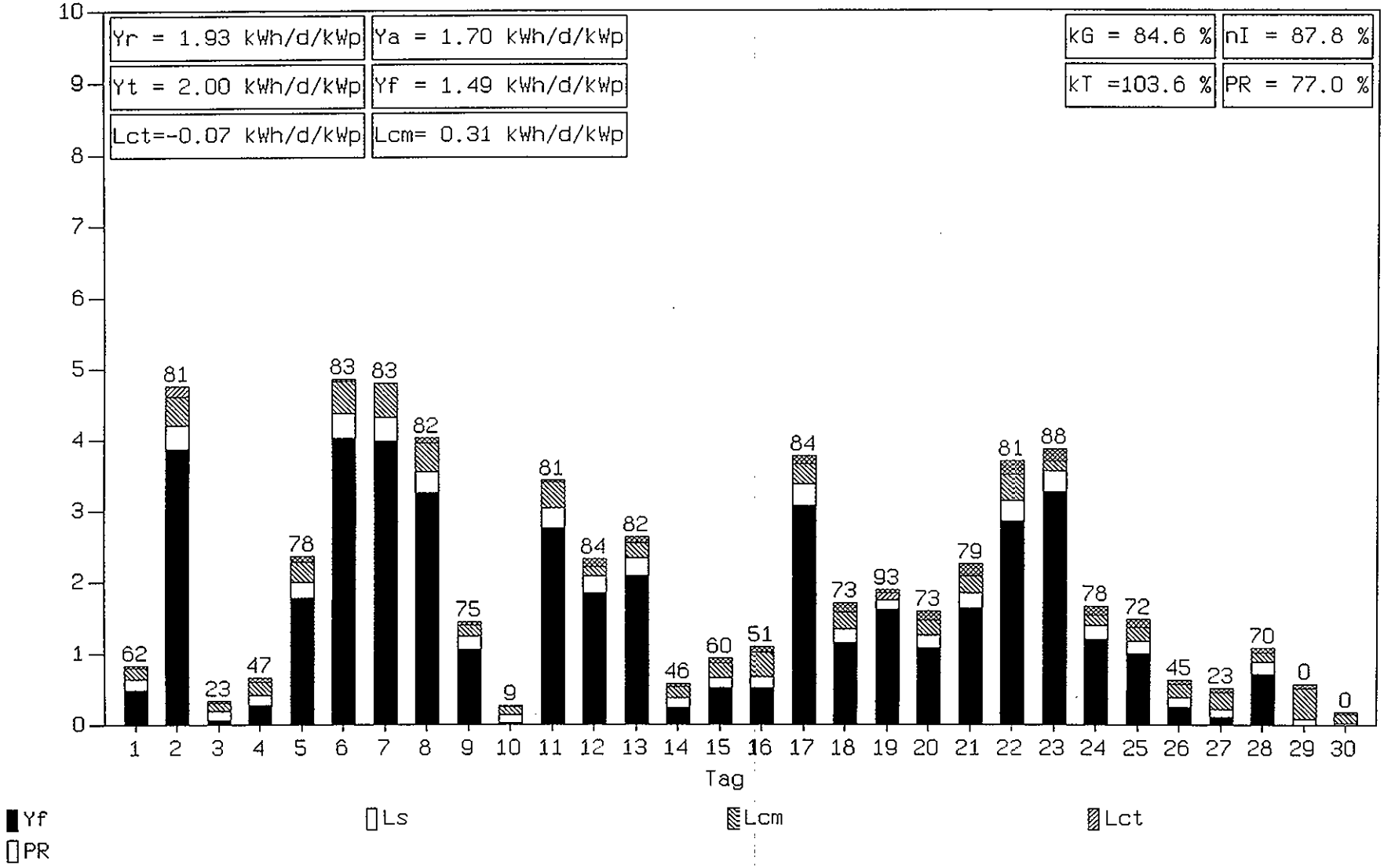
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 11.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

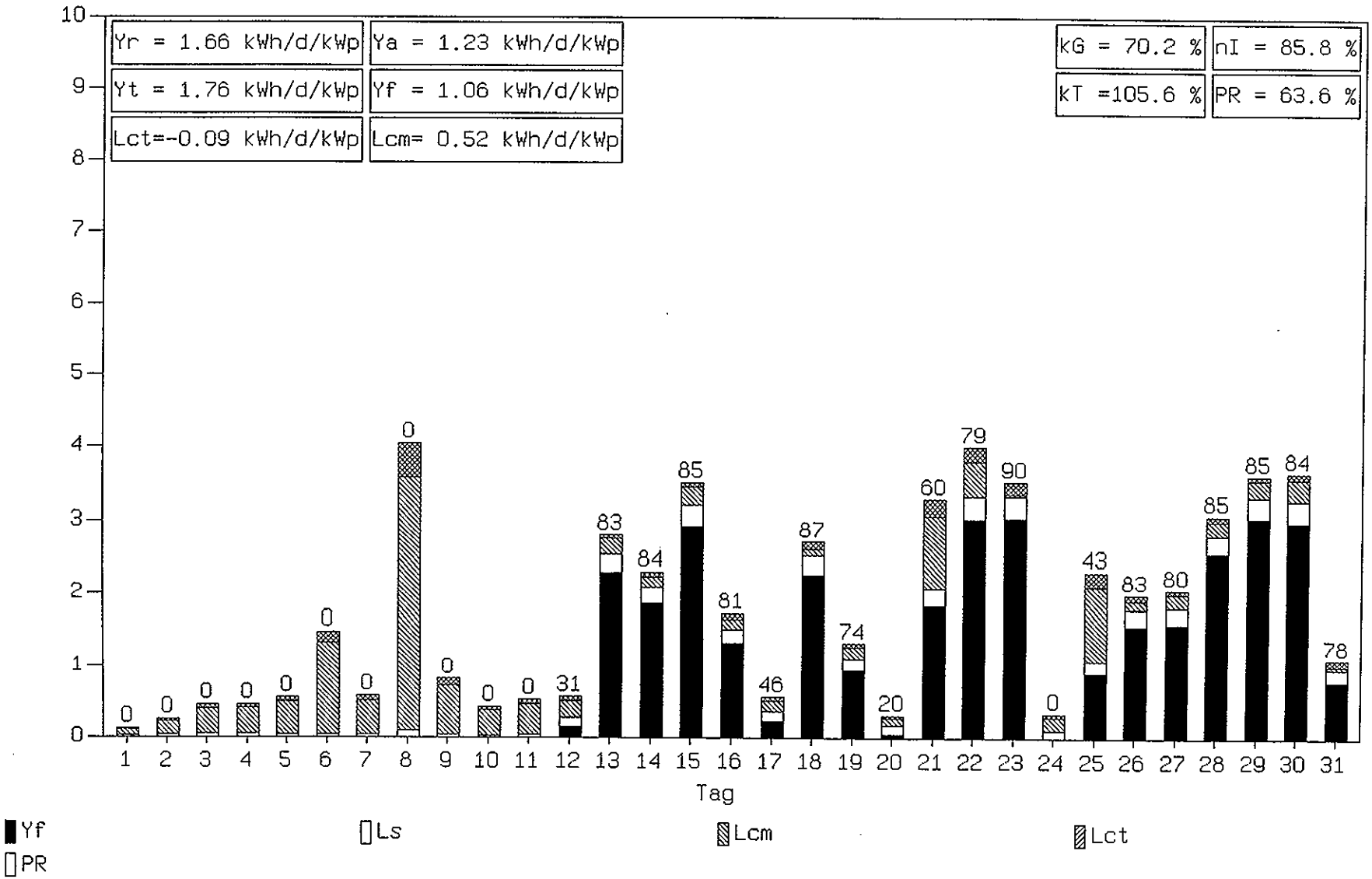
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 12.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

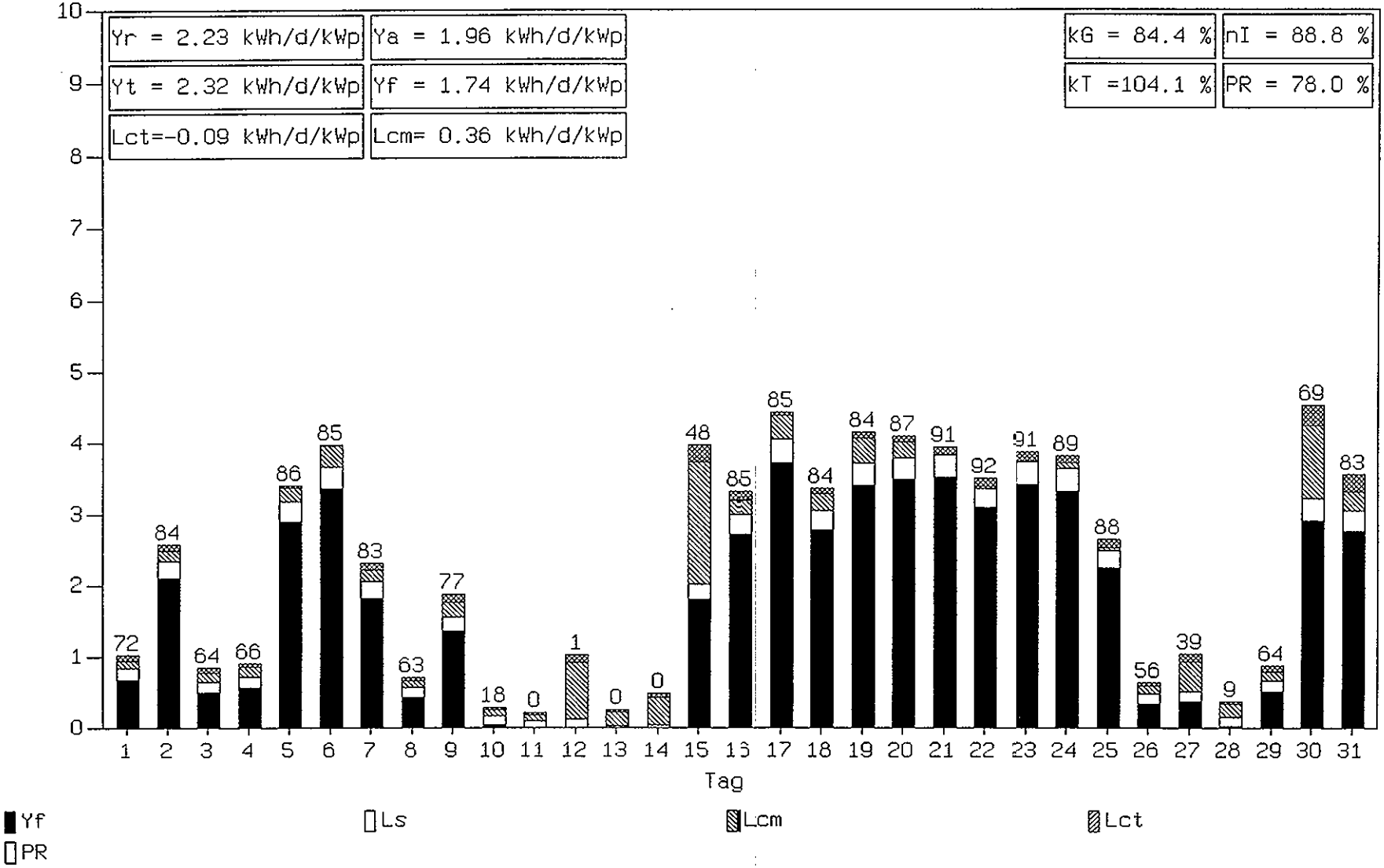
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 1.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

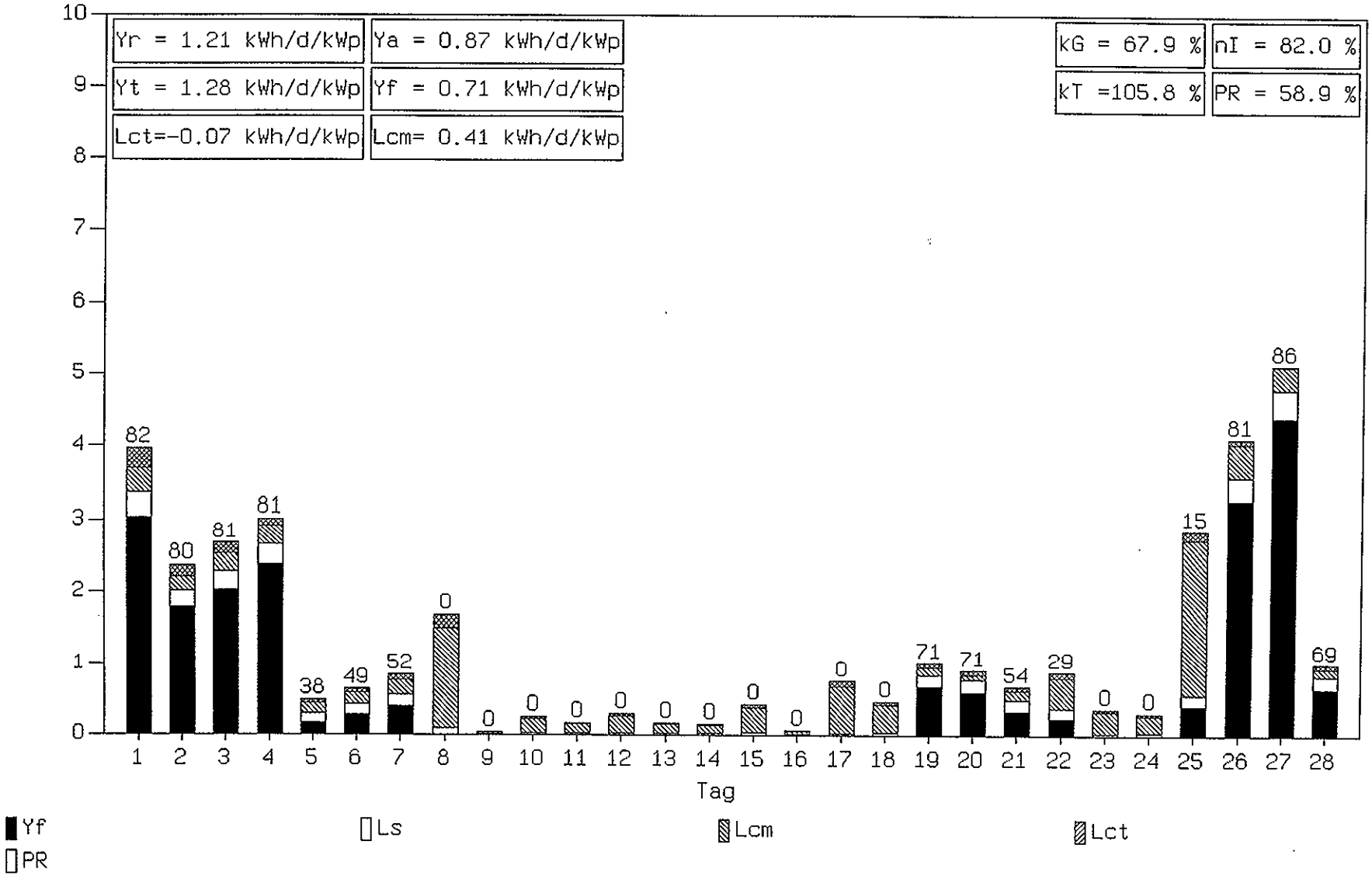
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 2.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

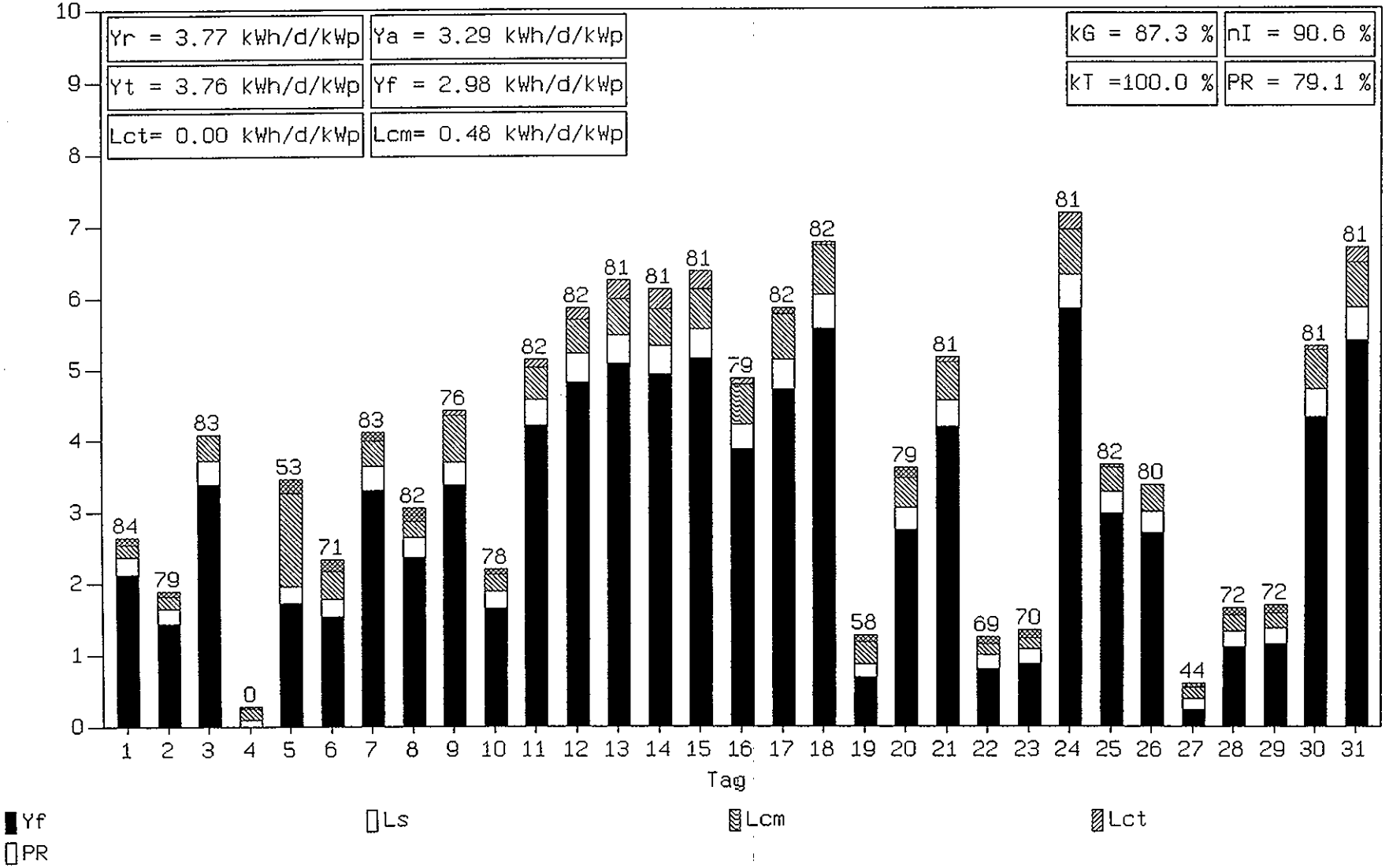
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 3.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

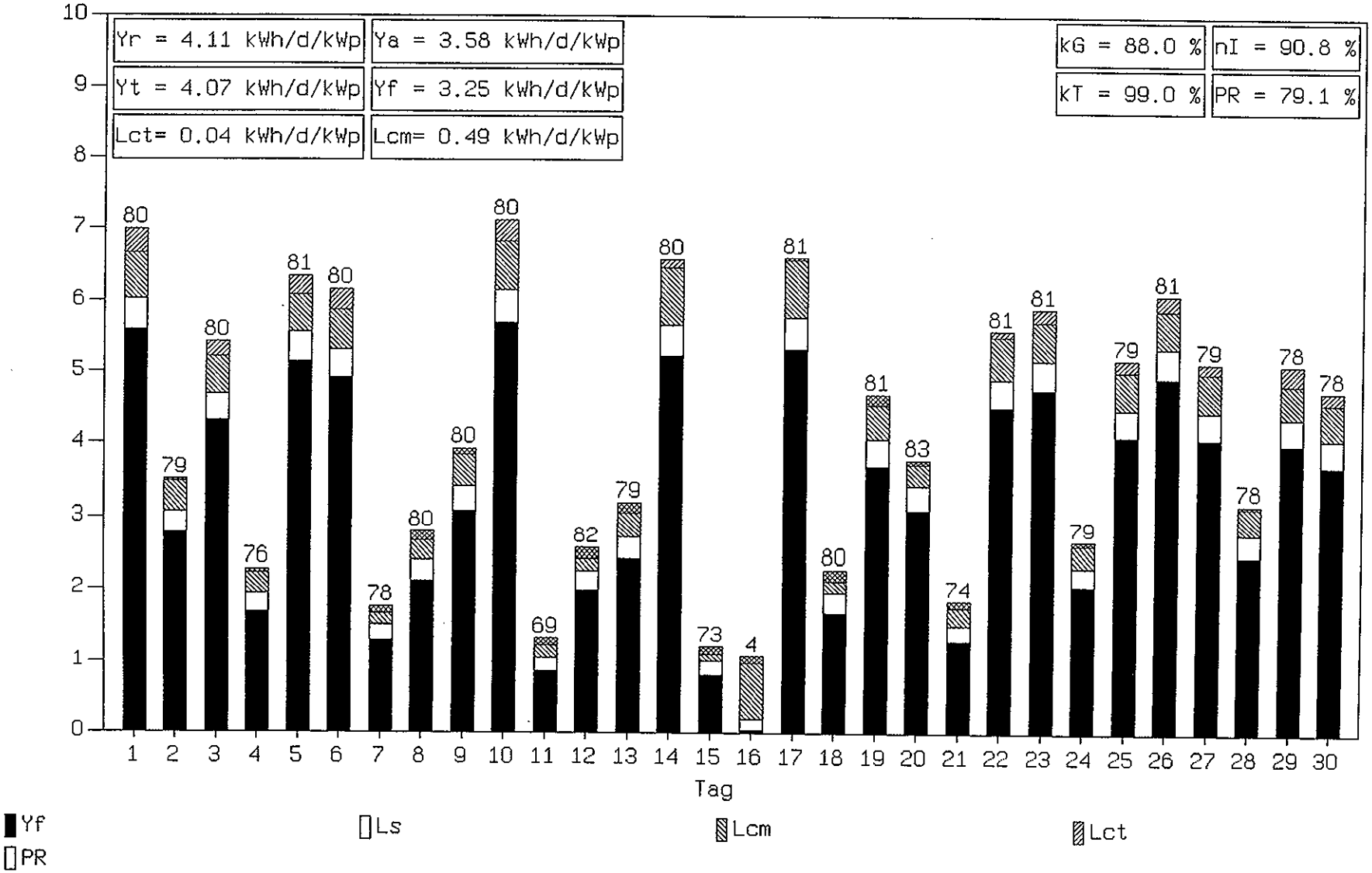
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 4.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

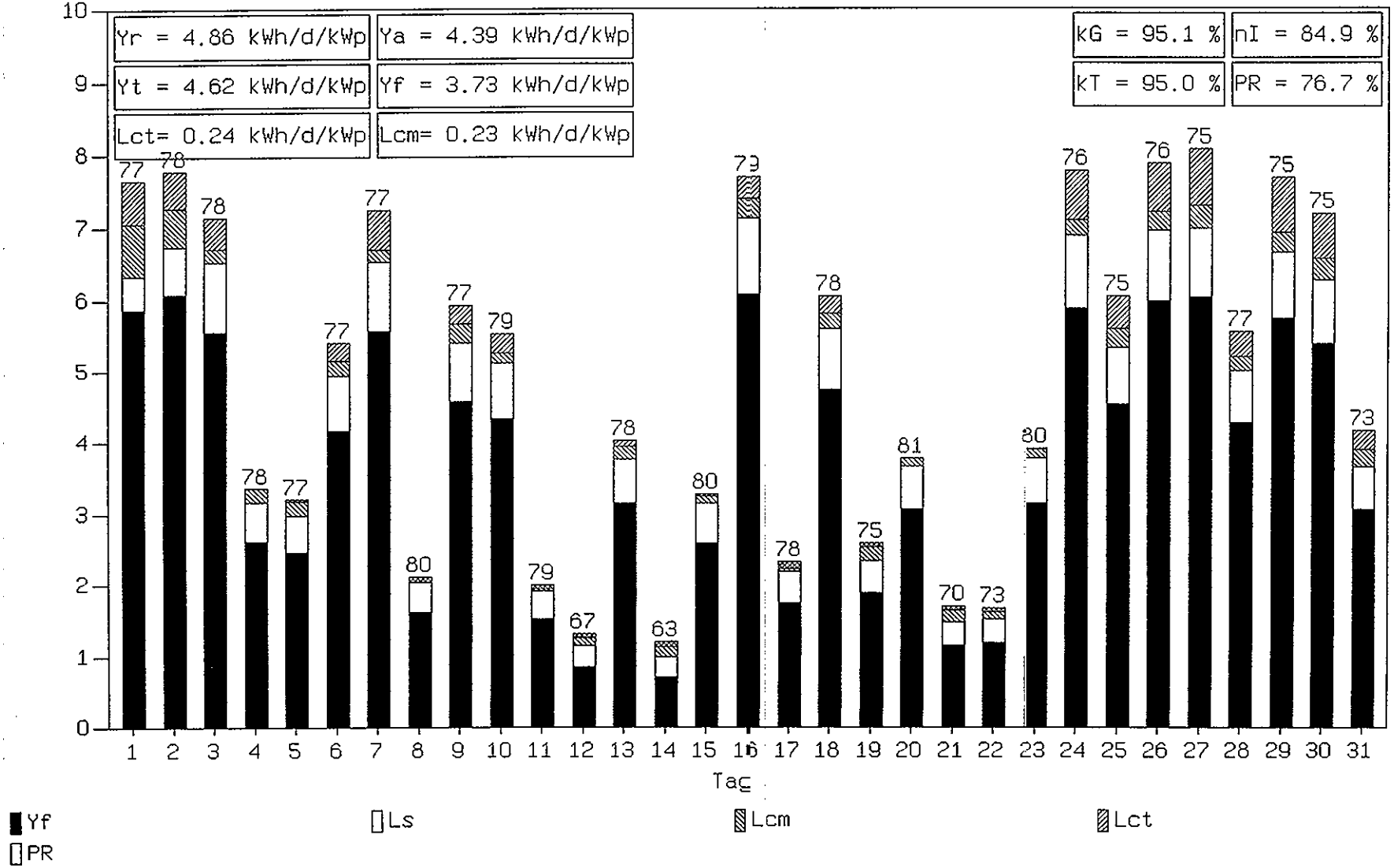
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (tc)

Monat: 5.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

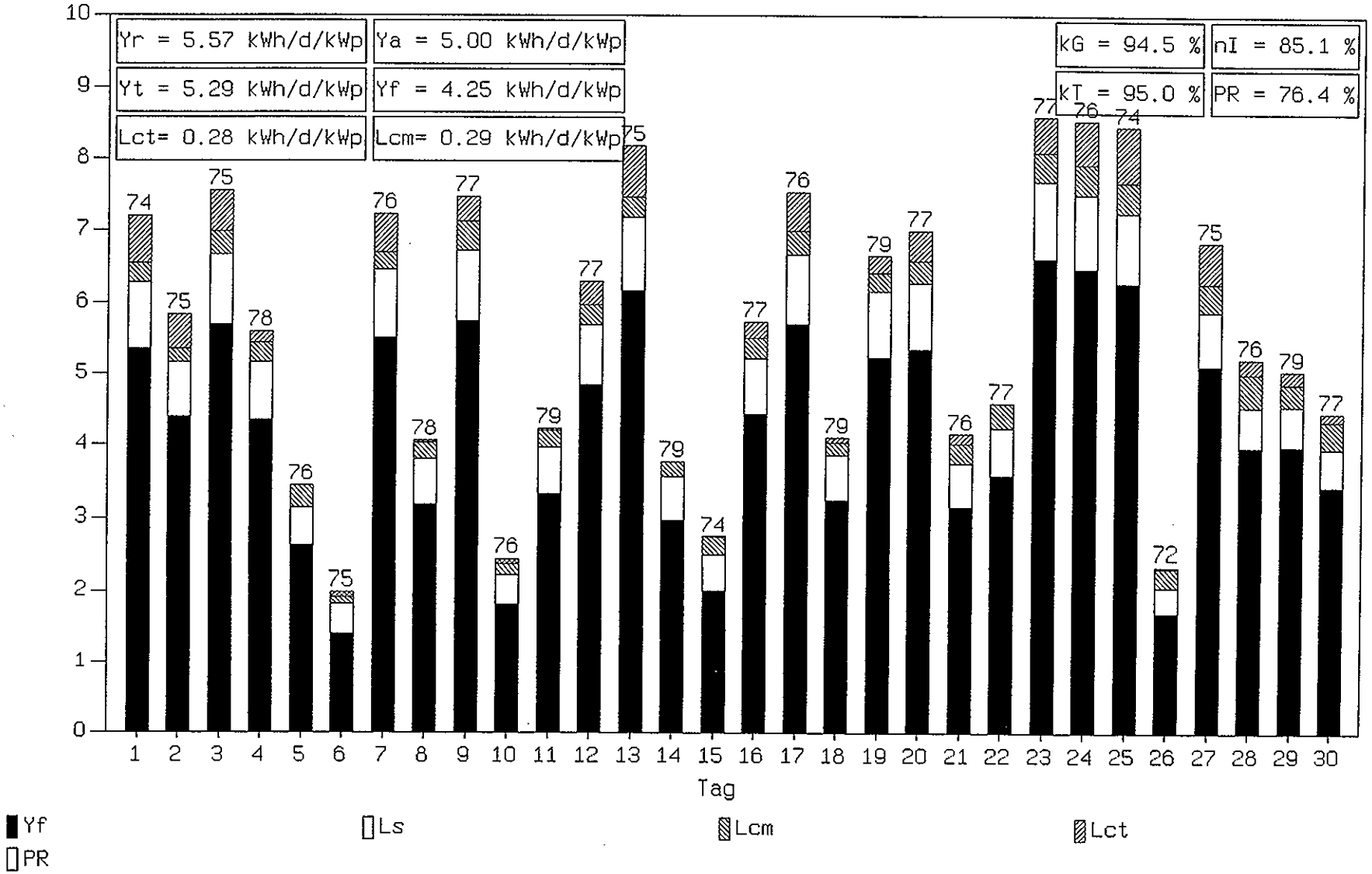
Labor für Photovoltaik

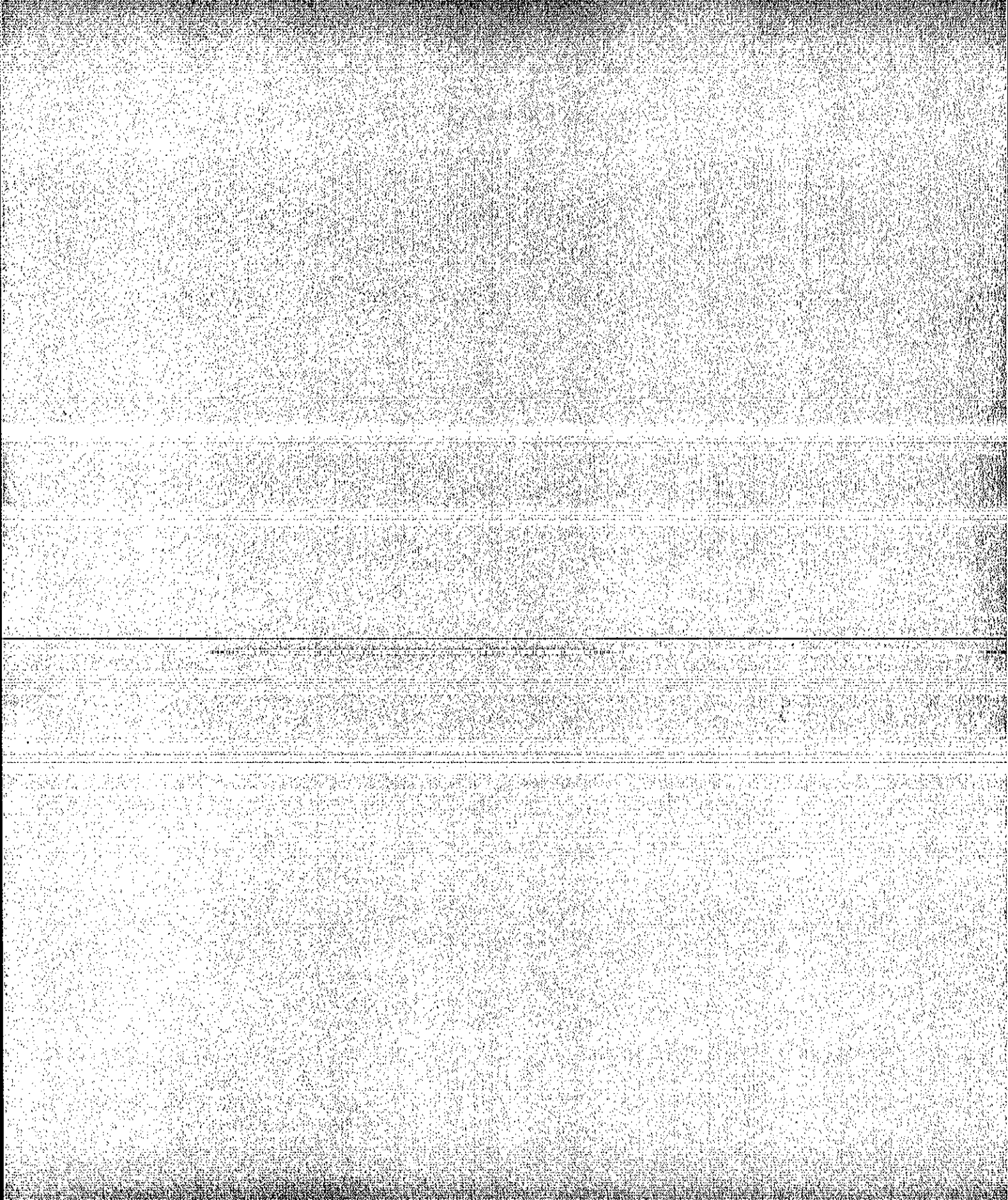
Normierte Monatsstatistik (Pyranometer)

Anlage: Schlossmatt 8, Burgdorf (bc)

Monat: 6.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=3180Wp)



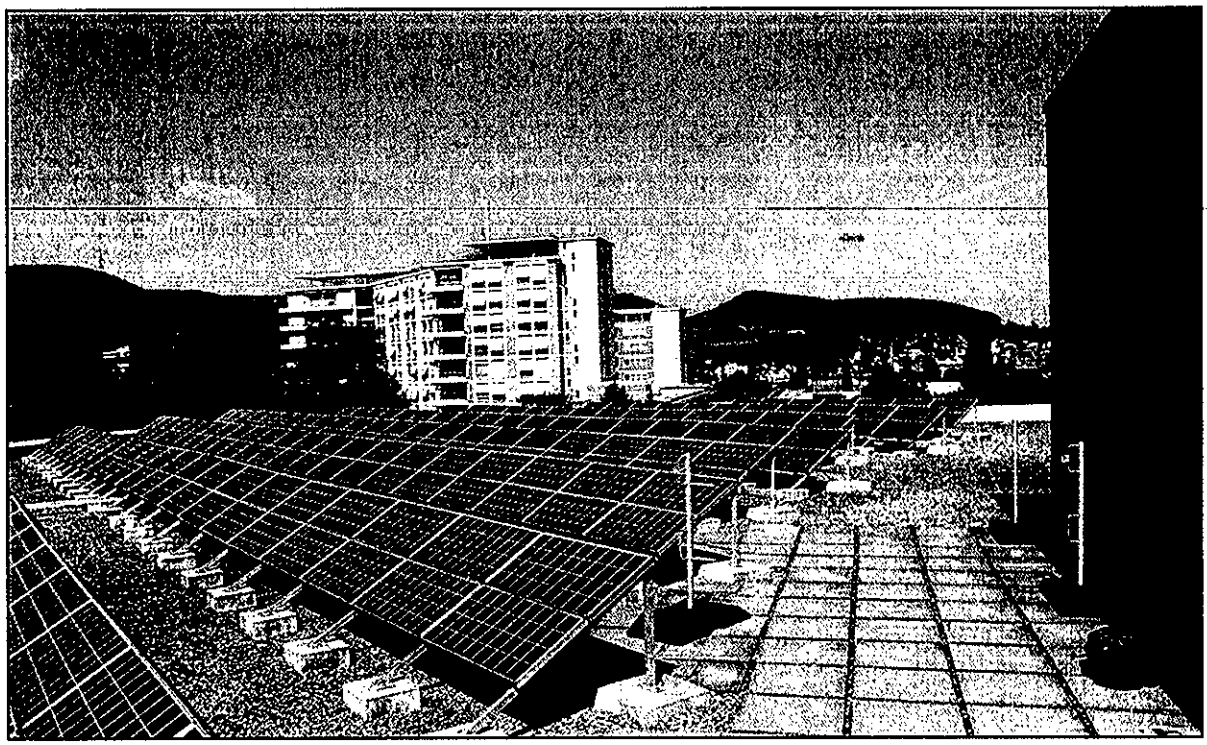


5 Elektra Baselland (EBL), Liestal

Technische Angaben zur Anlage			
Ort:	Mühlemattstrasse 6, Magazingebäude, 4410 Liestal; 327 m.ü.M.		
Inbetriebnahme:	1992		
Solargenerator:			
Module:	Kyocera LA361H51 (364 Stück)		
Feldleistung:	18560 Wp (nom.) / 17070 Wp (eff.)	**Neigung:**	30° (Flachdach)
Bruttofläche:	159,1 m^2	**Ausrichtung:**	0° Süd
Wechselrichter:	Sputnik SolarMax20		

Messgrössen:

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit Pyranometer und Referenzzelle
- Sonneneinstrahlung in Horizontalebene mit Pyranometer
- Umgebungstemperatur und Modultemperatur
- Gleichstrom und Gleichspannung
- Eingespeiste Wechselstrom-Wirkleistung (3-phasig)
- Netzspannung auf Phase 1



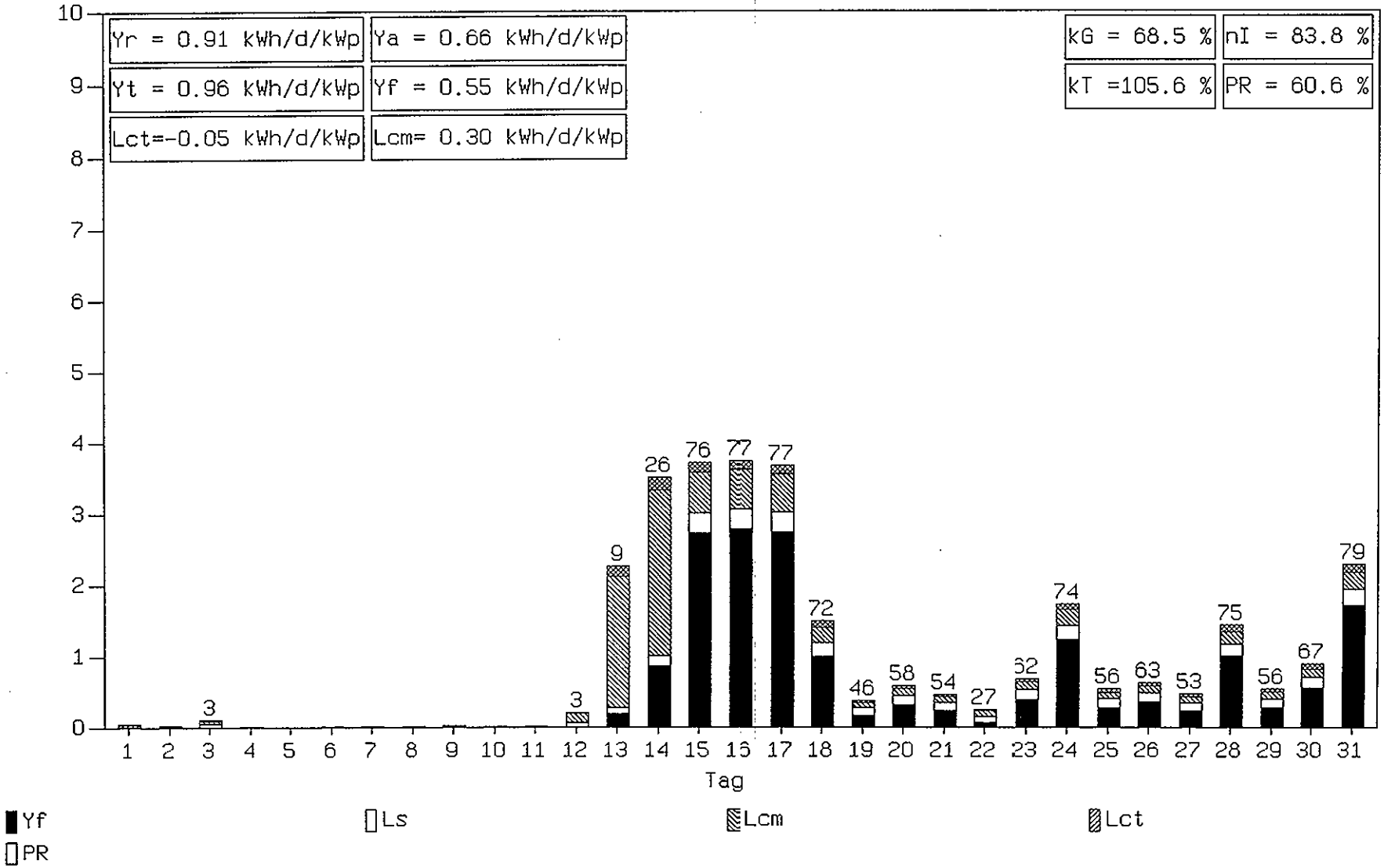
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 1.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

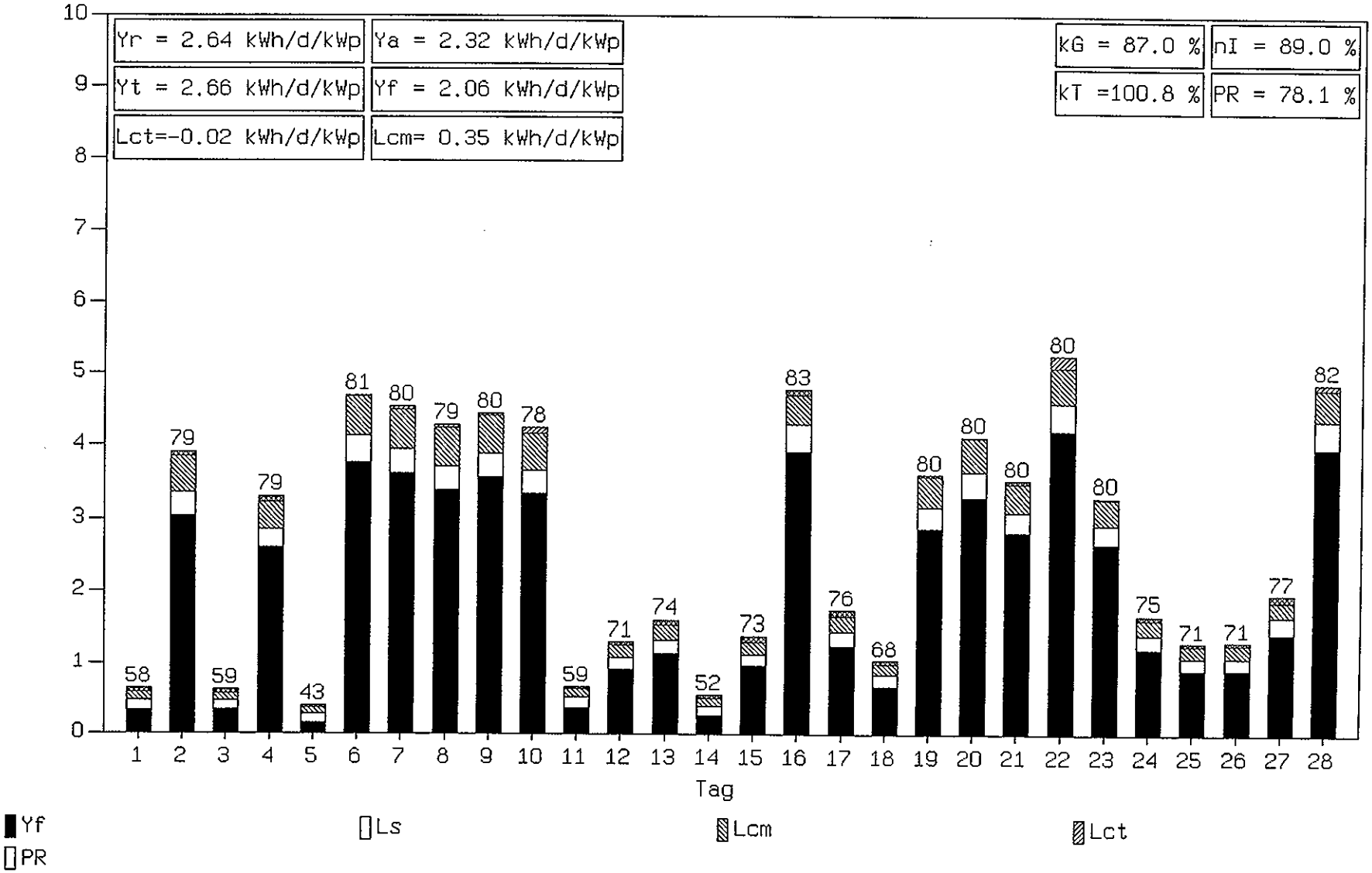
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal

Monat: 2.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



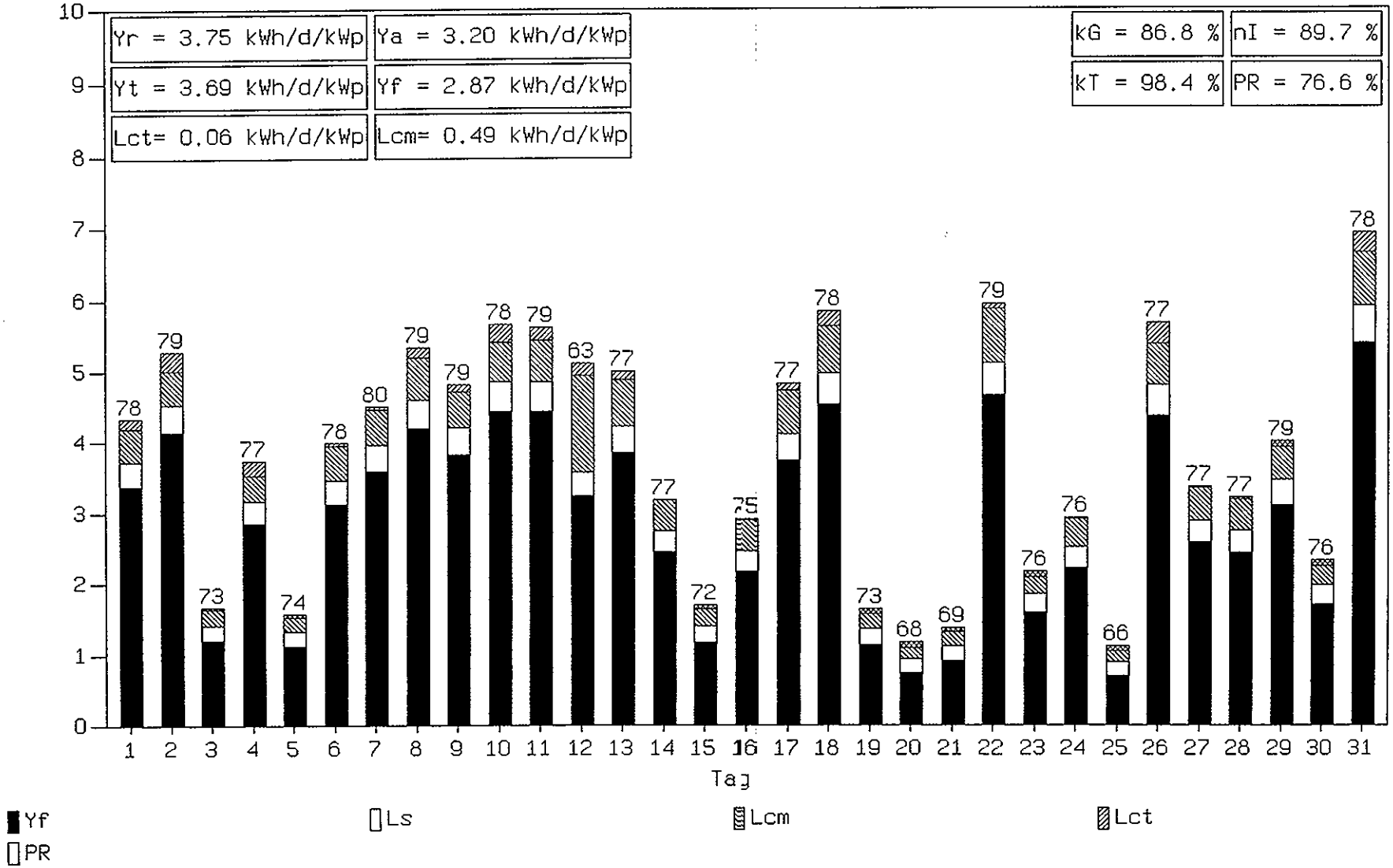
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 3.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



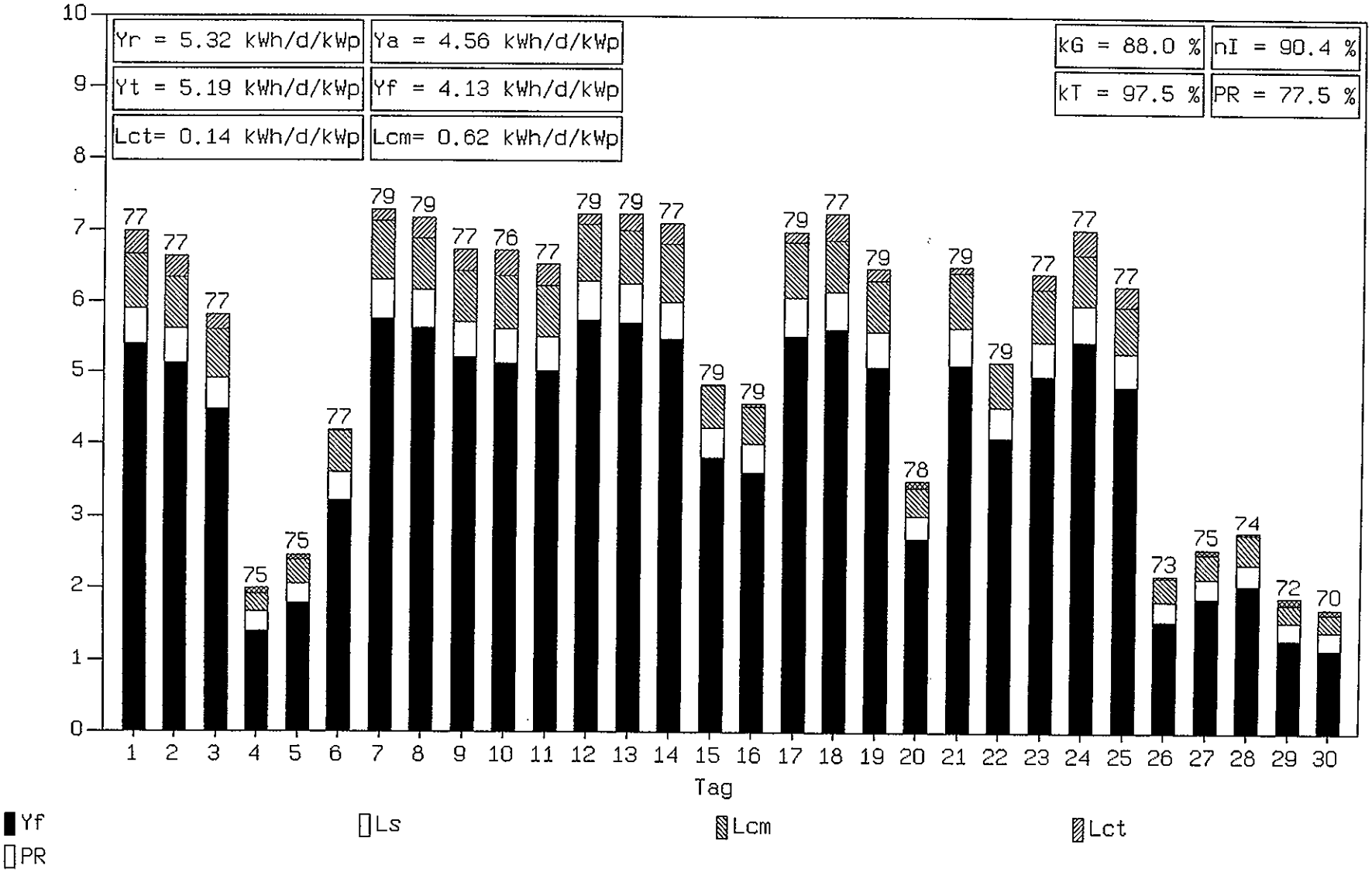
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 4.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

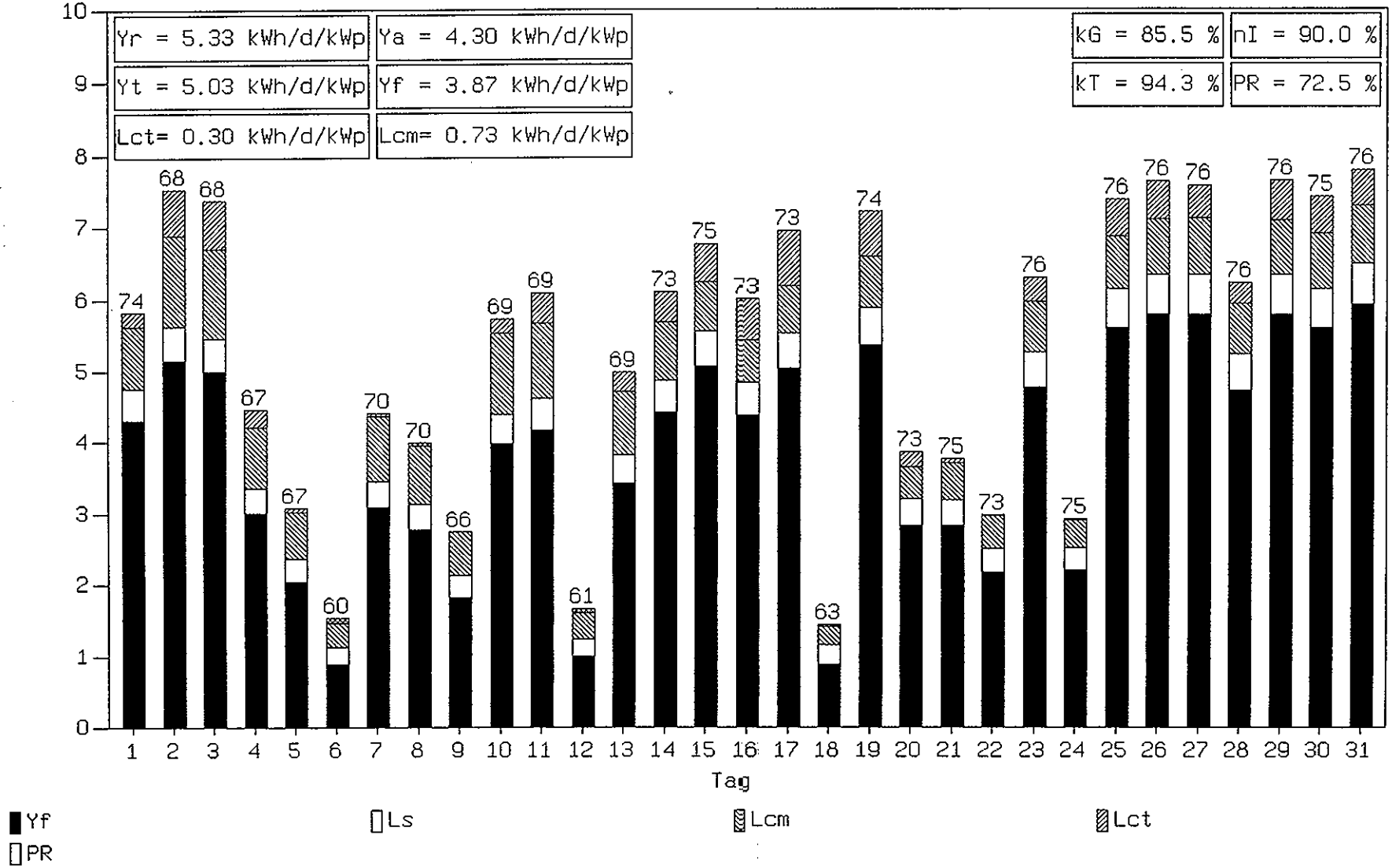
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal

Monat: 5.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



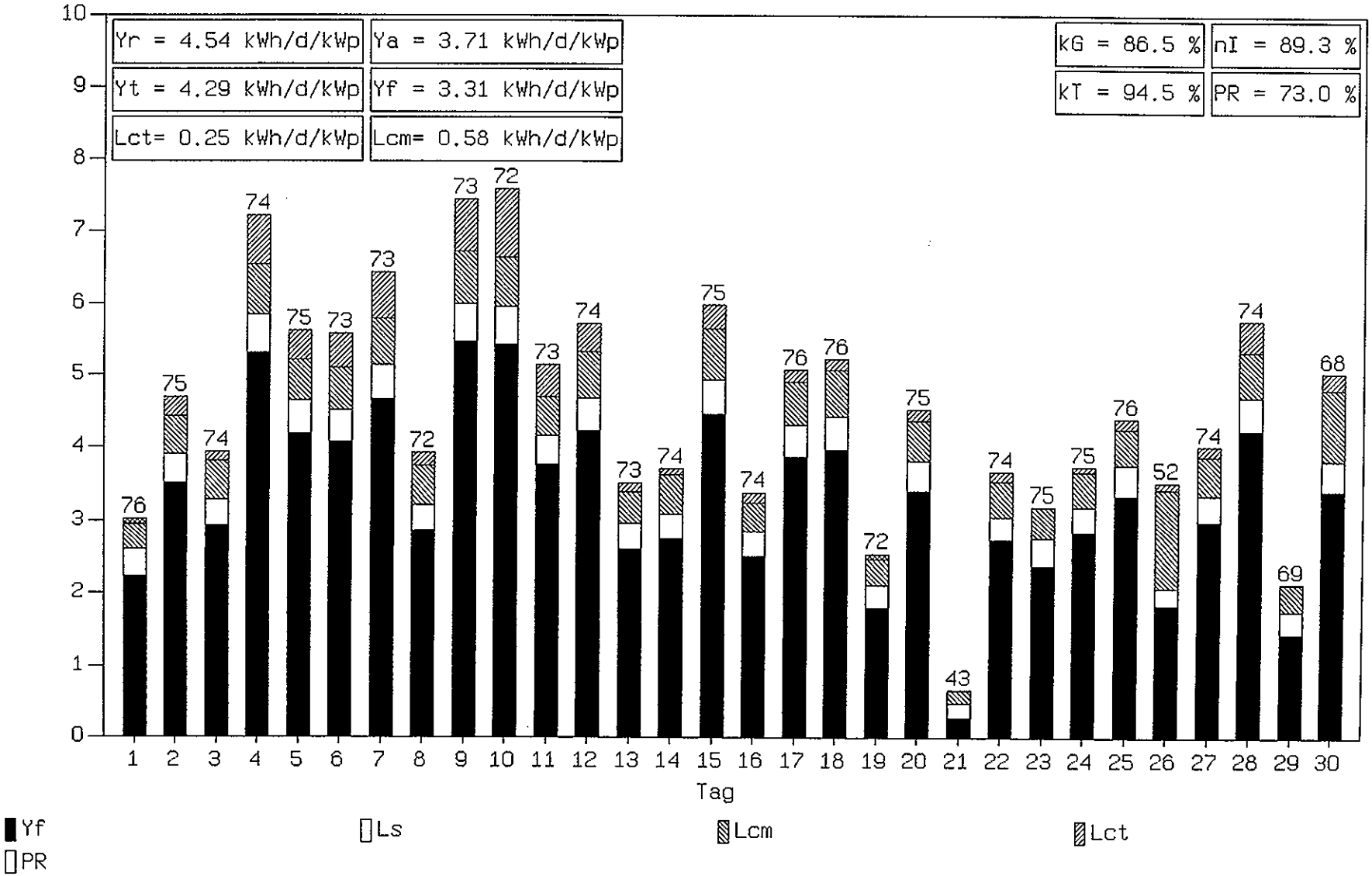
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 6.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



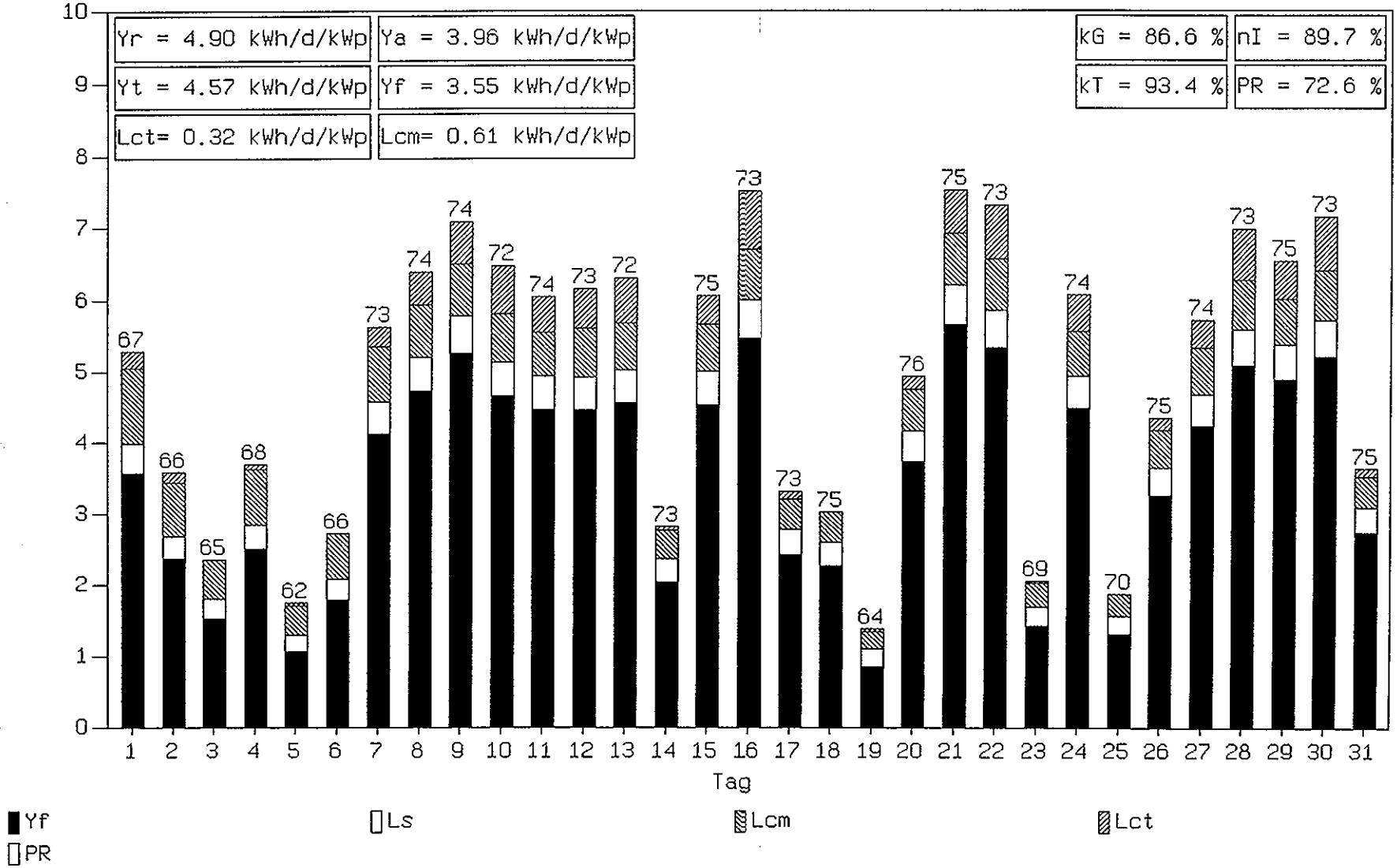
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 7.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



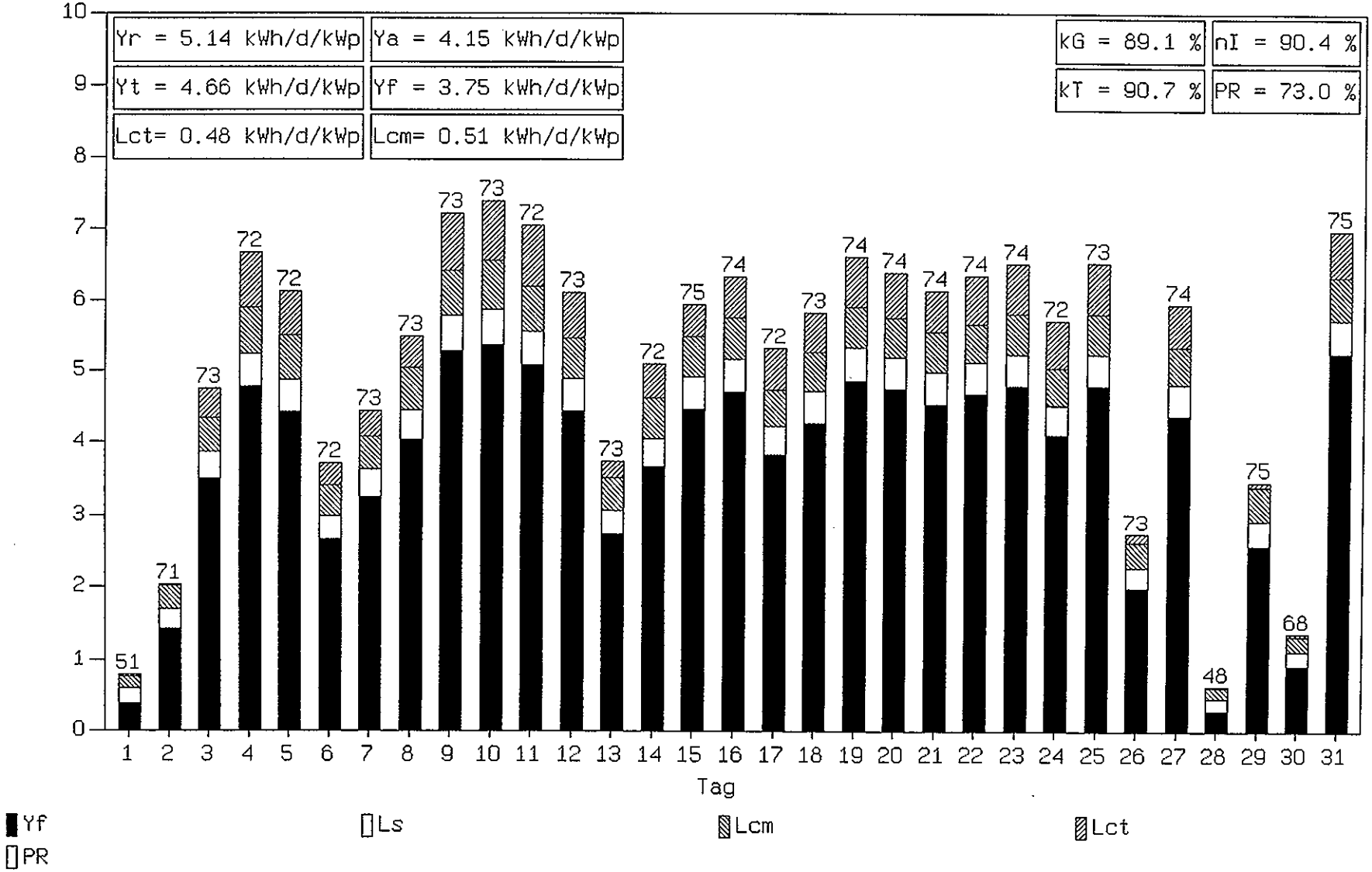
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 8.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



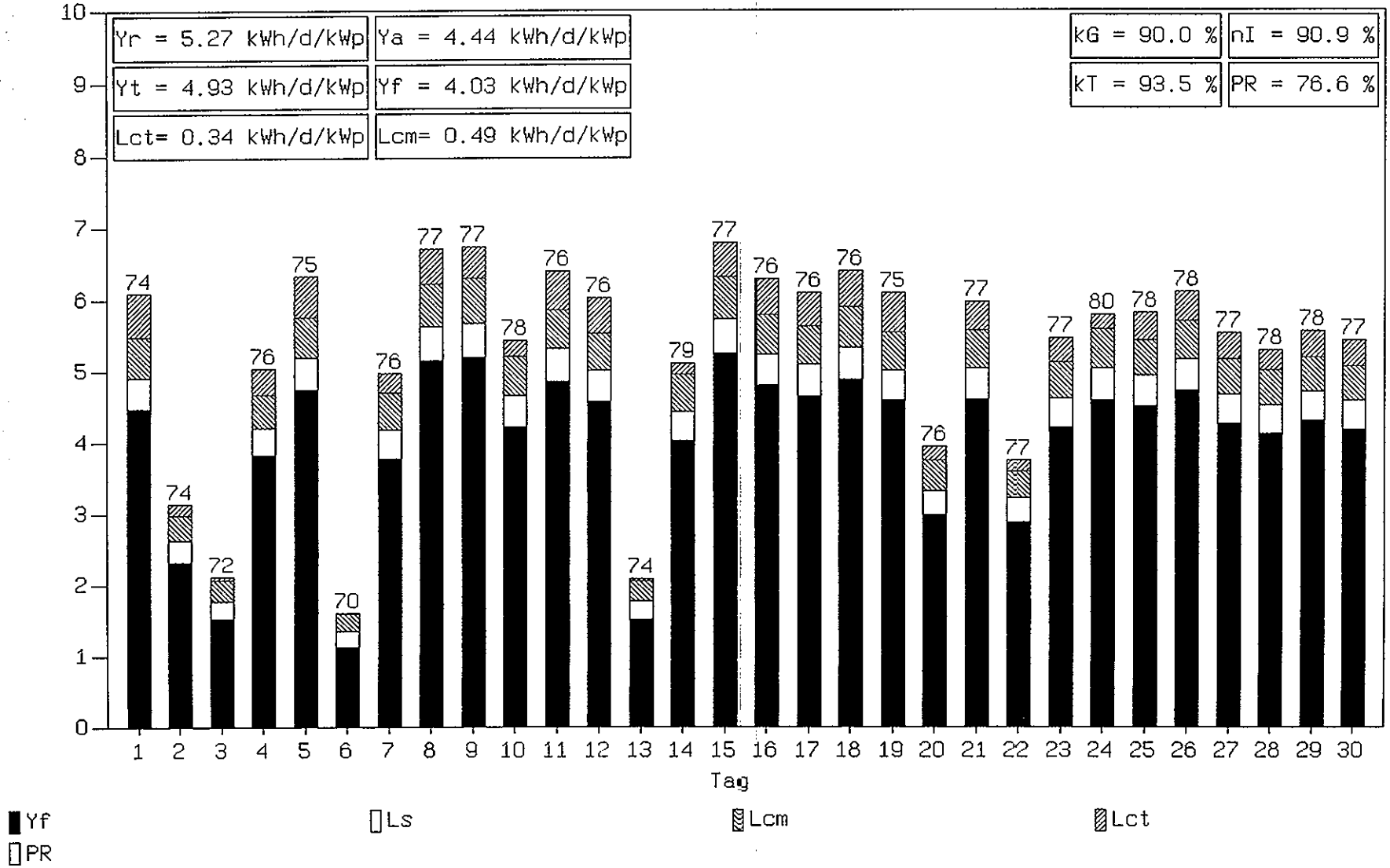
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 9.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

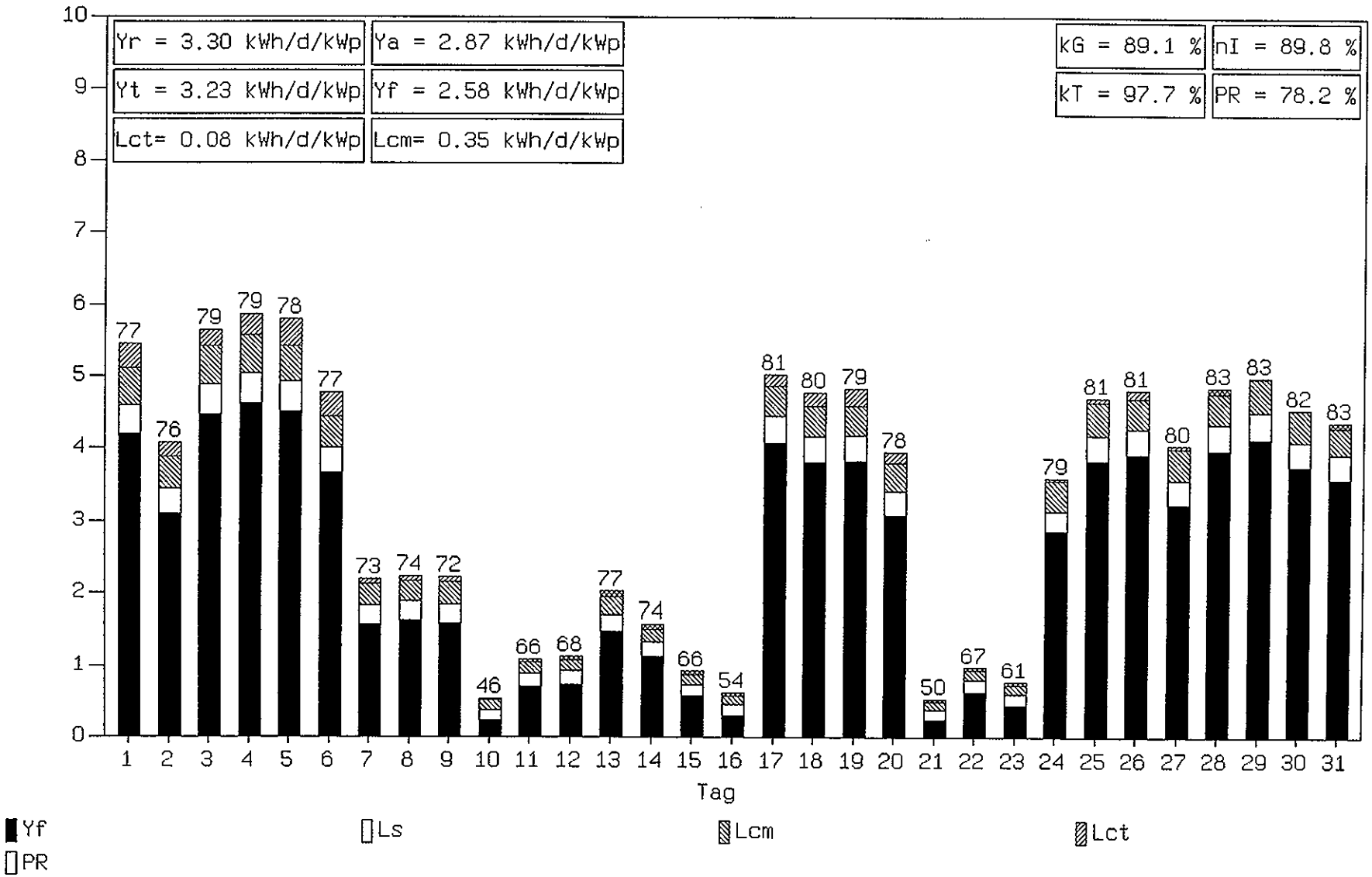
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal

Monat: 10.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



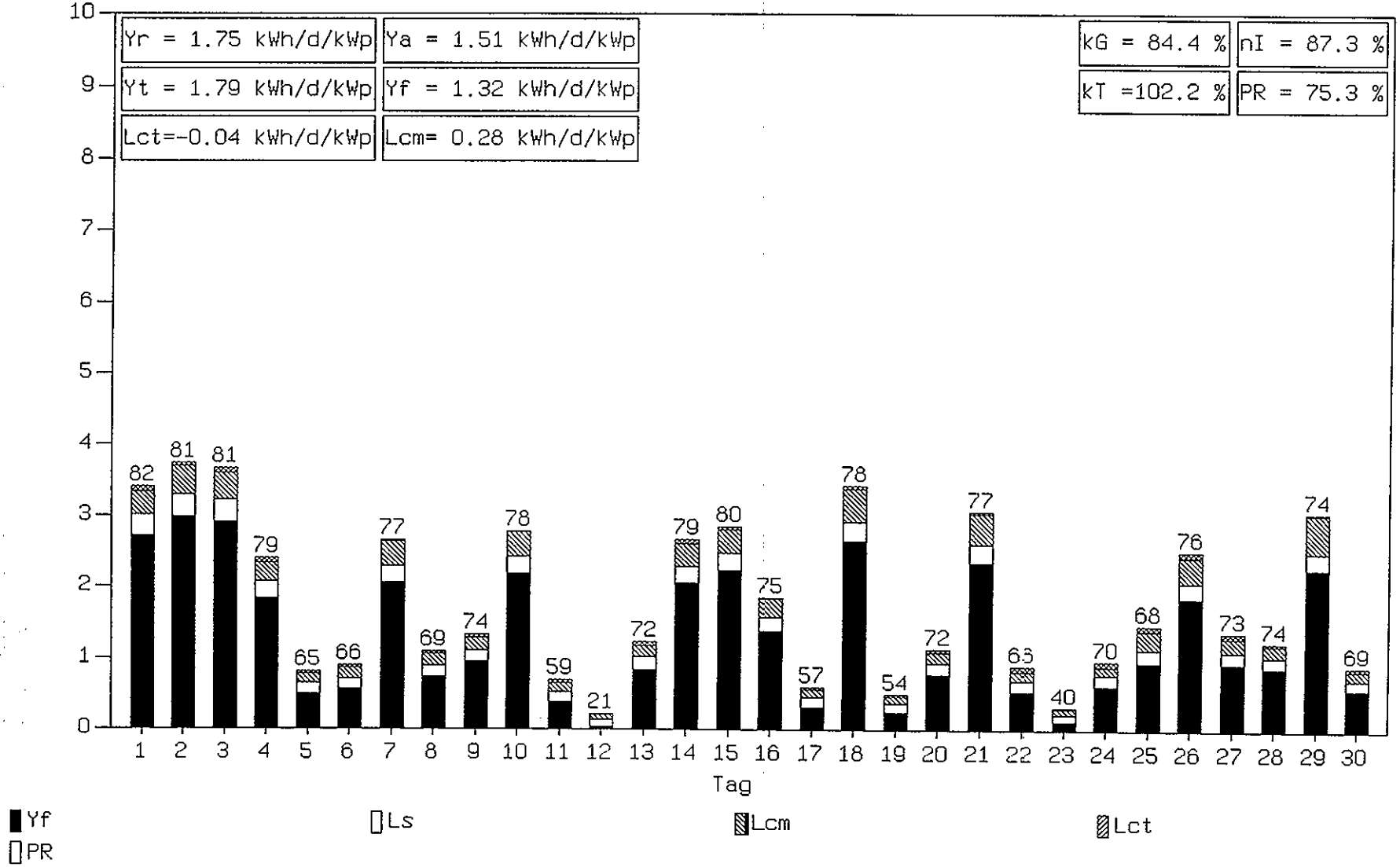
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 11.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



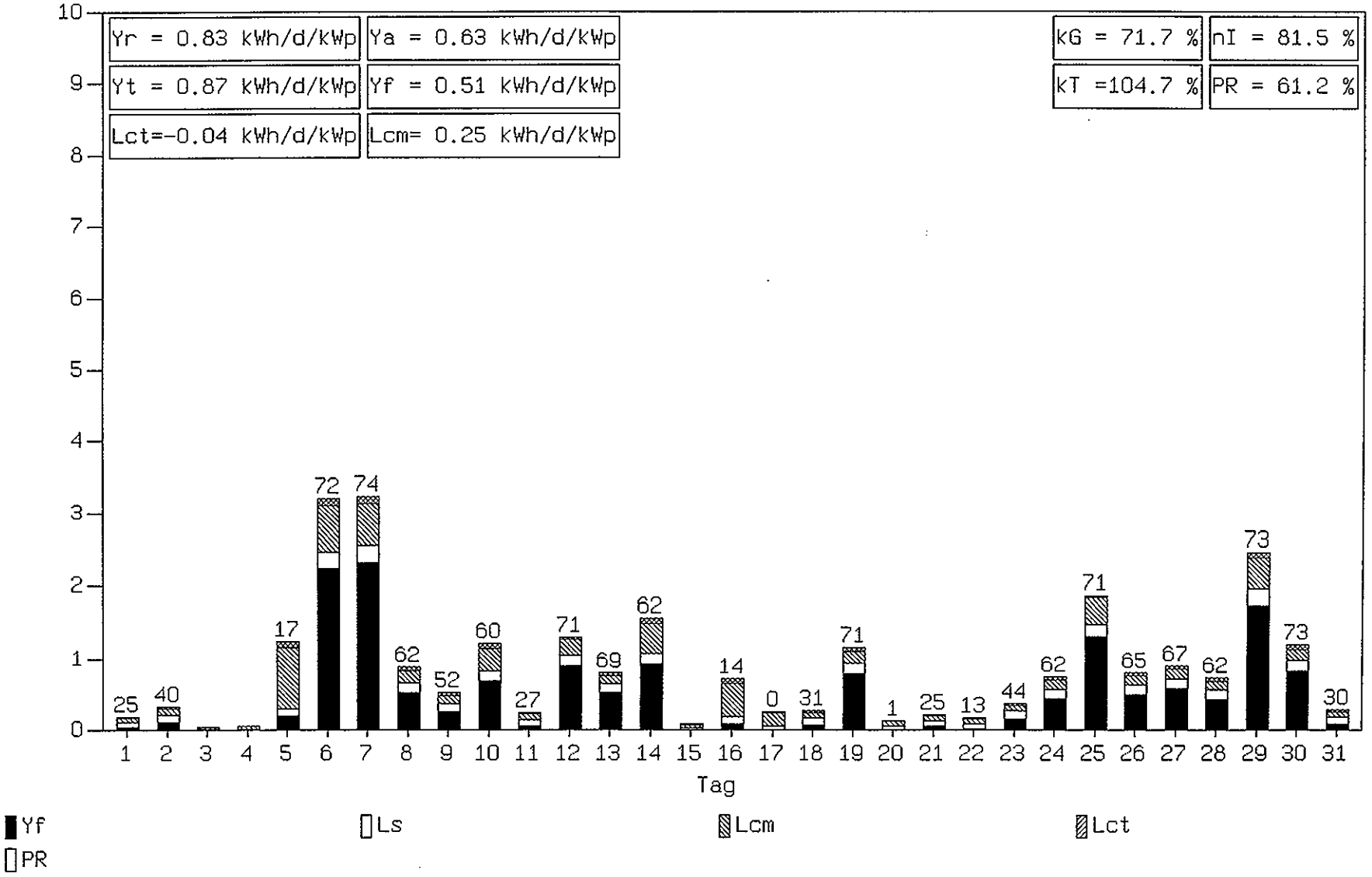
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 12.1997

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



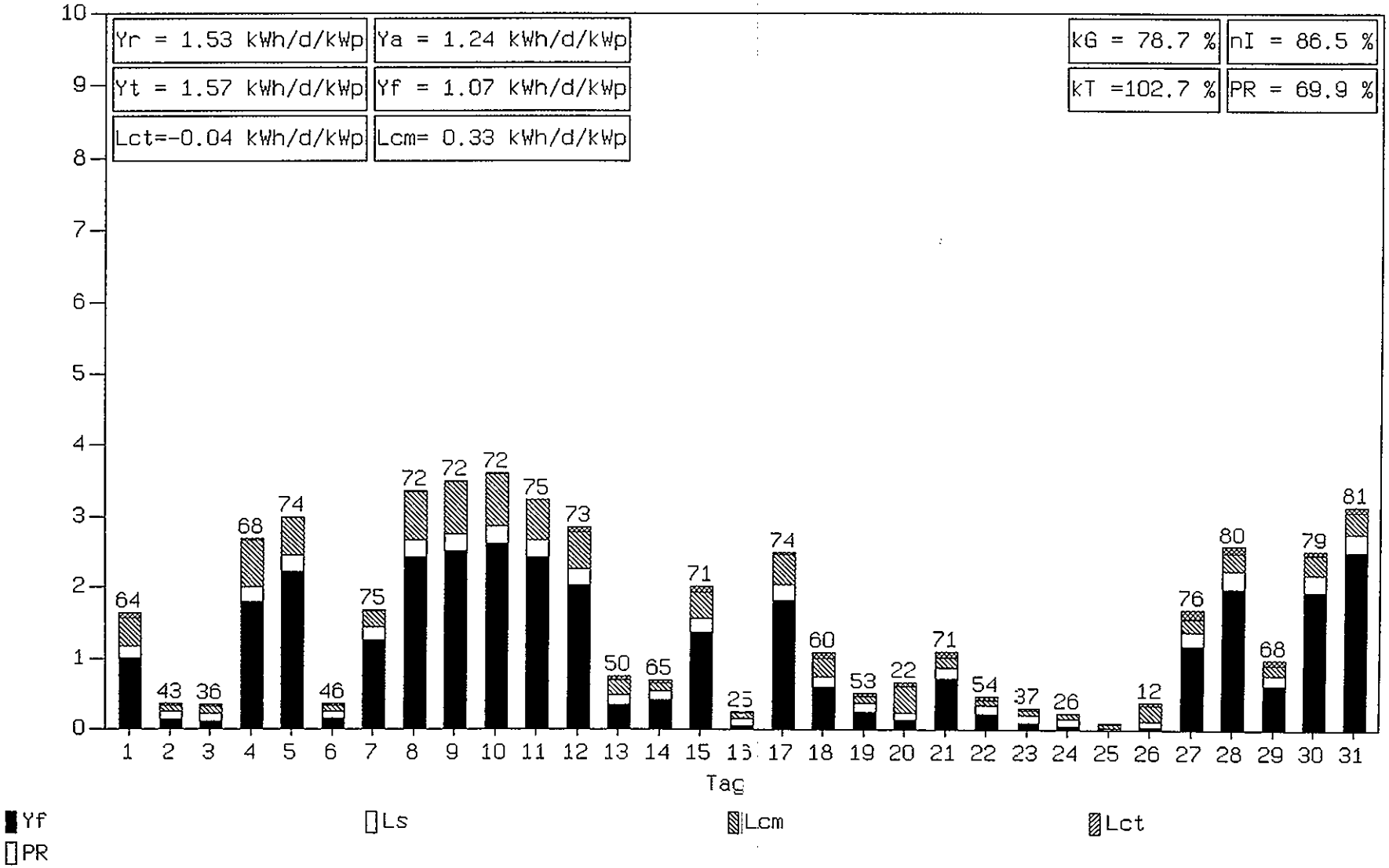
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 1.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

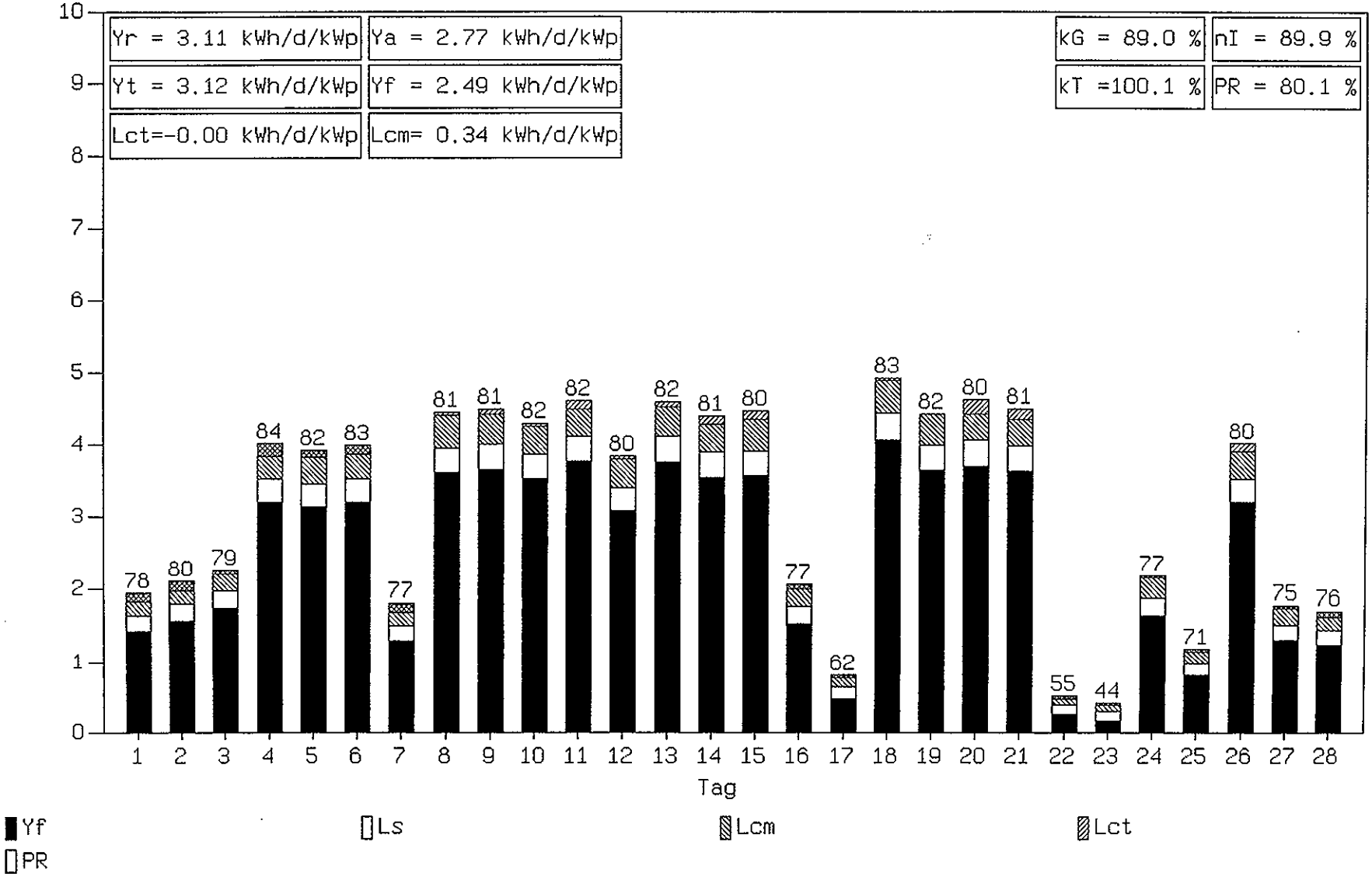
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal

Monat: 2.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

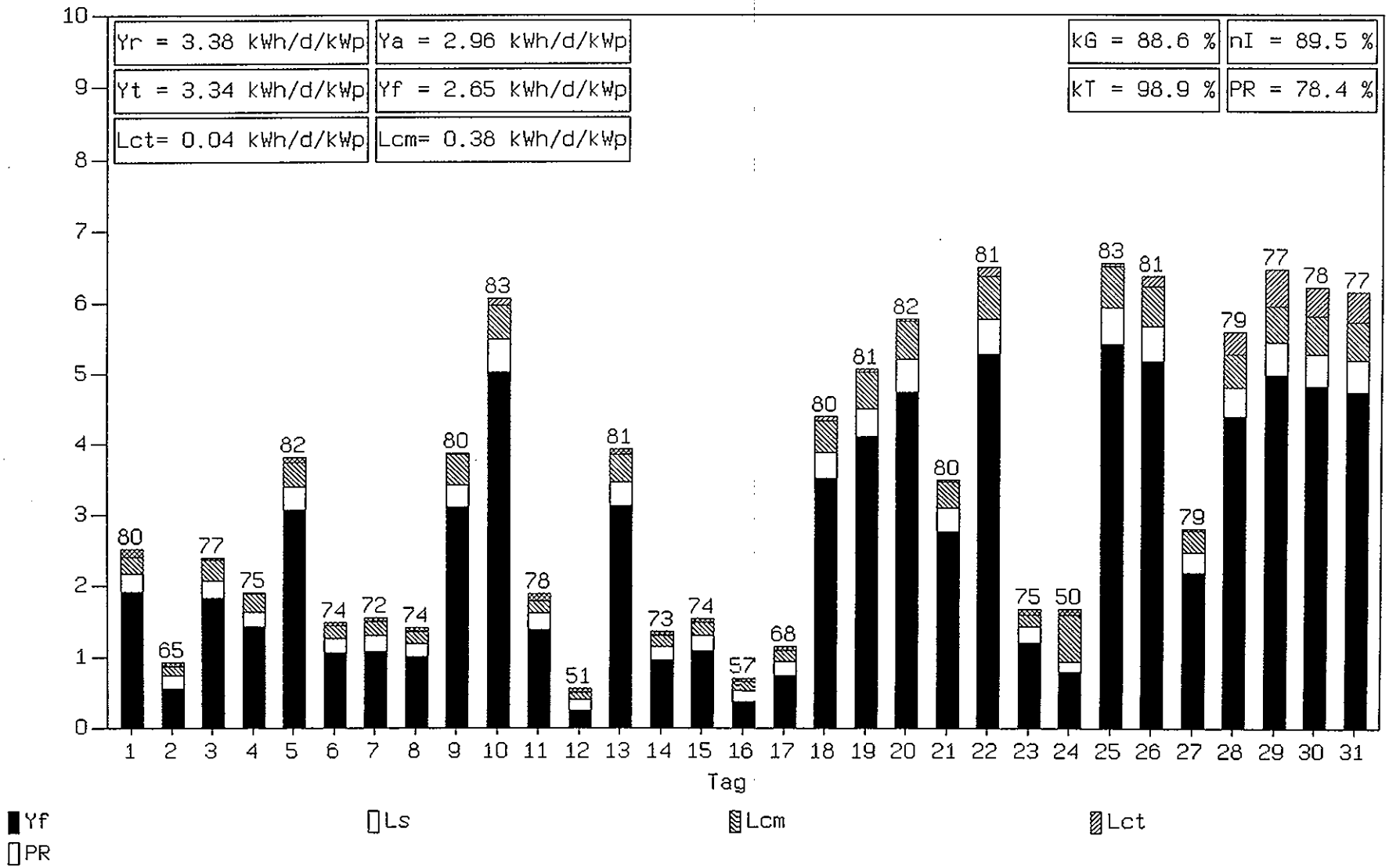
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal

Monat: 3.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



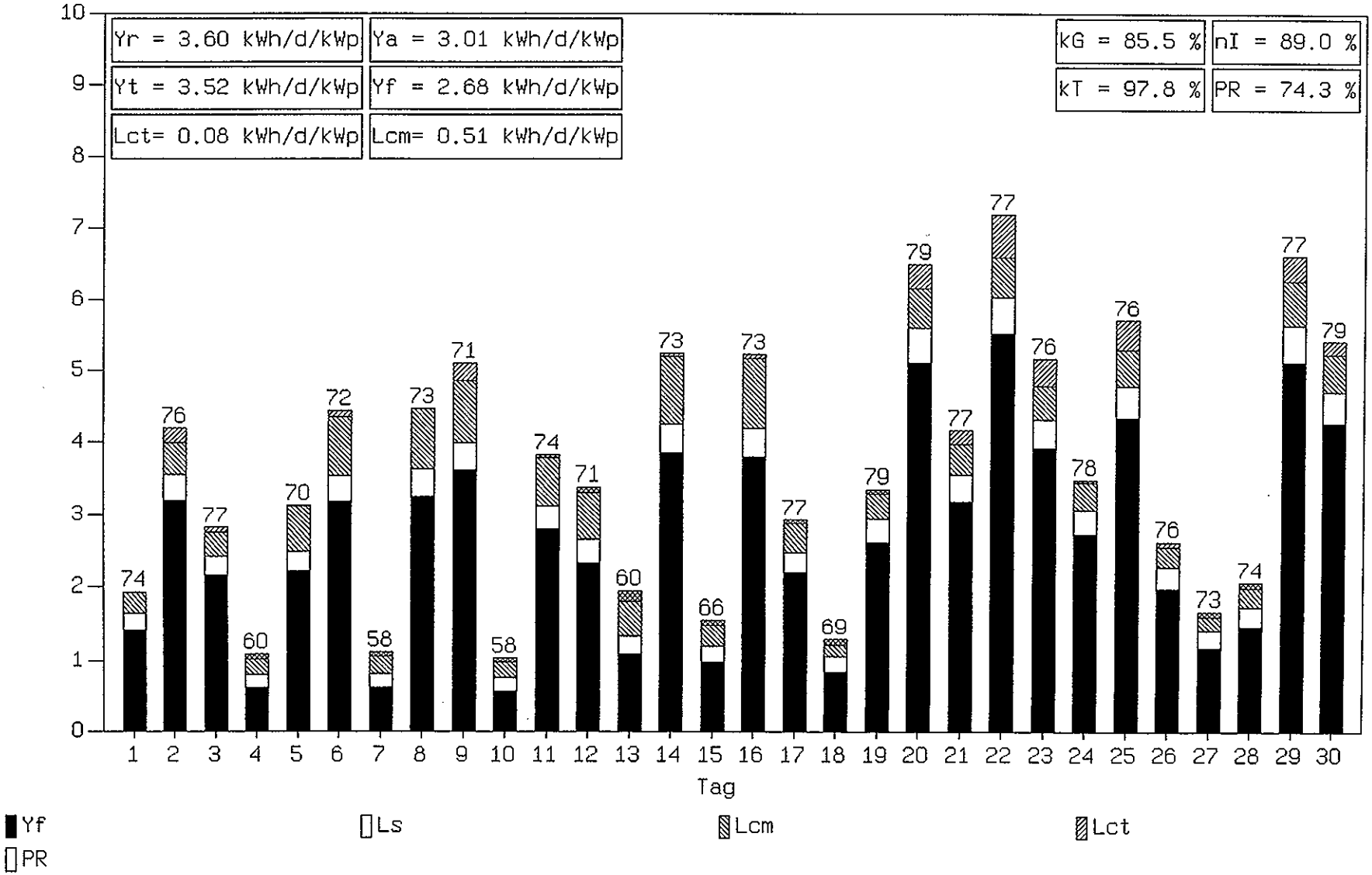
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 4.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



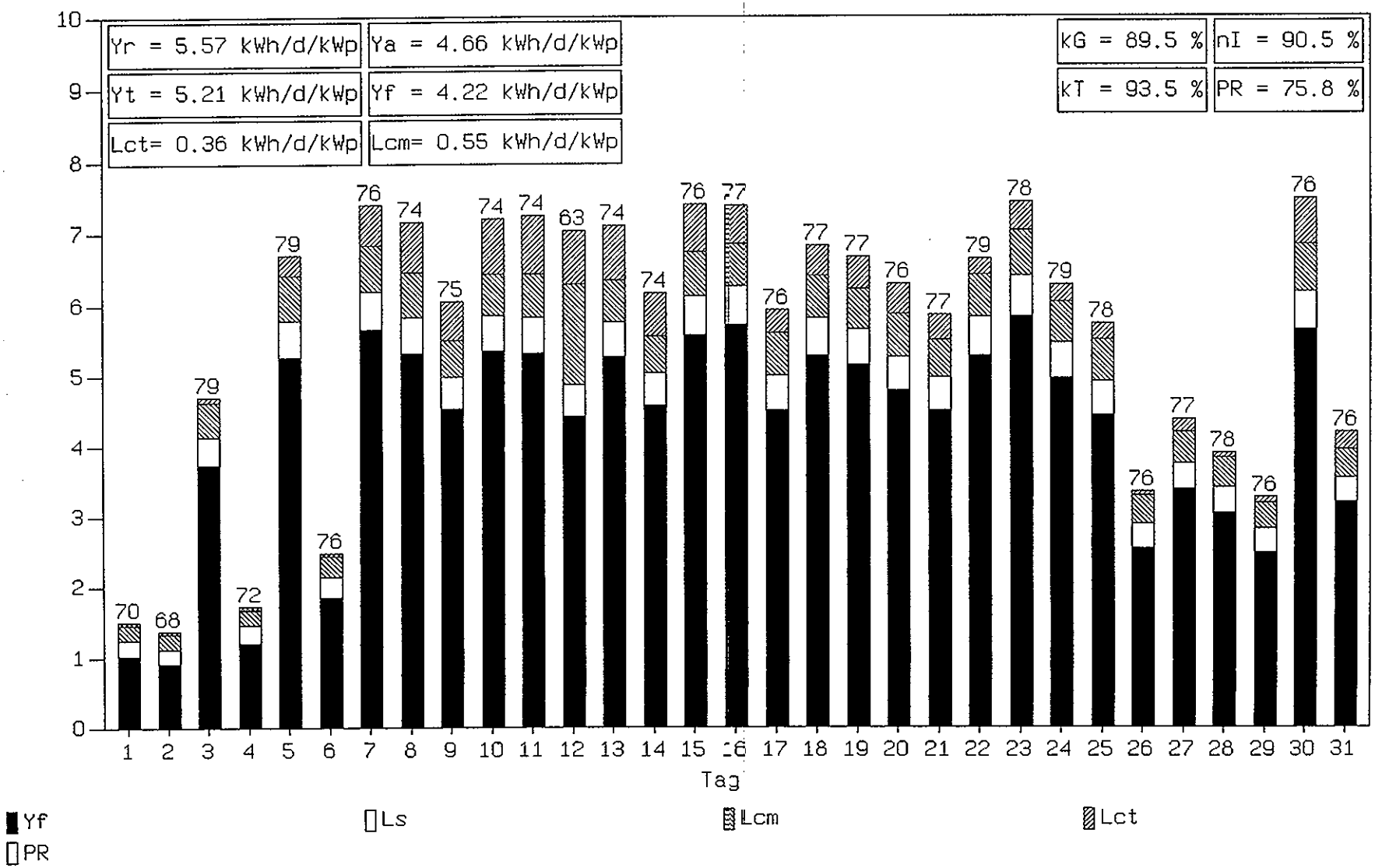
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 5.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

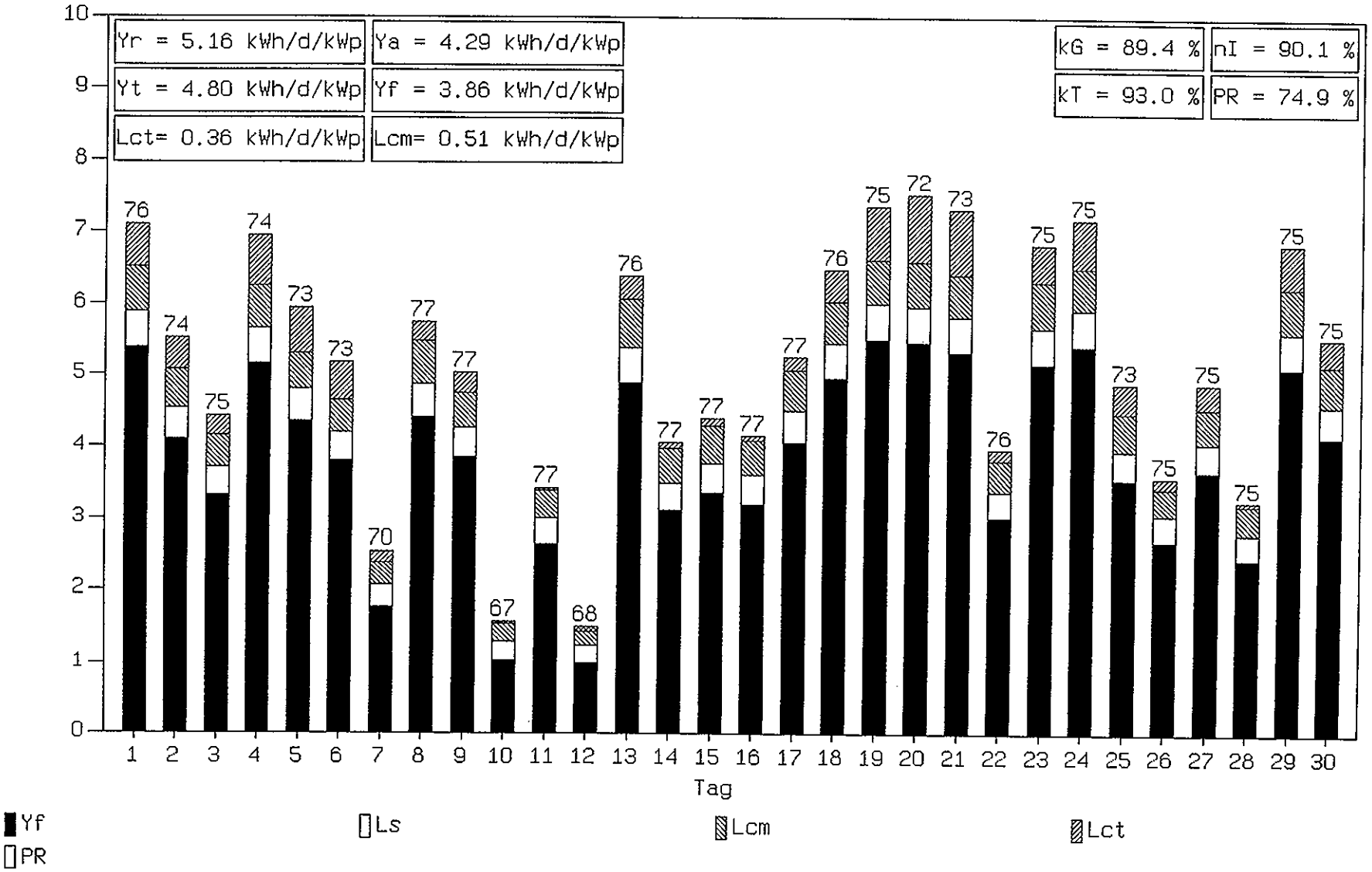
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal

Monat: 6.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

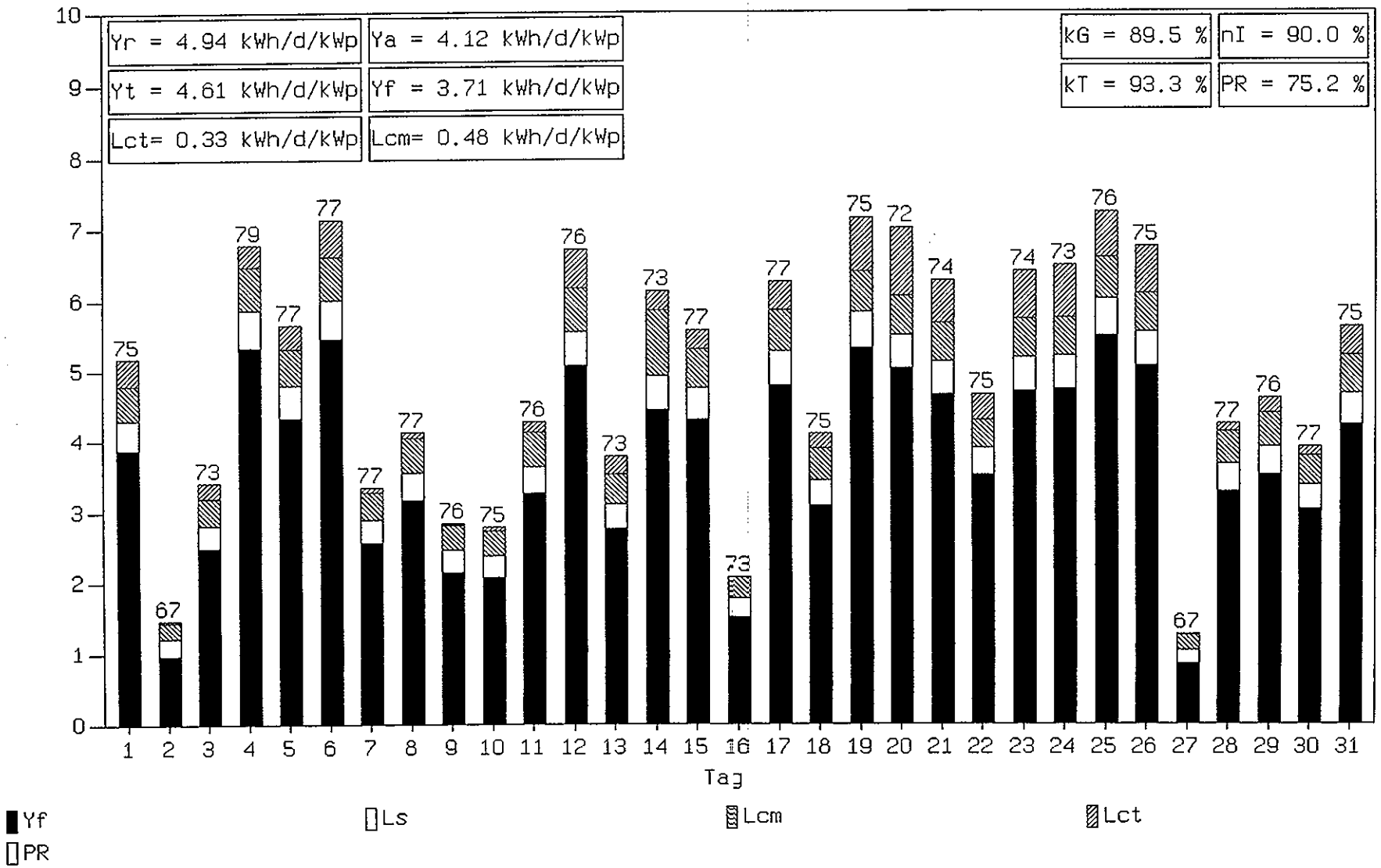
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal

Monat: 7.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



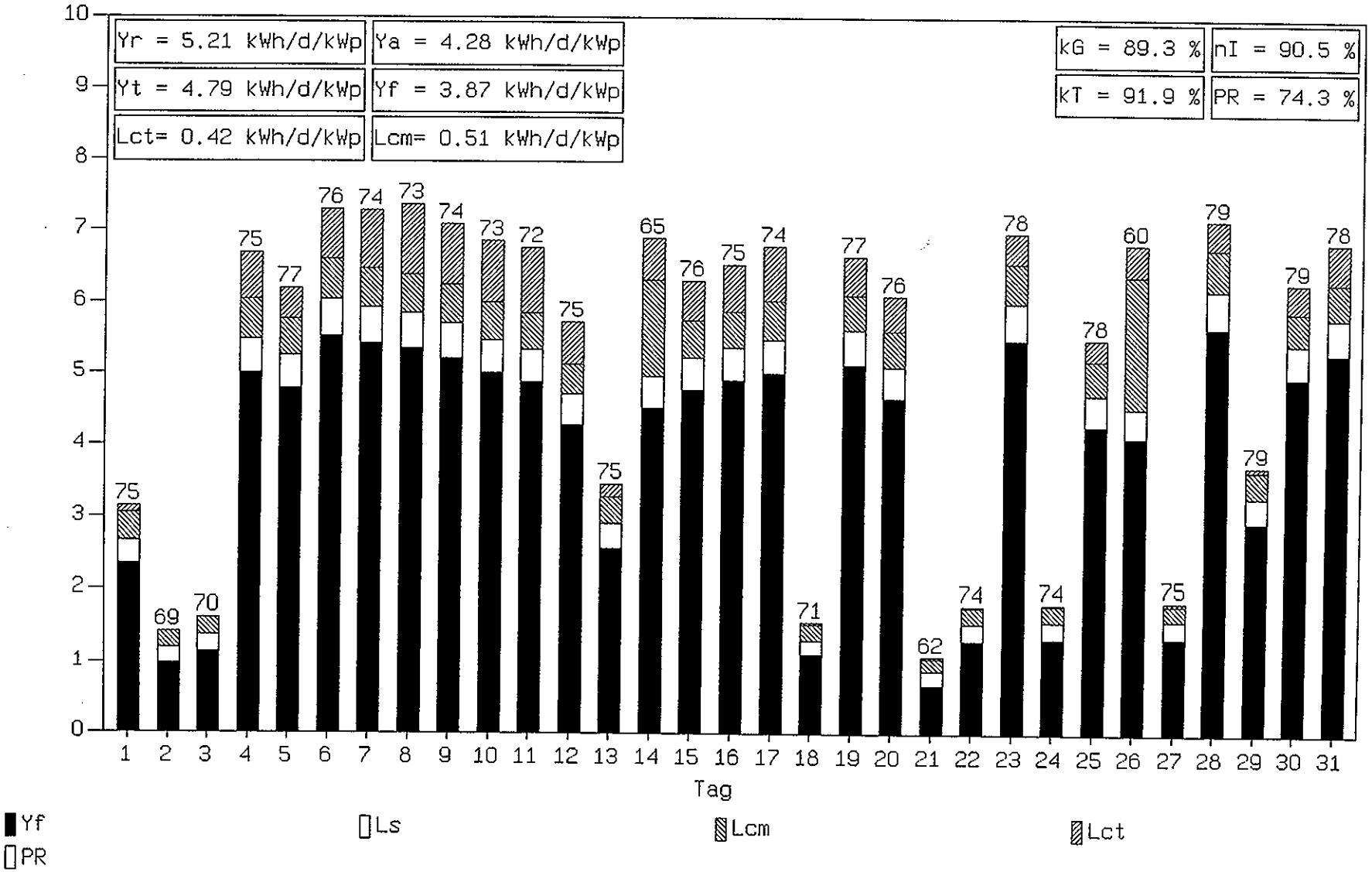
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 8.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



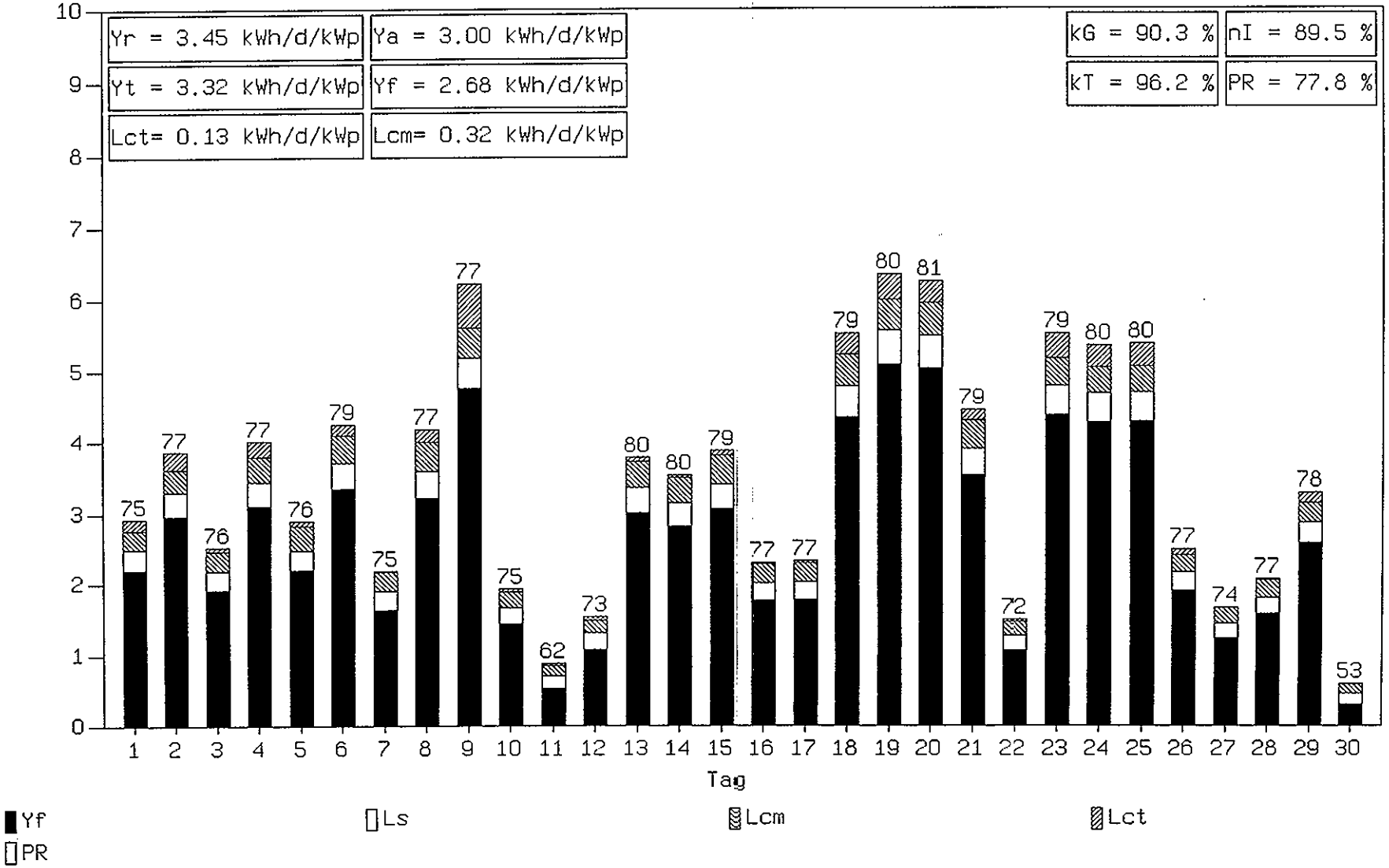
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 9.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

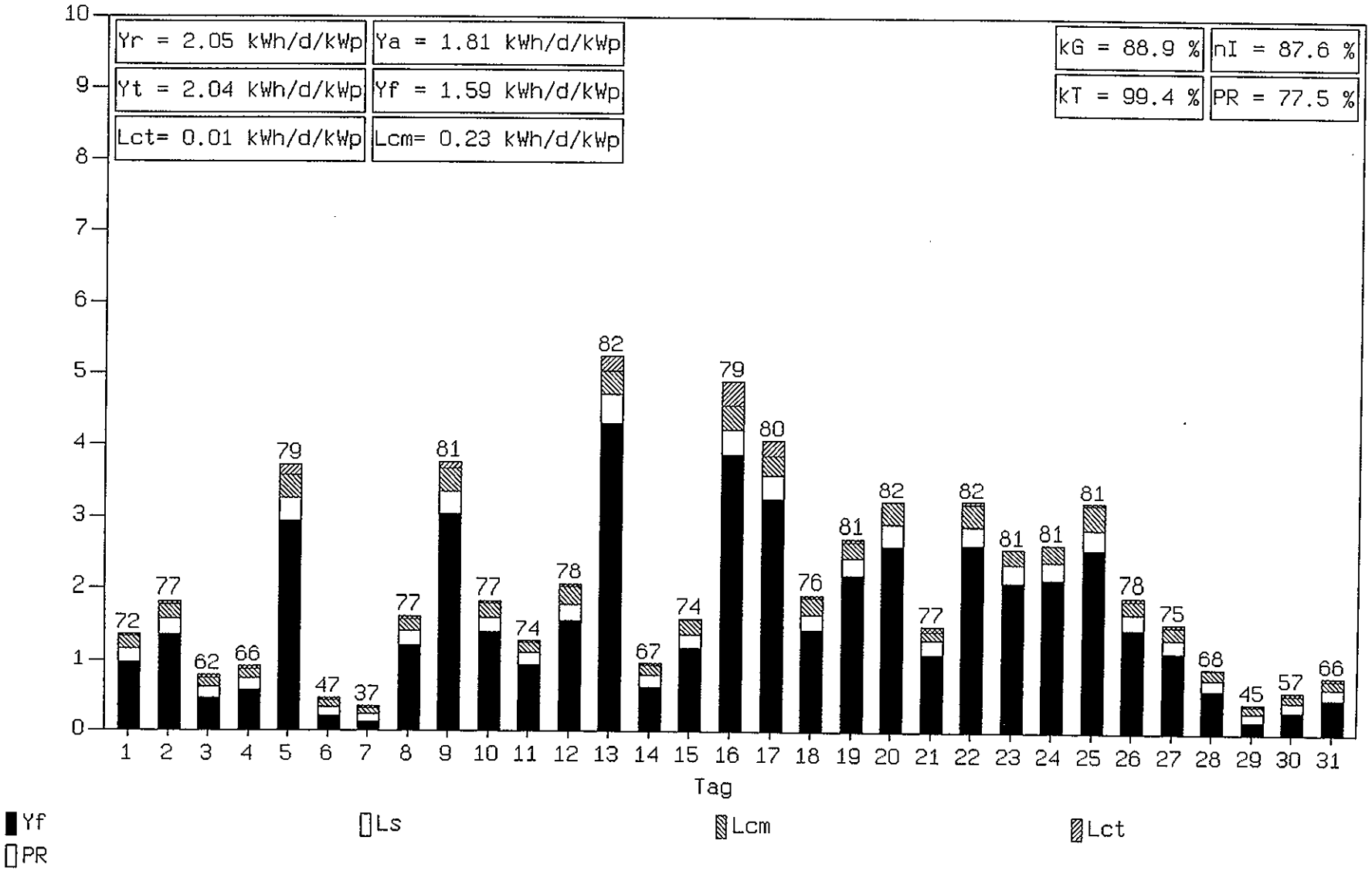
Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal

Monat: 10.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



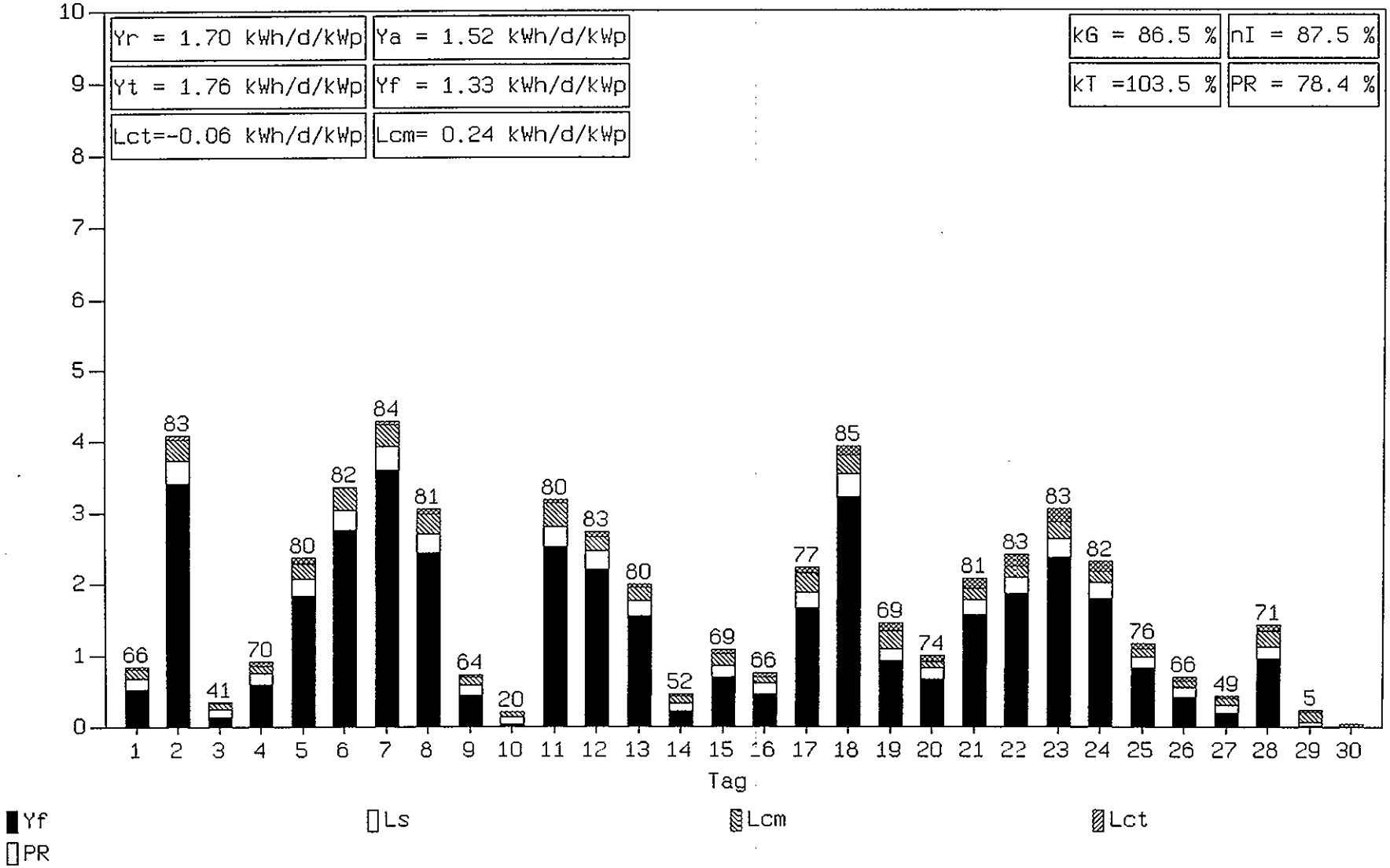
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 11.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



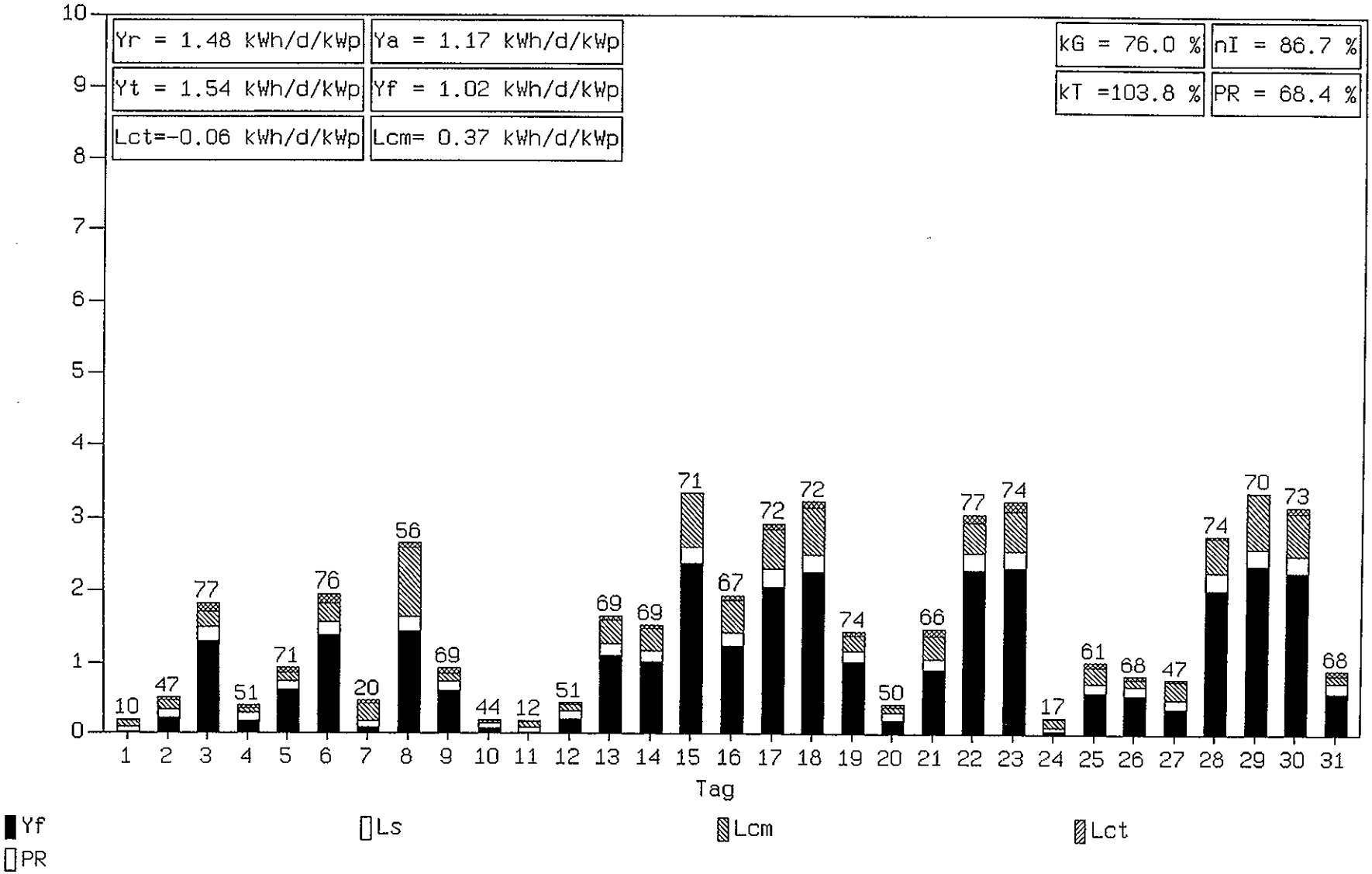
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 12.1998

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



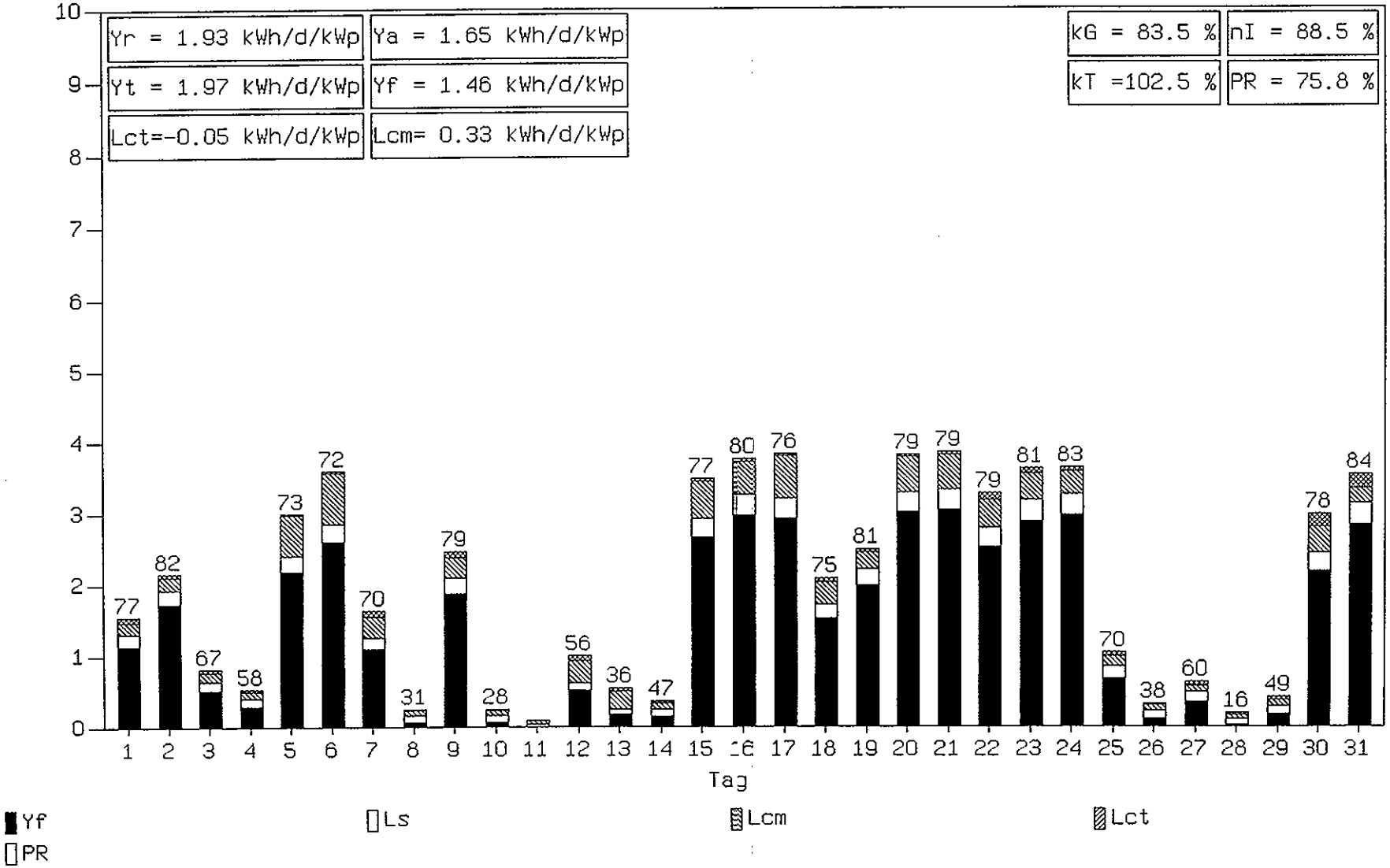
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 1.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



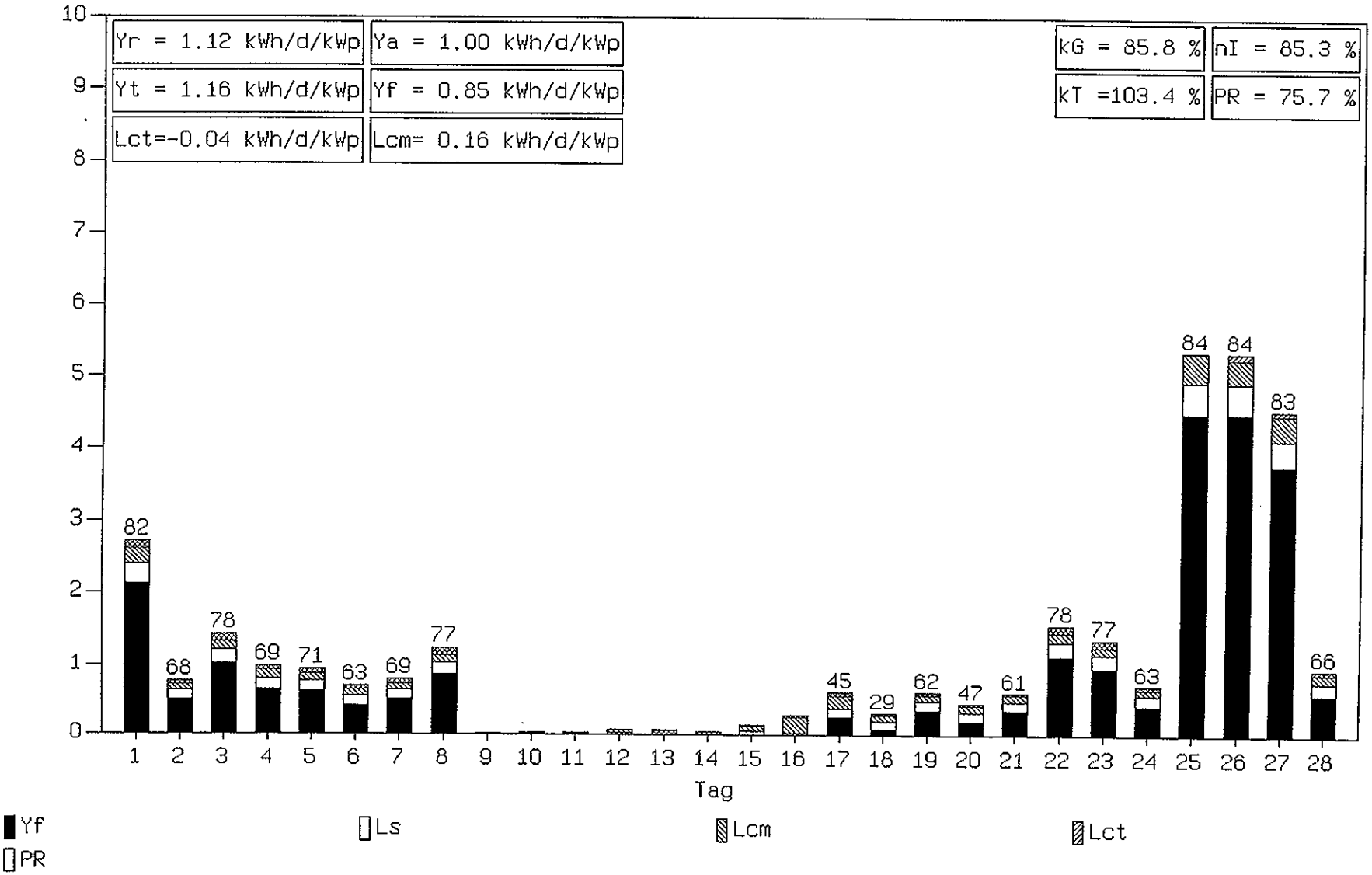
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 2.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



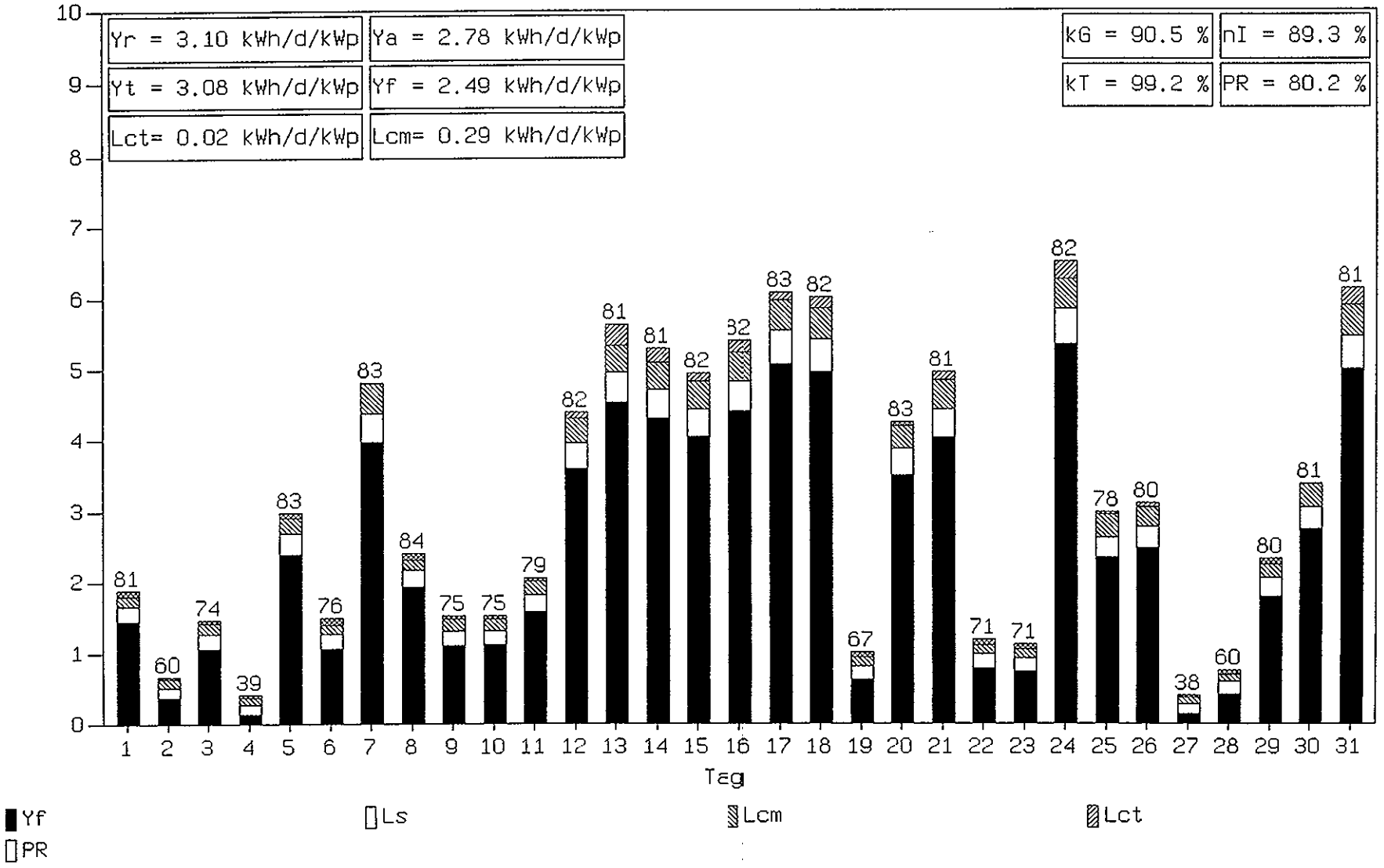
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 3.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



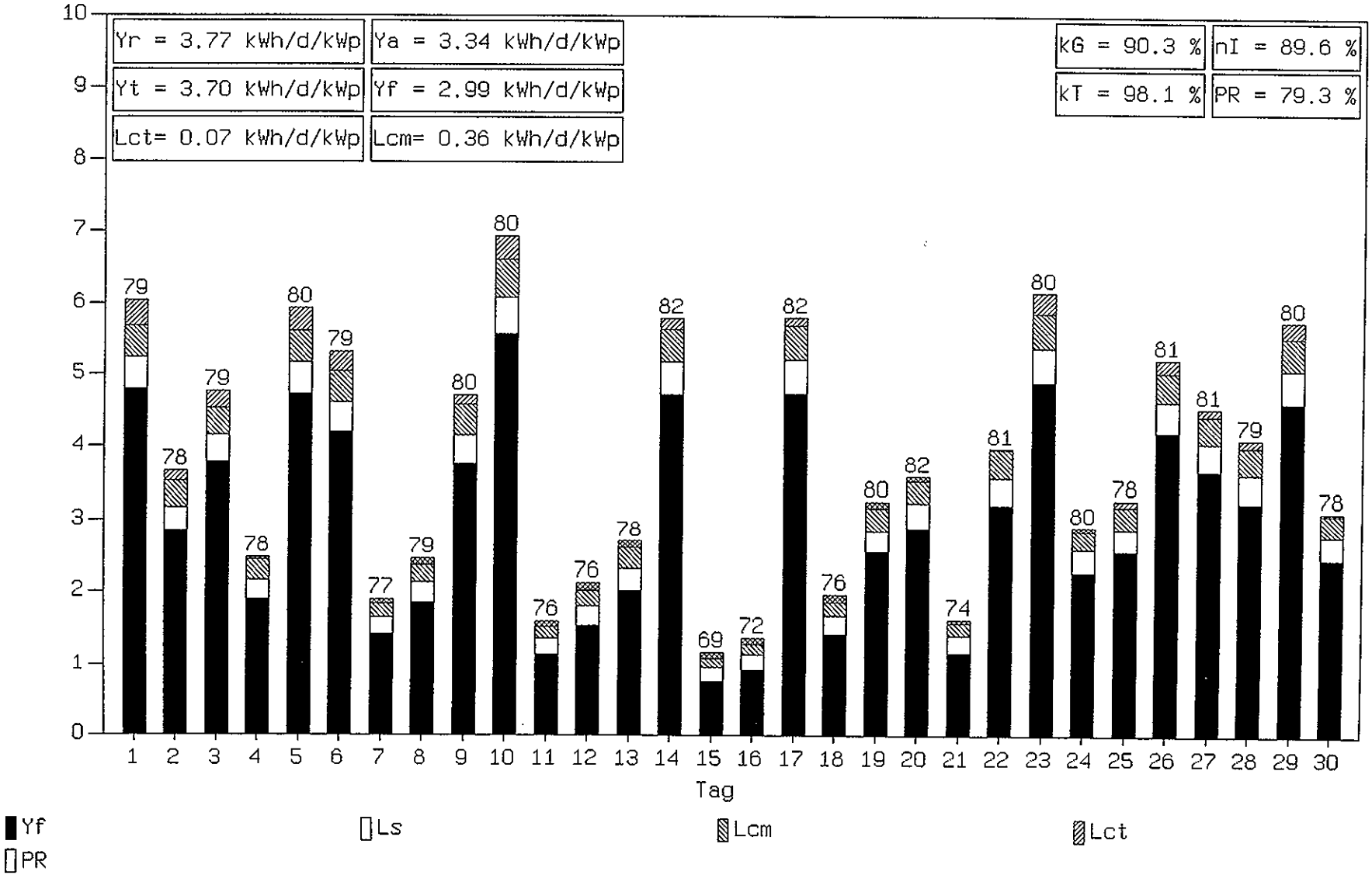
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 4.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



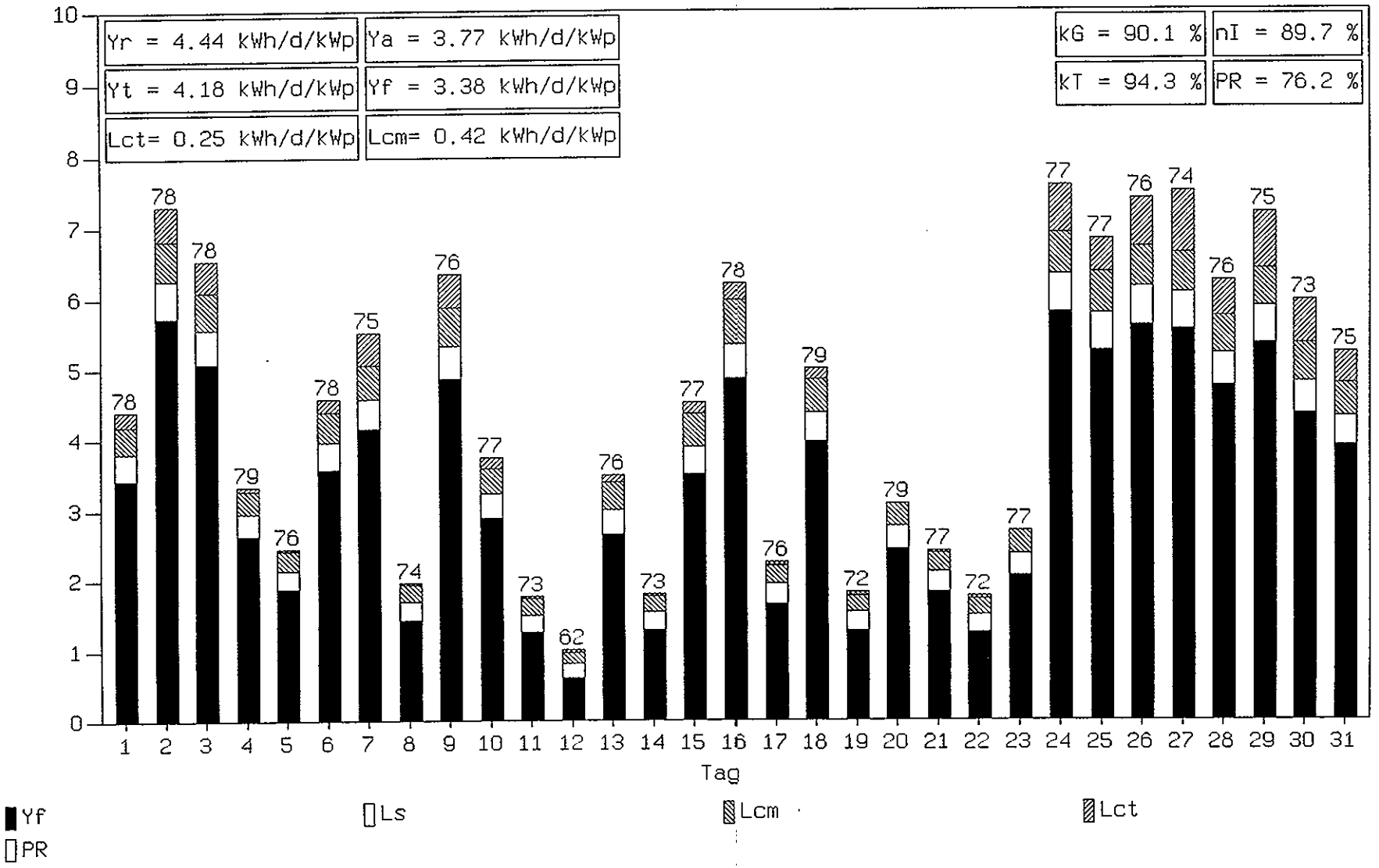
Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 5.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)



Ingenieurschule Burgdorf

Labor für Photovoltaik

Normierte Monatsstatistik (Referenzzelle)

Anlage: EBL/Liestal Monat: 6.1999

Yields & Losses [kWh/d/kWp] (Pgen=18560Wp)

